



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD DE LA RESERVA
MARINA ISLA CHAÑARAL: UN NUEVO APORTE A LA GEOCONSERVACIÓN
DE LA RESERVA NACIONAL PINGÜINO DE HUMBOLT.**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
geólogo

Georgo Franco Ardiles Tapia

Copiapó, Chile 2023



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD DE LA RESERVA
MARINA ISLA CHAÑARAL: UN NUEVO APORTE A LA GEOCONSERVACIÓN
DE LA RESERVA NACIONAL PINGÜINO DE HUMBOLT.**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
geólogo

Profesora Guía: Mg. Ximena Robles Cornejo

Georgo Franco Ardiles Tapia

Copiapó, Chile 2023

ÍNDICE

RESUMEN.....	17
ABSTRACT.....	19
CAPÍTULO I. MARCO INTRODUCTORIO	20
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	20
1.2. OBJETIVOS	22
1.4.1. Objetivo general.....	22
1.2.2. Objetivos específicos	23
1.3. HIPÓTESIS.....	23
1.4. ANTECEDENTES	23
1.4.1. Antecedentes nacionales	23
1.4.2. Marco legal	26
1.5. Ubicación y accesos	27
CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE.....	29
2.1. CONCEPTOS IMPORTANTES	29
2.1.1. Geodiversidad	29
2.1.2. Valores de la geodiversidad	31
2.1.3. Patrimonio geológico	33
2.1.4. Geositio	33
2.1.5. Sitios de geodiversidad y elementos de geodiversidad	34
2.1.6. Geoconservación.....	34
2.1.7. Relación entre los conceptos.....	36
2.1.8. Geoturismo.....	37
2.2. MARCO GEOLÓGICO Y GEOTECTÓNICO	38
2.2.1. Rasgos fisiográficos generales	38
2.2.2. Clima, vegetación y suelos.....	38
2.2.3. Peligro geológico	43
2.2.4. Geología.....	44
2.2.5. Marco geotectónico.....	51

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA PARA REALIZAR EL DIAGNÓSTICO Y LA EVALUACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD DE LA RESERVA MARINA ISLA CHAÑARAL..... 53

3.1. ETAPA PRE-TERRENO..... 57

3.1.1. Recopilación bibliográfica 57

3.1.2. Fotointerpretación 58

3.1.3. Ficha para inventariar la geodiversidad en terreno 59

3.2. ETAPA DE TERRENO 60

3.2.1. Mapeo geológico y geomorfológico 60

3.2.2. Fichas de terreno 60

3.3. ETAPA DE GABINETE 61

3.3.1. Construcción de mapas digitales..... 61

3.3.2. Diagnóstico y evaluación de la geodiversidad 61

CAPÍTULO IV. RESULTADOS 71

4.1. DIAGNÓSTICO INTEGRADO DE LA GEODIVERSIDAD DE LA RESERVA MARINA ISLA CHAÑARAL 71

4.1.1. Litología..... 71

4.1.2. Estructuras geológicas..... 80

4.1.3. Geomorfología 82

4.1.4. Morfo dinámica actual 89

4.1.5. Estado actual de la geodiversidad de la Reserva Marina Isla Chañaral 93

4.1.6. Intereses geológicos y usos potenciales de la geodiversidad de la Reserva Marina Isla Chañaral 94

4.1.7. Restricciones y riesgos asociados al uso de la geodiversidad de la Reserva Marina Isla Chañaral 95

4.1.8. Relación entre la geodiversidad y la biodiversidad de la Reserva Marina Isla Chañaral 96

4.2. EVALUACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD DE LA RESERVA MARINA ISLA CHAÑARAL 100

4.2.1. Valoración cuantitativa e interpretación de los datos 101

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN 109

5.1. DIAGNÓSTICO DE LA GEODIVERSIDAD DE LA RESERVA MARINA ISLA CHAÑARAL: INTERÉS GEOPATRIMONIAL 109

5.1.1.	Aspectos geológicos asociados a la Reserva Marina Isla Chañaral	109
5.1.2.	Aspectos geomorfológicos asociados a la Reserva Marina Isla Chañaral	111
5.1.3.	Aspectos morfo dinámicos asociados a la Reserva Marina Isla Chañaral	113
5.2.	EVALUACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD DE LA RESERVA MARINA ISLA CHAÑARAL: VALORES GEOPATRIMONIALES.....	114
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES		118
6.1.	DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD DE LA RESERVA MARINA ISLA CHAÑARAL	118
6.2.	SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES.....	119
REFERENCIAS		121
ANEXOS		133

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 1.1: Vista panorámica de la RMICH desde una lancha (Fuente: Edición propia).	22
Imagen N° 2.1: Afloramiento de la Formación Coquimbo próximo a la caleta Chañaral de Aceituno, a un costado de la ruta C-500 (Fuente: Edición propia).	45
Imagen N° 2.2: Afloramientos del Complejo Metamórfico Punta de Choros en la caleta Chañaral de Aceituno (Fuente: Edición Propia).	46
Imagen N° 2.3: Afloramientos del Complejo Metamórfico Punta de Choros en caleta Chañaral de Aceituno vistos desde un bote motorizado (Fuente: Edición propia).	47
Imagen N° 2.4: En la imagen se puede observar una deformación penetrativa (línea roja discontinua) en un afloramiento de esquistos del Complejo Metamórfico Punta de Choros en caleta Chañaral de Aceituno (Fuente: Edición propia).	48
Imagen N° 2.5: Vista E-W de un afloramiento de la Formación Coquimbo próximo a la caleta Chañaral de Aceituno a un costado de la ruta C-500, sobre esta se puede observar un depósito aluvial de gravas y arenas de edad cuaternaria (Fuente: Edición propia).	50
Imagen N° 2.6: Fósiles marinos presentes en la Formación Coquimbo, afloramiento a un costado de la ruta C-500 próximo a la caleta Chañaral de Aceituno (Fuente: Edición propia).	50
Imagen N° 2.7: Dunas tipo Nebkha formadas en Playa Carrizalillo a un costado de la ruta C-500 (Fuente: Cortesía del Turista Edmundo Martínez, 2011).	51
Imagen N° 4.1: En la imagen (A) se observa un pliegue sinclinal volcado, mientras que la imagen (B) se observa un pliegue abierto. Estos rasgos litológicos son observables a simple vista desde los botes motorizados que recorren el entorno de la reserva (Fuente: Edición propia).	71
Imagen N° 4.2: En la imagen (A) se observa la esquistosidad presente en las rocas metamórficas que forman la RMICH. En la imagen (B) se observa un pliegue sinclinal volcado visto en la superficie de la RMICH; la línea roja discontinua muestra los flancos	

del pliegue (Fuente: Imagen A edición propia. Imagen B modificada de Mercado y Cepeda, 2008).	73
Imagen N° 4.3: Veta de cuarzo lechoso cortando las rocas metamórficas vista en la superficie de la RMICH. La línea roja marca el espesor de la veta (Fuente: Edición propia).	74
Imagen N° 4.4: Pliegues centimétricos y Kink bands expuestos en la superficie de isla Chañaral asociadas a deformaciones secundarias (S1 y S2). En las imágenes se pueden observar vetillas de cuarzo de segregación asociadas a un plano de foliación secundario S1 (línea roja discontinua), junto a planos perpendiculares que crean Kink bands asociados a una foliación secundaria S2 (línea amarilla discontinua) (Fuente: Modificado de Mercado y Cepeda, 2008).	74
Imagen N° 4.5: Vista de afloramientos del plutón tonalítico en la superficie de la RMICH. La línea roja marca el contorno del afloramiento (Fuente: Edición propia).	75
Imagen N° 4.6: Dique diorítico porfídico de aproximadamente 1 m de espesor visto en la superficie de la RMICH. La línea amarilla define el espesor del dique (Edición propia). ..	76
Imagen N° 4.7: Dique intruyendo a las rocas metamórficas visto desde una lancha. Las líneas rojas discontinuas indican los bordes del dique (Fuente: Edición propia).	76
Imagen N° 4.8: Rocas sedimentarias vistas desde la superficie de la RMICH. La línea roja marca un depósito de conglomerados ubicado sobre el plutón que forma parte de la reserva. La edad máxima de estos depósitos se ha estimado en ~330.000 años (Fuente: Edición propia).	77
Imagen N° 4.9: Vistas del depósito eólico ubicado en el sector occidente de la RMICH. En la imagen (A) se puede observar la disposición en forma de manto que posee este depósito y la escasa vegetación que lo cubre. En la imagen (B) se observa con mayor claridad los sedimentos que componen el manto eólico. Por ultimo, la imagen (C) deja en evidencia la casi nula compactacion que posee este depósito.	78
Imagen N° 4.10: Acantilado cubierto parcialmente por coluvios. La línea roja marca el contorno de los depósitos coluviales (Fuente: Edición propia).	79

Imagen N° 4.11: Playa de bolones formada en el sector norte de la isla. La línea roja marca el contorno de la playa (Fuente: Edición propia).	79
Imagen N° 4.14: Estructuras geológicas presentes en la RMICH que pueden ser vistas desde una lancha. La imagen (A) muestra una falla normal afectando a las rocas metamórficas; la imagen (B) muestra una serie de diaclasas conjugadas; la imagen (C) muestra una diferencia topográfica brusca asociada a un alzamiento tectónico; y la imagen (D) muestra un afloramiento de esquistos y filitas cuyos planos de foliación se encuentran orientados al sur (Fuente: Edición propia).	81
Imagen N° 4.15: Vista desde la superficie de la primera terraza (T1) hacia el sector occidente de la isla donde se ubica la terraza 3 (T3). La línea roja y amarilla marcan el límite superior e inferior respectivamente del escarpe (paleo acantilado) que separa la terraza 1 de la terraza 3. Nótese que entre el borde superior (línea roja) y el borde inferior (línea amarilla) se encuentran coluvios que cubren parcialmente el escarpe (Fuente: Modificado de Mercado y Cepeda, 2008).	83
Imagen N° 4.16: Vista desde una lancha del acantilado costero que circunda la isla en su extremo sur. La línea roja indica el borde superior del escarpe que define el límite frontal de la terraza 3, mientras que la línea amarilla marca el contorno del plutón (Edición propia).	85
Imagen N° 4.17: Vista de la cuarta terraza (T4) desde la superficie de la terraza 3. La línea roja muestra el contorno de la plataforma de abrasión de la terraza 4 (Fuente: Edición propia).	85
Imagen N° 4.18: Vista desde la planicie superior hacia el sector oriente de la isla. Las flechas rojas indican algunas quebradas que son visibles en la imagen (Fuente: Edición propia).	86
Imagen N° 4.19: Stack y headland vistos desde la superficie de la isla. La línea roja marca su respectivo contorno (Fuente: Edición propia).	87
Imagen N° 4.20: Depósito de conglomerados vistos desde un bote motorizado. Estos depósitos se encuentran sobre una plataforma de abrasión modelada en el plutón que se ubica en el extremo sur de la isla, formando una inconformidad (línea roja) (Fuente: Modificado de Mercado y Cepeda, 2008).	87

Figura N° 4.2: Diagrama evolutivo de TM1, TM2, TM3, TM4 y TM5, realizado a partir de la posición de los paleo acantilados, según las altitudes medidas en terreno. Se trazaron en el modelo las probables isolíneas del límite inferior de cada paleo acantilado. (A) Paleo acantilado de TM1 (línea roja discontinua), se observa una línea de costa a ~100 m s.n.m. (B) Paleo acantilado de TM2 (línea verde discontinua), se observa una línea de costa a ~80 m s.n.m. (C) Paleo acantilado de TM3 (línea anaranjada discontinua), se observa una línea de costa a ~40 m s.n.m. (D) Paleo acantilado de TM4 (línea violeta discontinua), se observa una línea de costa a ~20 m s.n.m. (E) Acantilado de TM5, se observa la línea de costa actual (Fuente: Edición propia)..... 89

Imagen N° 4.20: Cuevas vistas desde una lancha. Las flechas rojas indican pequeñas cuevas que se han formado en el contorno de la RMICH a causa de la erosión diferencial generada por el oleaje (Fuente: Edición propia). 90

Imagen N° 4.21: La imagen muestra una plataforma rocosa que tiene contacto directo con el mar, la cual podría eventualmente elevarse a causa de un movimiento tectónico generando una quinta terraza. Nótese que esta plataforma es utilizada por una gran cantidad de lobos marinos que habitan la RMICH (Fuente: Edición propia). 90

Imagen N° 4.22: Vista desde la distancia de un arco natural (flecha roja). Nótese que la saliente costera donde se forma el arco presenta grandes fracturas (diaclasas), las cuales favorecieron a su formación (Fuente: Edición propia). 91

Imagen 4.23: Vista de cerca del arco natural que se forma en el sector sur de la isla. Nótese que el arco de roca es utilizado por una gran cantidad de aves para nidificar (Fuente: Modificado de Mercado y Cepeda, 2008). 91

Imagen N° 4.24: Conos coluviales cubriendo los acantilados del extremo sur de la RMICH. Las líneas rojas muestran el contorno de los conos coluviales (Fuente: Edición propia). 92

Imagen N° 4.25: Posters y telares informativos realizados por CONAF sobre la biodiversidad presente en la RMICH para los visitantes y turistas que llegan a la Caleta Chañaral de Aceituno. Las fotografías fueron tomadas en enero de 2022 (Fuente: Edición propia)..... 93

Imagen N° 4.26: Planicie cubierta por matorrales, arbustos y cactáceas. En la imagen se puede ver que las especies que predominan son la <i>Eulychnia acida</i> (cactáceas) y la <i>Cistanthe speciosa</i> (matorral con flores violetas) (Fuente: Cortesía del Guardaparques Iván Torres, 2018).....	98
Imagen N° 4.27: En las imágenes A y B se pueden observar <i>Spheniscus humboldti</i> (pingüinos de Humboldt) que se encuentran en procesos de reproducción, y en la imagen C se observan huevos de esta especie de pingüinos. Nótese que en todas las fotos se observa la especie <i>Eulychnia acida</i> , ya que una gran cantidad de pingüinos de Humboldt nidifican bajo estos cactus (Fuente: imagen A y B cortesía del guardaparques Iván Torres; imagen B Edición propia).....	98
Imagen N° 4.28: Pareja de <i>Cathartes aura</i> (jotes cabeza colorada) en la isla Chañaral (Fuente: Cortesía del guardaparques Iván Torres, 2019).....	99
Imagen N° 4.29: Cactáceas presentes en la isla Chañaral. La imagen A muestra la especie <i>Copiapoa coquimbana</i> , mientras que la imagen B muestra la especie <i>Eulychnia acida</i> (Fuente: Edición propia).....	99
Imagen N° 4.30: Loberas de la isla Chañaral. Las imágenes muestran a una gran cantidad de <i>Otaria flavescens</i> y <i>Arctocephalus sp.</i> (lobos marinos) sobre una plataforma. Esta planicie en particular es utilizada por los lobos marinos para reproducirse (Fuente: Edición propia).....	100

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 4.1: Diagrama radial que muestra de manera esquemática los criterios y parámetros dispuestos en la tabla N° 4.1 (Fuente: Edición propia).	102
Gráfico N° 4.2: Diagrama radial que muestra de manera esquemática los criterios y parámetros dispuestos en la tabla N° 4.2 (Fuente: Edición propia).	104
Gráfico N° 4.3: Diagrama radial que muestra de manera esquemática los criterios y parámetros dispuestos en la tabla N° 4.3 (Fuente: Edición propia).	106
Gráfico N° 4.4: Diagrama radial que muestra de manera esquemática los criterios y parámetros dispuestos en la tabla N° 4.4 (Fuente: Edición propia).	108
Gráfico N° 5.1: Comparación entre los puntajes ideales de una ASP y los puntajes obtenidos para la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Edición propia).	117

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa N° 1.1: Ubicación de la Reserva Marina Isla Chañaral (Fuente: Edición propia).....	28
Mapa N° 3.1: Base de terreno para la cartografía geológica y geomorfológica de la RMICH diseñado a partir del software ArcGis (Fuente: Edición propia).	58
Mapa N° 4.1: Cartografía geológica de la RMICH, escala 1:5.000 (Fuente: Edición propia).	72
Mapa N° 4.2: Cartografía geomorfológica de la RMICH, escala 1:10.000 (Fuente: Edición propia).....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1: Factores desencadenantes y condicionantes que determinan la generación, la modalidad y la magnitud de eventos naturales peligrosos (Fuente: Modificado de Castro et al., 2010).	43
Tabla N° 3.1: Criterios que propone Brilha (2015) para identificar el valor científico de la geodiversidad en la etapa de diagnóstico.	55
Tabla N° 3.2: Criterios que propone Brilha (2015) para identificar el valor educativo de la geodiversidad en la etapa de diagnóstico.	55
Tabla N° 3.3: Criterios que propone Brilha (2015) para identificar el valor geoturístico de la geodiversidad en la etapa de diagnóstico.	56
Tabla N° 3.1: Tipos de interés geológico para inventariar la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Modificado de Martínez, 2017).	59
Tabla N° 3.2: Criterios propuestos para cuantificar el valor científico de la geodiversidad en la RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).	62
Tabla N° 3.3: Parámetros propuestos para cuantificar el valor científico de la geodiversidad en la RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).	63
Tabla N° 3.4: Criterios propuestos para cuantificar el Potencial de Uso Educativo (PUE) y Geoturístico (PUT) de la geodiversidad en la RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).	65
Tabla N° 3.5: Continuación de los criterios propuestos para cuantificar el Potencial de Uso Educativo (PUE) y Geoturístico (PUT) de la geodiversidad en la RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).	66
Tabla N° 3.6: Parámetros propuestos para cuantificar el Potencial de Uso Educativo (PUE) y Geoturístico (PUT) de la geodiversidad en la RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).	66
Tabla N° 3.7: Continuación de los parámetros propuestos para cuantificar el Potencial de Uso Educativo (PUE) y Geoturístico (PUT) de la geodiversidad en la RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).	67

Tabla N° 3.8: Criterios propuestos para cuantificar el Riesgo de Degradación en RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).	69
Tabla N° 3.9: Parámetros propuestos para cuantificar el Riesgo de Degradación en RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).	69
Tabla N° 3.10: Interpretación de los puntajes obtenidos en la valoración (Modificado de Brilha, 2015).	70
Tabla N° 4.1: Puntajes obtenidos para el valor científico. La tabla muestra los respectivos criterios, parámetros y ponderadores empleados para cuantificar numéricamente el VC que posee la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Edición propia).	102
Tabla N° 4.2: Puntajes obtenidos para el Potencial de Uso Educativo. La tabla muestra los respectivos criterios, parámetros y ponderadores empleados para cuantificar numéricamente el PUE que posee la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Edición propia).	104
Tabla N° 4.3: Puntajes obtenidos para el Potencial de Uso Geoturístico. La tabla muestra los respectivos criterios, parámetros y ponderadores empleados para cuantificar numéricamente el PUT que posee la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Edición propia).	106
Tabla N° 4.4: Puntajes obtenidos para el Riesgo de Degradación. La tabla muestra los respectivos criterios, parámetros y ponderadores empleados para cuantificar numéricamente el RD que posee la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Edición propia).	107
Tabla N° 5.1: Resumen de los puntajes obtenidos para el VC, PUE, PUT y RD asociados a la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Edición propia).	117
Tabla N° 6.1: Programas y actividades propuestos para fortalecer la geoconservación de la RMICH.	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Esquema ilustrativo del alcance y el rol de la geoconservación, dentro de la conservación de la naturaleza (Fuente: Modificado de Pereira, 2010).	35
Figura N° 2.2: Esquema conceptual de la diversidad natural (Fuente: Extraído de Martínez, 2017).	36
Figura N° 2.3: Factores que determinan la aridez del desierto de Atacama (Fuente: Modificado de Castro et al., 2010).	39
Figura N° 2.4: Conjunto de datos climáticos de series temporales de 1901 – 2020 del sector continental frente a la RNPH entre la región de Atacama y Coquimbo (Fuente: Extraído de Harris et al., 2020).	40
Figura N° 2.5: Lluvias asociadas a eventos EL NIÑO periodo 1970 – 1997. Estación Copiapó – Chamonate (27°24'41''S / 70°24'51'') (Fuente: Extraído de Castro et al., 2010).	40
Figura N° 3.1: Síntesis de métodos de valoración de geodiversidad y geositios aplicados en la evaluación del patrimonio geológico (Fuente: Extraído de Encalada, 2020).	53
Figura N° 3.2: Continuación síntesis de métodos de valoración de geodiversidad y geositios aplicados en la evaluación del patrimonio geológico (Fuente: Extraído de Encalada, 2020).	54
Figura N° 4.1: Diagrama de densidad realizado en el software Dips que muestra el rumbo (línea roja discontinua) y las direcciones de inclinación preferenciales (Círculos mayores) de los planos de foliación presentes en las rocas metamórficas que forman la RMICH.	80

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Primera parte de la ficha de terreno que se diseñó para inventariar la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Modificado de Martínez, 2017).....	134
Anexo N° 2: Segunda parte de la ficha de terreno que se diseñó para inventariar la geodiversidad de Isla Chañaral (Fuente: Modificado de Martínez, 2017).....	135

RESUMEN

El patrimonio natural presente en Chile es vasto y único, por lo que la conservación de este patrimonio no solo permite proteger los delicados y sensibles ecosistemas que posee, además permite contribuir al bienestar de los habitantes de una forma armónica, ordenada y planificada.

La geodiversidad de la Reserva Marina Isla Chañaral (RMICH) presenta una variedad de rasgos abióticos ligados a la historia geológica y a la morfo dinámica costera del norte de Chile, que en conjunto con la biodiversidad que posee, constituyen un paisaje de gran belleza escénica. Además, este sitio ha sido objeto de diversos estudios de relevancia internacional ligados a su diversidad biológica, y es visitado todos los años por cientos de turistas que buscan vivir una experiencia única e inolvidable. A pesar de esto, el conocimiento ligado a la geodiversidad de la reserva es bastante escaso y no pareciera ser conocido y considerado por las comunidades locales o por CONAF, desperdiciando de esta manera el potencial científico, didáctico e interpretativo que ofrece la diversidad paisajística del lugar.

Por lo anterior, la presente investigación presenta mediante una metodología cualitativa y cuantitativa, basada en trabajos nacionales e internacionales, un diagnóstico y una evaluación de la geodiversidad de la RMICH que busca destacar los aspectos más relevantes de su medio natural abiótico. A través de este estudio se identifican, caracterizan e interpretan en detalle los elementos geológicos, geomorfológicos y morfo dinámicos presentes en la isla, y se analizan los posibles valores funcionales y potenciales usos que puedan tener estos elementos en el campo de la investigación científica, la educación y el geoturismo.

Se desprende de este trabajo, que la geodiversidad de la RMICH presenta un valor patrimonial ligado principalmente a la geomorfología, la tectónica y la morfo dinámica costera del norte de Chile, y un potencial suficiente, para iniciar actividades en materia de geoconservación, investigación y divulgación geocientífica. Con posibilidades reales de aumentar el alcance del conocimiento ligado a su medio

natural, generar nuevas ofertas de empleo, diversificar la oferta turística, contribuir al desarrollo de una identidad local coherente al entorno natural y establecer las bases para futuras investigaciones.

ABSTRACT

Chile's natural heritage is vast and unique, so the conservation of this heritage not only protects the delicate and sensitive ecosystems it possesses, but also contributes to the well-being of its inhabitants in a harmonious, orderly and planned manner.

The geodiversity of the Chañaral Island Marine Reserve (RMICH) presents a variety of abiotic features linked to the geological history and coastal morphodynamics of northern Chile, which together with its biodiversity, constitute a landscape of great scenic beauty. In addition, this site has been the subject of several studies of international relevance linked to its biological diversity, and is visited every year by hundreds of tourists seeking to live a unique and unforgettable experience. Despite this, knowledge about the geodiversity of the reserve is quite scarce and does not seem to be known and considered by the local communities or CONAF, thus wasting the scientific, didactic, and interpretive potential of the site's scenic diversity.

Therefore, this research presents a qualitative and quantitative methodology, based on national and international studies, a diagnosis and evaluation of the geodiversity of the RMICH that seeks to highlight the most relevant aspects of its abiotic natural environment. This study identifies, characterizes and interprets in detail the geological, geomorphological and morpho-dynamic elements present on the island, and analyzes the possible functional values and potential uses of these elements in the fields of scientific research, education and geotourism.

It is clear from this work that the geodiversity of the RMICH has a heritage value linked mainly to the geomorphology, tectonics and coastal morphodynamics of northern Chile, and sufficient potential to initiate activities in geoconservation, research and geoscientific dissemination. With real possibilities to increase the scope of knowledge linked to its natural environment, generate new job offers, diversify the tourist offer, contribute to the development of a local identity consistent with the natural environment and establish the basis for future research.

CAPÍTULO I. MARCO INTRODUCTORIO

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La Reserva Nacional Pingüino de Humboldt (RNPH), ubicada entre el límite de la región de Atacama y Coquimbo, es considerada la reserva con la mayor diversidad biológica de especies marino-costeras del sector septentrional de Chile. Junto a las actividades de ecoturismo sustentable que realizan los pescadores de las caletas más próximas, este lugar también ofrece dentro de sus límites una gran riqueza geológica y patrimonial bastante desconocida por la mayoría.

La RNPH se encuentra conformada por las reservas marinas islas Choros, Damas y Chañaral, de las cuales destaca la Reserva Marina Isla Chañaral (RMICH) por ser la más grande y por contar con la mayor cantidad de flora y fauna de las tres (ver imagen N° 1.1) .

Desde un punto de vista geológico, la RMICH es un laboratorio natural que nos ofrece indicios de una gran actividad tectónica, magmática, y cambios climáticos que dejaron rastros, como terrazas marinas alzadas (Mercado y Cepeda, 2008), lo que forma un paisaje de gran belleza escénica para los visitantes. Esta reserva es mudo testigo de la historia del borde costero y cuna de pueblos indígenas como los incas y los diaguitas, que dejaron entre sus quebradas y planicies vestigios de este pasado (CONAF, 2018).

Sin duda todos estos atributos naturales y culturales que presenta la RMICH hacen de este lugar un sitio prioritario para su geoconservación, para con ello garantizar la protección y conservación del delicado y sensible ecosistema que posee; tanto del presente como de la huella imborrable del pasado; contribuyendo de forma armónica, ordenada y planificada al bienestar humano.

Por lo anterior, la presente contribución pretende aprovechar y poner en valor la geodiversidad de la RMICH a través de un diagnóstico y una evaluación de

su medio natural abiótico. Para lograr esto, se realizó una recopilación bibliográfica extensa; se diseñó una ficha de terreno; y se llevó a cabo la cartografía geológica y geomorfológica de la reserva.

Este trabajo se realiza con el fin de ayudar a mejorar el diseño y desarrollo de la geoconservación en la RMICH, ya que en la actualidad sus planes de manejo, diseñados a través del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SNASPE), no contemplan a la geodiversidad como herramienta para diseñar y gestionar estrategias de conservación.

El diagnóstico generado en esta investigación identifica, caracteriza e interpreta los rasgos geológicos, geomorfológicos y morfo dinámicos actuales presentes en la RMICH, y define los posibles valores funcionales y usos potenciales que poseen estos elementos para las futuras generaciones. Todo esto siguiendo una filosofía que armoniza con la del SNASPE. Por su parte, la evaluación consiste en una valoración cuantitativa de los valores y potenciales usos identificados previamente, y un análisis de los datos numéricos obtenidos.

La información recolectada en esta investigación permitirá incorporar a los relatos existentes, un valioso conocimiento sobre la dinámica del borde costero, y los procesos geológicos asociados a la génesis de la RMICH, además servirá como herramienta para ampliar y fortalecer los programas científicos, educativos y culturales que se encuentran diseñados actualmente, de esta manera se dejará de desperdiciar el gran potencial científico y de interpretación que ofrece esta reserva natural.

Cabe destacar, que el diagnóstico y la evaluación de la geodiversidad de la RMICH realizado en este trabajo no busca determinar si esta es apta o no para ser catalogada como geosítio o como sitio de geodiversidad; más bien, busca impulsar mejorar el diseño y el desarrollo de las herramientas utilizadas para su geoconservación, y fomentar el desarrollo de la geoconservación en el resto de las Áreas Silvestres Protegidas (ASPs). Por lo que se espera que la información recolectada pueda ser utilizada por CONAF para la conservación de la RMICH.

Por otra parte, es importante señalar que en la actualidad se encuentra en la Comisión de Hacienda de la cámara de diputados, el primer proyecto de ley que busca crear el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP). Si bien aún queda bastante para que el SBAP sea ley, este proyecto presenta una excelente oportunidad para implementar ideas y datos como los planteados en esta investigación.



Imagen N° 1.1: Vista panorámica de la RMICH desde una lancha (Fuente: Edición propia).

1.2. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Realizar un diagnóstico y una evaluación de la geodiversidad de la Reserva Marina Isla Chañaral con la finalidad de ayudar a mejorar el diseño y desarrollo de su geoconservación, y fomentar el desarrollo de la geoconservación en el resto de las Áreas Silvestres Protegidas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar, caracterizar e interpretar los rasgos geológicos, geomorfológicos y morfo dinámicos actuales, y sus potenciales usos.
- Identificar los vínculos entre los elementos que componen el medio natural.
- Realizar una valoración cuantitativa de los valores y potenciales usos de la geodiversidad identificados en el diagnóstico, y un análisis de los datos obtenidos.
- Divulgar el inventario elaborado y la información obtenida en esta investigación al Departamento de Áreas Silvestres Protegidas (DASP) de Copiapó y Vallenar.

1.3. HIPÓTESIS

La geodiversidad de la Reserva Marina Isla Chañaral presentará diversos intereses geológicos; principalmente ligados a la geomorfología, tectónica y morfo dinámica costera; y un gran potencial para ser usada en programas científicos, educativos y geoturísticos.

1.4. ANTECEDENTES

1.4.1. Antecedentes nacionales

Si bien en Chile las estrategias efectivas sobre conservación y protección del medio natural han sido relativamente recientes, las primeras relacionadas a la protección del patrimonio natural se remontan al 14 de septiembre de 1830 con la creación del Museo de Historia Natural. En dicho evento Claudio Gay firma un contrato

con el ministro Diego Portales, comprometiéndose a recorrer el territorio nacional en busca de elementos y sitios que aporten a la historia natural de Chile, geografía, geología; y, cuanto contribuya a conocer las producciones naturales del país (Stuardo, 1973; Hervé *et al.*, 2012).

Casi un siglo después, en 1927 el geólogo alemán Hans Bruggen publica en la Revista Chilena de Historia y Geografía un trabajo “Sobre la protección de un bloque errático situado cerca de Puente Alto”, región Metropolitana. En dicho trabajo Bruggen señala que la única forma de proteger estos monumentos de la naturaleza sería declararlos junto con su vecindad inmediata como monumentos nacionales, además menciona que *“una pequeña tabla podría informar a los visitantes acerca del significado de estos bloques”* (1927 en Hervé *et al.*, 2012).

Posteriormente, 40 años más tarde Segerstom (1967), publica un trabajo que consiste en una guía de excursión en la provincia de Copiapó de alrededor de 450 km de extensión, con más de 30 sitios de interés geológico, transformándose en un pionero de lo que hoy se conoce como geoturismo. Más de una década después, Pacci y Pérez (1979), durante el II Congreso Geológico Chileno presentan un trabajo que muestra una ruta para conocer las principales características geológicas de Arica, para lo cual definen 37 lugares de interés geológico. Este tipo de trabajos fueron en general bastante escasos y poco valorados durante la época que fueron publicados. Sin embargo, durante el siglo XXI las iniciativas con respecto a la geoconservación han aumentado bastante.

Uno de los primeros trabajos publicados durante este siglo y que trajo consigo grandes logros fue el de Schilling (2007), el cual plantea varias de las ideas ya expuestas en el ámbito internacional sobre el patrimonio geológico, lo que llevaría a que en 2009 el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) desarrollara el proyecto “Modelo de Geoparque en Chile, Etapa I”, para la creación del primer Geoparque Chileno “Kütralkura”(Schilling, 2009, *et al.*, 2010, 2011 y 2012A/B), el cual fue presentado durante ese mismo año en el XII Congreso Geológico Chileno. Al mismo tiempo, durante este evento se retoman los trabajos relacionados al patrimonio geológico, incluyendo el primer Simposio de Geopatrimonio; además se presentan

diversos trabajos que incorporan proyectos relacionados al patrimonio geológico y la creación de nuevos geositorios (Álvarez *et al.*, 2009; Castro *et al.*, 2009). Esto llevó a que este estilo de trabajos se hiciera cada vez más recurrente en las ediciones posteriores. Al mismo tiempo, durante este mismo año la Sociedad Geológica de Chile (SGCh) genera un programa de carácter público para la detección del patrimonio geológico, el cual permite postular diversos lugares que presenten un interés geológico, para luego ser evaluados por un comité de especialistas de dicha sociedad (Calderón *et al.*, 2009).

Ya en abril del 2011, gracias al aumento en las iniciativas sobre geoconservación se realiza el I Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile, que además de reunir a diversos profesionales de diferentes países se proclaman los principios para la creación de Geoparques en el territorio nacional (Acta del I Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile, 2011). Posteriormente, en 2014 se realiza una segunda versión de este evento. Al mismo tiempo, entre el 2010 y 2013, SERNAGEOMIN desarrolla las bases del proyecto Modelo de Geoparque en Chile, Etapa I, para la creación del primer geoparque chileno “Kütralkura” (Schilling *et al.*, 2011).

Ya más próximo a la actualidad, Mourgues *et al.* (2016) publica en el libro “Patrimonio geológico y su conservación en América Latina: Situación y perspectivas nacionales” un capítulo dedicado a la situación del patrimonio geológico en Chile y su conservación.

A la fecha, existen 66 geositorios aprobados por la SGCh (Martínez *et al.*, 2015), junto con varios trabajos académicos relacionados a esta temática, destinados al desafío de identificar y poner en valor el patrimonio geológico nacional (Hervé *et al.*, 2012) como lo es el Parque Nacional Torres del Paine (Martínez, 2010), Parque Nacional Pale-Aike (Mardones, 2012), el sector costero de la región de Atacama (Castro *et al.*, 2007; 2010; 2011 y 2013), la comuna de Lonquimay (Partarrieu, 2013), en la zona urbana de la ciudad de Santiago (Rodríguez, 2013), en el Cajón del Maipo (Benado, 2013) y Puchuncavi (Andrade *et al.*, 2014; López, 2016). Además, a escala regional destaca una iniciativa desarrollada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), en colaboración con el Instituto Antártico Chileno (INACH) y la Empresa Nacional de

Petróleo (ENAP), que generó un proyecto de identificación y puesta en valor de 10 geositios en la región de Magallanes (Hervé *et al.*, 2012; Martínez, 2017).

Finalmente, en la actualidad gracias al apoyo de especialistas en las Ciencias de la Tierra, así como también a la de tesistas, existen varias iniciativas enfocadas a la protección del patrimonio geológico, entre las cuales se tiene: Proyecto Geoparque Chelénko (Patagonia) (Benado, 2014); Geoparque Minero Litoral del Bio Bio, desarrollado por la Universidad de Concepción, la Universidad Andrés Bello y la Universidad Católica de la Santísima Concepción; Geoparque Puchuncavi (Zora y Andrade, 2015), Ruta Geológica del Maule, liderado por el Centro de Geomática de la Universidad de Talca con ayuda de la Universidad de Dresden (Alemania); entre otras.

1.4.2. Marco legal

En la normativa medioambiental chilena la responsabilidad de conservar la componente abiótica del patrimonio natural está repartida en diversos organismos públicos los cuales presentan diversas orientaciones y jerarquías, como lo son el Ministerio del Medio Ambiente (Santuarios de la Naturaleza), Ministerio de Educación a través del Consejo de Monumentos Nacionales (Yacimientos Paleontológicos y algunos Monumentos Históricos), y el Ministerio de Agricultura a través de la Corporación Nacional Forestal (Parques, Reservas Nacionales y Monumentos Naturales). Sin embargo, aun cuando se han presentado tempranamente con estos instrumentos de protección, en la práctica han resultado poco operativos en el registro sistemático de los componentes no vivos del patrimonio natural, ya que ninguna de estas dependencias del estado ha asumido como misión el registro sistemático de la geodiversidad y/o geopatrimonio, ni tampoco la incorporación de esta a la gestión territorial para una protección integral de las diversas áreas naturales protegidas (Schilling *et al.*, 2015).

En la práctica, la legislación chilena no considera a la geodiversidad o geopatrimonio como un componente necesario para la conservación. De hecho, estos conceptos no se encuentran dentro del marco normativo ambiental chileno que regula la conservación del patrimonio natural (Urresty *et al.*, 2015).

Por otra parte, en el caso de las áreas protegidas la metodología aplicada para planificar y gestionar su conservación se encuentra enfocada principalmente en la biodiversidad, mientras que los aspectos abióticos como la geología o la geomorfología se valoran solo como soporte de la biota, dejando de lado aspectos relevantes como el valor científico, educativo o cultural que puedan presentar estos elementos (Urresty *et al.*, 2015).

De lo anterior planteado, se pueda entonces afirmar que existen muchos vacíos legales en la legislación chilena en relación con la geodiversidad y el geopatrimonio. Para solucionar esto, en 2011 se presentó el proyecto de ley que busca crear el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, el cual pretende solucionar esta problemática. Sin embargo, este proyecto no considera a las áreas que no son áreas protegidas pero que son relevantes para la geoconservación, por lo que en 2015 la Sociedad Geológica de Chile (SGCh) envió diferentes propuestas al congreso que buscan ser acogidas para corregir dichas deficiencias en el marco legal y garantizar la protección del patrimonio geológico nacional. Sin embargo, hasta la actualidad no hay respuesta (Martínez, 2017).

1.5. Ubicación y accesos

La Reserva Marina Isla Chañaral (RMICH) se localiza en el extremo sur de la región de Atacama y pertenece a la comuna de Freirina, específicamente a 8,5 Km de la caleta Chañaral de Aceituno (29°04') (ver mapa N°1.1). Para llegar a este sector se pueden seguir 2 rutas:

La primera ruta comienza desde la ciudad de Vallenar, desde este sector se debe realizar un recorrido de 48 Km a través de la Panamericana 5 Norte hasta la localidad de Domeyko ubicada en el Km 613. Una vez estando allí se debe realizar un desvío por la ruta C-500 por un trayecto de 80 Km pasando por el sector de Carrizalillo hasta llegar a la localidad de Chañaral de Aceituno, la cual se ubica en el Km 78.

La segunda ruta se puede realizar desde la comuna de Freirina. Desde este sector se debe tomar la ruta C-494 y realizar un recorrido de 64 Km a través de esta, posteriormente se debe tomar un desvío por la ruta C-500 la cual lleva directamente a la localidad de Chañaral de Aceituno en un trayecto de aproximadamente 40 Km.

Una vez estando en la Caleta Chañaral de Aceituno, para acercarse a la RMICH se debe realizar un recorrido en lancha de 8,5 Km el cual es realizado por pescadores expertos en guía turística y reconocimiento general de la fauna presente en el sector. El acceso a la reserva es restringido y solo se puede desembarcar con fines de investigación y monitoreo por parte de CONAF, debido a la alta vulnerabilidad que posee su biodiversidad.



Mapa N° 1.1: Ubicación de la Reserva Marina Isla Chañaral (Fuente: Edición propia)

CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE

2.1. CONCEPTOS IMPORTANTES

La literatura científica revela una gran cantidad de definiciones sobre geodiversidad y conceptos relacionados a este, como patrimonio geológico, geositio y geoconservación (por ej. Black y Gonggrijp, 1990; Gonggrijp, 1999; Gray, 2004 y 2008; Serrano y Ruíz, 2007; Henríquez *et al.*, 2011; Wimbledon, 2011). Sin embargo, estos conceptos a menudo se han utilizado de manera incorrecta e incluso hoy en día es común verlos aplicados de manera poco convencionales, particularmente por un número creciente de personas que están comenzando a trabajar en este dominio (Brilha, 2015). Por lo tanto, es necesario dejar claro y bien definido una serie de conceptos ligados a la identificación, protección y gestión del medio natural abiótico.

2.1.1. Geodiversidad

A partir del siglo XXI, el término geodiversidad comenzó a emplearse con más profusión aprovechando el auge de su homólogo en el campo de las ciencias biológicas, biodiversidad, y generalmente unido a conceptos como patrimonio geológico y geoconservación. No obstante, el uso y reconocimiento que presenta el concepto de geodiversidad aún se encuentra menos extendido que el de biodiversidad (Nieto, 2001; Carcavilla *et al.*, 2008).

Las referencias más antiguas encontradas de geodiversidad se remontan al inicio de la década de los 90, adoptadas inicialmente en Tasmania y Australia (Sharples, 2002; Dixon, 1996), posteriormente en Europa y otros países (Nieto, 2001; Brilha, 2005; Gray, 2011).

En los primeros trabajos se proponen diversas definiciones sobre el término geodiversidad, pero posteriormente estas fueron criticadas por la comunidad científica ya que no eran lo suficientemente precisas, un ejemplo de esto fue la empleada por Durán *et al.* (1998) en el libro “Patrimonio Geológico de la Comunidad de Madrid”, en el cual utiliza el término geodiversidad con el significado implícito de diversidad geológica, no proponiendo una definición más precisa. Por otra parte, trabajos como el de Fishman *et al.* (1998) presentan distintos métodos para activar la protección de la geodiversidad (en este caso en Kazakhsan) pero sin proponer alguna definición. Adicionalmente, Arribas y Durán (1998), utilizan el término geodiversidad en un trabajo que analiza las relaciones entre geodiversidad y biodiversidad, mostrando claramente que la primera condiciona fuertemente a la segunda, y Durán *et al.* (1998) analiza la relación entre geodiversidad y patrimonio geológico.

Con la intención de alcanzar una definición unificada que sirva de referencia, Nieto (2001) y Gray (2004), hicieron respectivamente una revisión de las acepciones de geodiversidad más utilizadas. Para Nieto (2001), la geodiversidad corresponde a *“el número y variedad de estructuras (sedimentarias, tectónicas, materiales geológicos (minerales, rocas, fósiles y suelos), que constituyen el sustrato de una región, sobre la que se asienta la actividad orgánica, incluida la antrópica”*. Por su parte Gray (2004), considera que la geodiversidad es *“el rango natural de diversidad de rasgos geológicos (rocas, minerales y fósiles), geomorfológicos (formas de terreno y procesos), pedológicos e hidrológicos, incluyendo sus relaciones, propiedades, interpretaciones y sistemas”*. Estas definiciones son las más utilizadas en la literatura española y anglosajona (Carcavilla *et al.*, 2008).

Más allá de las disputas sobre la definición del término, se hace imprescindible que exista un mutuo acuerdo en la comunidad científica, para que no suceda una transgresión en las metodologías empleadas en materias de geodiversidad (Carcavilla, 2014).

2.1.2. Valores de la geodiversidad

A través de la historia, la conservación de la naturaleza ha estado ligada a las características y utilidades que esta presenta para las diversas actividades humanas, lo que ha llevado a atribuirle diversos valores. Por lo general, el valor económico suele ser el más reconocido, no obstante, en la actualidad gracias a las diversas iniciativas sobre conservación el valor patrimonial también ha adquirido una gran relevancia. Esto ha llevado a que autores como Brilha (2005) o Gray (2004), hayan realizado análisis detallados sobre los respectivos valores que se le pueden otorgar al medio natural. Según estos, los valores atribuibles son:

Valor intrínseco

Corresponde a todos los valores que se le pueden atribuir a la geodiversidad por las características naturales del lugar, independiente del uso que pueda presentar para los humanos, por lo que es más compleja su cuantificación.

Valor cultural

Este es un valor que se otorga cuando se reconoce una fuerte interdependencia entre un desenvolvimiento social, cultural y/o religioso, y el medio físico que lo rodea. Por ejemplo, cuando algún determinado elemento geológico está ligado con alguna mitología, resto arqueológico o historia.

Valor estético

Este valor se relaciona con atribuciones subjetivas que se le otorgan a un lugar, como la belleza de un paisaje, o la sensación corporal que se percibe en dicho sector, por lo que al igual que el primer valor mencionado, este también es compleja su cuantificación. Sin embargo, todo paisaje natural trae consigo algún valor estético.

Valor económico

Este valor es más objetivo y comprensible, ya que estamos acostumbrados a otorgarle un valor económico a prácticamente todos los bienes y servicios, los cuales muchos de estos son producidos a través de recursos geológicos.

Valor funcional

Este valor se encuentra dividido en dos aspectos: el valor utilitario in situ que puede presentar la geodiversidad para los humanos (p. ej. construcción de vías de comunicación, agricultura, etc.), y el valor que puede presentar al ser el sustento de sistemas físicos y ecológicos en la superficie terrestre.

Valor científico y educativo

Desde la perspectiva científica, es el valor que puede presentar la geodiversidad para reconstruir la historia de la tierra, así como también para mejorar el

conocimiento sobre la relación entre las especies y la geodiversidad. Por su parte, desde el ámbito educativo, la geodiversidad puede permitir la planificación y aplicación de actividades educativas de carácter formal, de ámbito escolar, así como también de carácter informal, dirigidas al público en general.

2.1.3. Patrimonio geológico

Se entiende por patrimonio geológico, al conjunto de elementos geológicos que destacan por su valor científico, cultural y educativo. El estudio del patrimonio geológico es independiente de la geodiversidad, aunque ambos presentan una cierta relación. El patrimonio geológico no interviene en las diversas definiciones de geodiversidad, ni en el análisis de la variedad, frecuencia y distribución de esta, aunque sí en su valoración de la calidad o interés (Brilha, 2005 y 2015; Carcavilla, 2008).

2.1.4. Geositio

La Sociedad Geológica de Chile (SGCh) define como geositio “un afloramiento, o varios afloramientos vecinos, que contienen un objeto geológico de valor, que vale la pena preservar. El valor puede ser de diversa naturaleza: geológico, mineralógico, paleontológico, estructural, petrológico, paisajístico, geomorfológico, etc.”. A esto le añade que, “Su identificación y posterior preservación contribuirá a la difusión de los valores de la ciencia geológica en el país, y a preservar para generaciones futuras sitios importantes para la ciencia, la cultura y la sociedad” (Martínez *et al.*, 2015). Además, según la SGCh, los elementos más relevantes de la geodiversidad que contribuyen a la comprensión de los distintos procesos ocurridos en la Tierra corresponden al patrimonio geológico. Cuando estos elementos están en su lugar de origen (in situ) son referidos como geositios.

Por otro lado, Schilling *et al.* (2012/A), menciona que los geositios comprenden lugares de alto valor científico, educativo, cultural y/o escénico. Sin embargo, para algunos autores como Brilha (2015), el concepto de geositio hace referencia a aquellos lugares que tienen un valor científico excepcional, independiente si poseen o no otros valores, lo que permite establecer un límite entre lo que es patrimonio geológico y lo que no lo es.

2.1.5. Sitios de geodiversidad y elementos de geodiversidad

Según Brilha (2015), los sitios de geodiversidad se refieren al conjunto de elementos de la geodiversidad que se encuentran *in situ*, y no poseen un valor científico excepcional, más bien otros valores como educativo, cultural o escénico. Por el contrario, cuando estos elementos no se encuentran en su lugar de origen (*ex situ*), y adicionalmente no poseen un valor científico, pero sí un valor educativo, cultural o turístico, como es el caso de piedras ornamentales en monumentos o edificios, se le denomina simplemente como elemento de geodiversidad.

2.1.6. Geoconservación

Es el conjunto de acciones dirigidas a la gestión de lugares de interés geológico, el cual incluye el inventario y valoración, la conservación, la protección legal, la interpretación y la monitorización de los lugares, así como la gestión del patrimonio geológico (ProGeo, 2017).

Por su parte, Sharples (2002), define que el objetivo de la geoconservación es, preservar la geodiversidad de rasgos y procesos geológicos, geomorfológicos, y de suelos; y mantener las tasas naturales y magnitudes de cambio de

estos rasgos y procesos. Además, menciona que la geoconservación basada en una identificación de la geodiversidad proporciona las bases para la bioconservación, ya que esta proporciona la variedad de ambientes que influyen directamente en la biodiversidad.

Zaragoza *et al.* (2013), mencionan además que la geoconservación reconoce que los componentes vivos y no vivos, son igual de importantes para la conservación de la naturaleza, por lo que les da una gran importancia a los sistemas biológicos.

Pereira (2010), por otro lado, sostiene que la geoconservación comprende solo la conservación de ciertos elementos de la geodiversidad, que están dotados de cualquier valor superlativo que se superpone al promedio, y que están dotados de valores científicos, pedagógicos, culturales, turísticos u otros. Tales sucesos constituyen lo que normalmente se llama patrimonio geológico (ver figura N° 2.1).

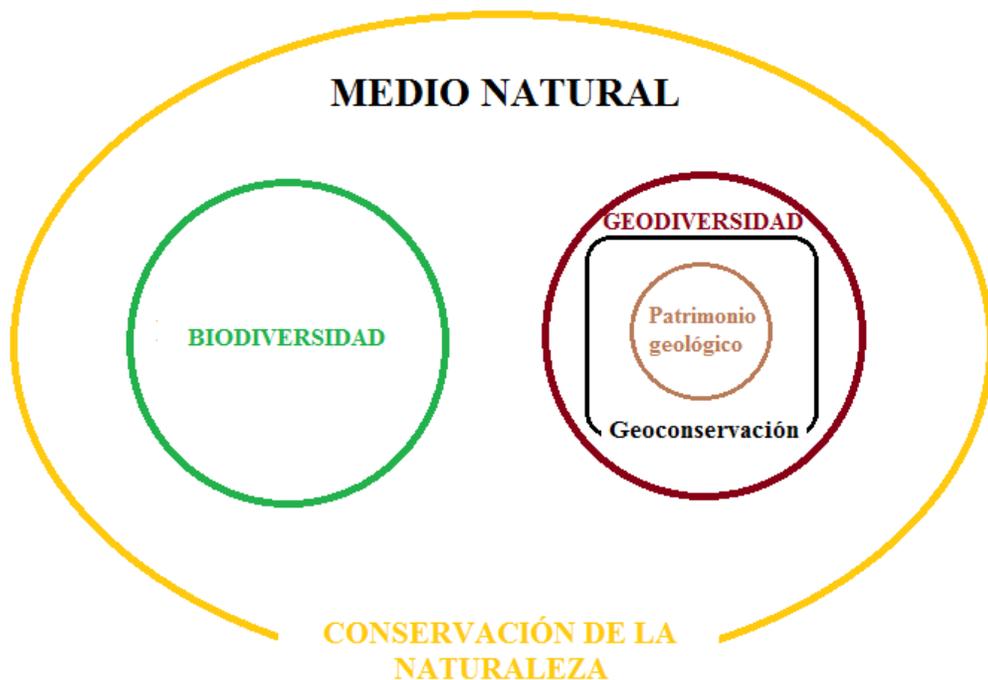


Figura N° 2.1: Esquema ilustrativo del alcance y el rol de la geoconservación, dentro de la conservación de la naturaleza (Fuente: Modificado de Pereira, 2010).

2.1.7. Relación entre los conceptos

Ya que existen diversos valores para la geodiversidad, se vuelve necesario hacer una diferencia entre aquellos que poseen un valor científico y los que no (Martínez, 2017). Según Brilha (2015), el conjunto de elementos de la geodiversidad caracterizados por su valor científico se les asigna como patrimonio geológico. Y adicionalmente, cuando estos elementos se encuentran in situ se les asigna con el término geositio. Por otra parte, cuando estos elementos no poseen un valor científico, pero si otro valor, como educativo, cultural o escénico, y además se encuentran in situ, se le denomina sitio de geodiversidad, mientras que en caso de estar ex situ se denominará elemento de geodiversidad. Finalmente, la geoconservación es una disciplina que busca la conservación y preservación de la geodiversidad y de los sistemas biológicos relacionados (ver figura N° 2.2).

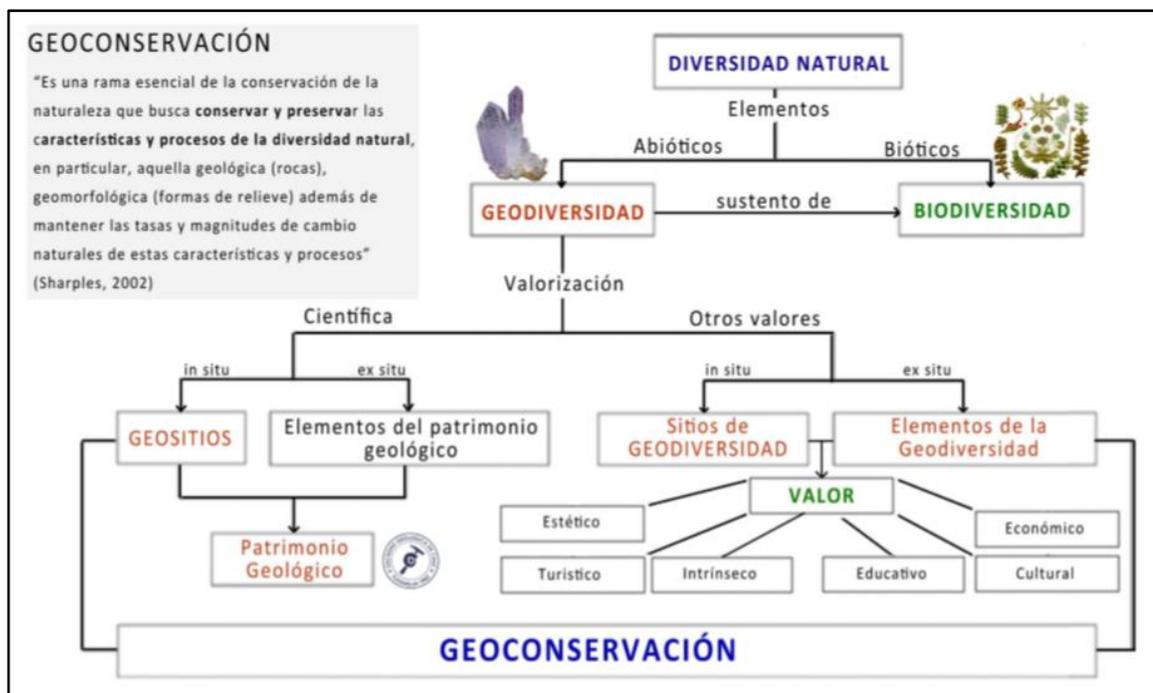


Figura N° 2.2: Esquema conceptual de la diversidad natural (Fuente: Extraído de Martínez, 2017).

2.1.8. Geoturismo

El geoturismo es una rama del turismo de la naturaleza que se basa en el entendimiento del patrimonio geológico y la apreciación de la geodiversidad. Además, es un nicho turístico que se destaca por garantizar una cultura científica basada en la comprensión del relieve, de las rocas, los fósiles y otros elementos de la geodiversidad, incluyendo la estética. De esta manera, su alcance es mayor y se diferencia del turismo de masas, muchas veces acelerador de la degradación de los lugares, ya que uno de sus principales funciones es educar a las personas acerca de su entorno, de los procesos geológicos que allí ocurren, y del valor del territorio. Consecuentemente, cualquier modificación o daño que exista al patrimonio natural es un perjuicio directo a esta disciplina (Martínez, 2017). De esta manera, el geoturismo busca exhibir a todo tipo de público el patrimonio geológico y mejorar la dinámica socioeconómica local. Además, debe relacionarse con la biodiversidad y los otros elementos patrimoniales del lugar, de tal manera que la información se ordene de forma decreciente para hacer más fácil su comprensión (Dowling, 2013).

Por su parte, Pereira (2010) aclara que las amenazas del geoturismo son las mismas que afectan al patrimonio geológico, a la geodiversidad y al ambiente rural, las cuales las definen como:

Educativa: Relacionados a la ignorancia sobre los valores de la geodiversidad y a la existencia de conceptos alternativos al desarrollo sustentable.

Políticas: Asociado a la falta de valoración del patrimonio geológico en planos de ordenamiento territorial y materias de desarrollo.

Económicas: Asociadas a la explotación de recursos naturales renovables y no renovables, y a formas de turismo no sustentable.

2.2. MARCO GEOLÓGICO Y GEOTECTÓNICO

2.2.1. Rasgos fisiográficos generales

La Reserva Nacional Pingüino de Humboldt (RNPH) se encuentra ubicada entre el límite de la región de Atacama y Coquimbo, en la región costera del desierto semiárido del Norte Chico, lugar que es dominado por planicies litorales como lo son los llanos de Challe, Carrizalillo, Choros y Chañaral. Estos corresponden a superficies con inclinación al oeste donde se pueden reconocer depósitos marinos y numerosas líneas de paleo costa y escarpes erodados (Cancino *et al.*, 2015). Frente a estos llanos emergen las Reservas Marinas Islas Choros, Damas y Chañaral, las cuales están caracterizadas por una morfología de terrazas marinas y escarpes verticales (Mercado y Cepeda, 2008).

2.2.2. Clima, vegetación y suelos

Al norte de los 30° latitud sur, se extiende un vasto y matizado medio geográfico cuyo sello predominante es la aridez, generado principalmente por tres causales: La subsidencia subtropical del pacífico sur o anticiclón del pacífico sur (zona de alta presión atmosférica); la corriente de Humboldt a lo largo de la costa, la cual transporta aguas frías disminuyendo la evaporación y la formación de nubes de lluvia; y la Cordillera de los Andes que impide la llegada de la humedad de la cuenca amazónica (ver figura N° 2.3). Estos factores convergen en la creación de una región principalmente árida con extensas superficies desprovistas de vegetación denominado desierto de Atacama (Antonioletti *et al.*, 1972; Castro *et al.*, 2010; Miller, 1976; Garreaud *et al.*, 2003 y 2007; Houston y Hartley, 2003; Cristóbal *et al.*, 2008).

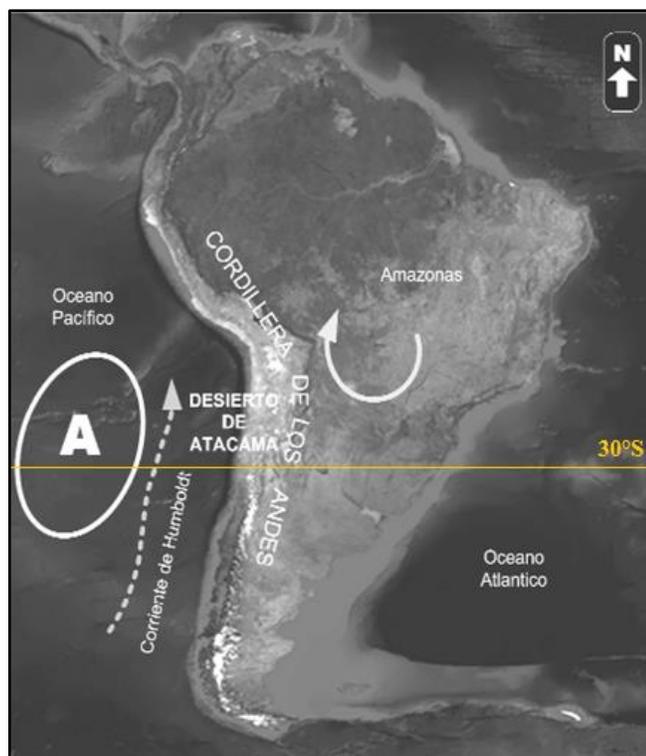


Figura N° 2.3: Factores que determinan la aridez del desierto de Atacama (Fuente: Modificado de Castro *et al.*, 2010).

La Reserva Marina Isla Chañaral se ubica en la zona mediterránea del desierto semiárido del norte Chico. Esta zona costera se caracteriza por la formación de neblinas costeras o “camanchaca” que sustentan la vegetación de lomas, llanos e islas (Maldonado y Rozas, 2008; Castro *et al.*, 2010). Las temperaturas medias fluctúan entre los 14° y 15°C aumentando gradualmente alrededor de 0,5°C cada 20 años (Harris *et al.*, 2020). Las precipitaciones, por su parte, son esporádicas y se encuentran asociadas principalmente a eventos EL NIÑO/Oscilación del Sur (ENOS) (Castro *et al.*, 2010). No obstante, se estima que el promedio anual bordea los 50 mm/año (Harris *et al.*, 2020) (ver figura N° 2.4). Además, se estima que durante el siglo XX en las costas del norte de Chile se han registrado 18 eventos EL NIÑO, con presencia de aguas oceánicas de temperaturas superficiales más elevadas y montos de lluvias más altos, a partir de registros de la Dirección Meteorológica de Chile (Castro *et al.*, 2010) (ver figura N° 2.5).

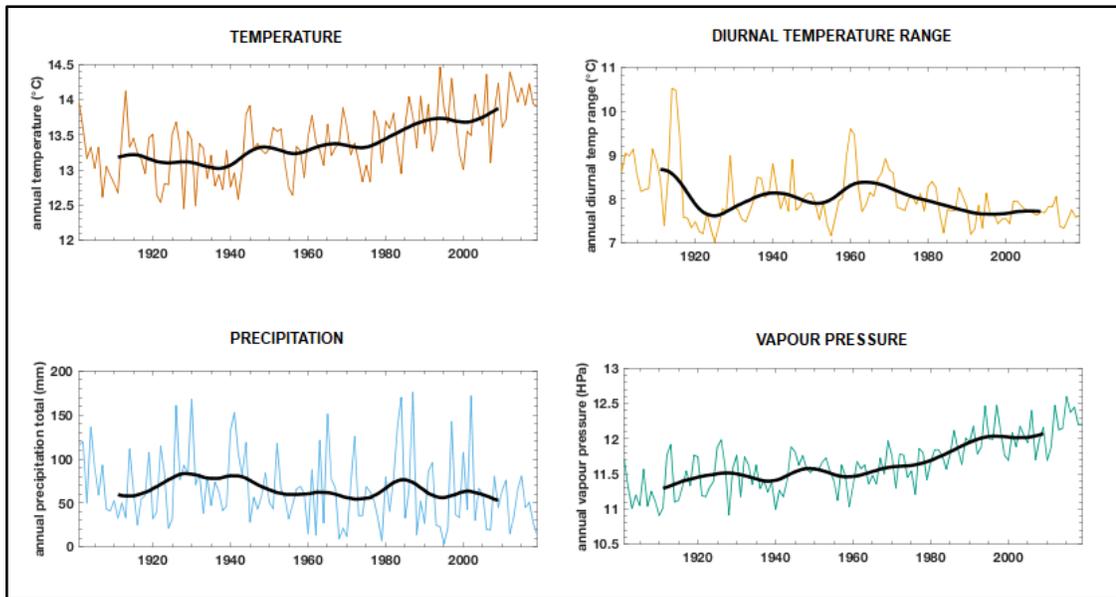


Figura N° 2.4: Conjunto de datos climáticos de series temporales de 1901 – 2020 del sector continental frente a la RNPH entre la región de Atacama y Coquimbo (Fuente: Extraído de Harris *et al.*, 2020).

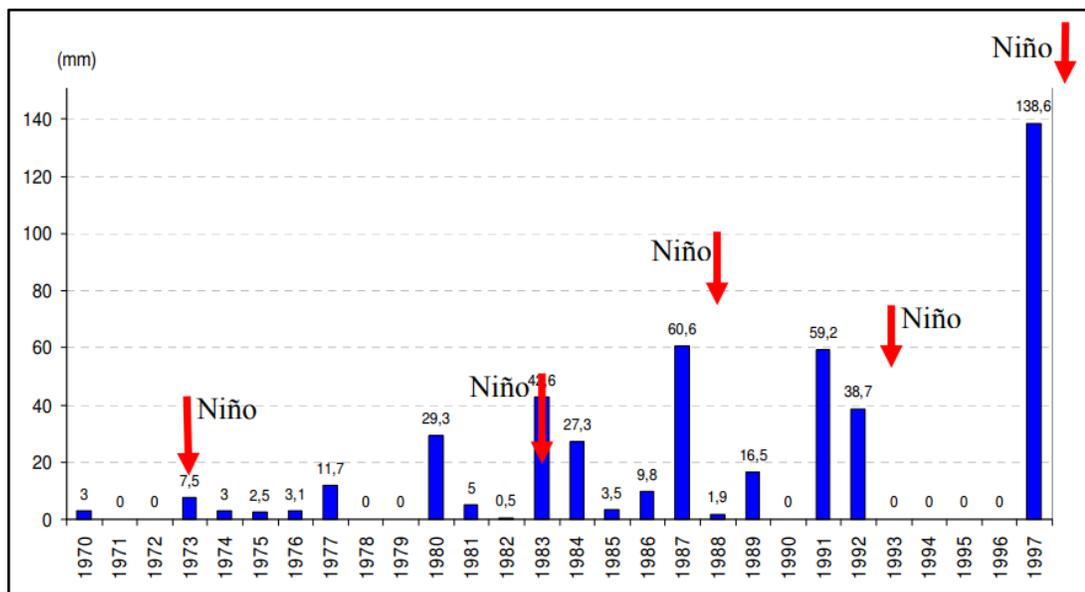


Figura N° 2.5: Lluvias asociadas a eventos EL NIÑO periodo 1970 – 1997. Estación Copiapó – Chamonate (27°24'41''S / 70°24'51'') (Fuente: Extraído de Castro *et al.*, 2010).

Estas lluvias ocasionales permiten el desarrollo temporal de diferentes especies de plantas que salen de su latencia y terminan por cubrir extensas superficies de terrazas marinas, islas y llanos de los valles de la región de Atacama y Coquimbo, generando el fenómeno denominado “Desierto florido” (Castro *et al.*, 2010).

En la zona costera de Atacama y Coquimbo, estas mismas lluvias pueden generar intensa actividad aluvial en las quebradas y valles costeros. Además, diversos autores han fundamentado el vínculo entre la ocurrencia de eventos EL NIÑO y lluvias intensas que desencadenan flujos aluvionales (Vargas *et al.*, 2000; Ortlieb y Vargas, 2003; Quezada, 2006; Grijalba, 2016).

En la zona costera, estos flujos de barro y detritos se originan en las quebradas y cauces habitualmente secos de la cordillera de la costa, y se componen de materiales gruesos inmersos en una matriz de sedimentos finos y agua (Castro *et al.*, 2008). Según Hauser (1993), en este tipo de flujos alrededor del 68% en peso corresponde a materiales sólidos que son puestos en movimiento por la acción del agua que actúa como un soporte activo.

Los ecosistemas marinos costeros del norte Chico están vinculados con la existencia de la Corriente de Humboldt y la ocurrencia de surgencias costeras o afloramientos de aguas marinas, los cuales son originados gracias a los fuertes vientos del sur y suroeste y a la morfología de la costa. El viento permite la movilización de las aguas superficiales cercanas a la costa, las que son reemplazadas por aguas cargadas en nutrientes que ascienden de niveles más profundos (Castro *et al.*, 2008; 2010).

Las surgencias ocurren frente a promontorios o puntas rocosas, siendo estos lugares geográficos potenciadores en la generación, propagación y dispersión de las surgencias costeras desde la costa hacia mar adentro. En este sentido, la morfología del litoral de Atacama y Coquimbo presenta condiciones favorables para la generación de focos de surgencias. Además, se producen otros procesos asociados a las surgencias, como lo son los filamentos y remolinos, los que son generados por el gradiente de temperatura que existe entre el sector costero y el mar adentro, y cuya finalidad es la

dispersión y propagación de las temperaturas más frías en superficie desde la costa hacia el mar adentro (Castro *et al.*, 2006).

La presencia de surgencias en estos lugares genera un ecosistema compuesto por una gran variedad de especies pues; las aguas sub-superficiales de origen más frías que ascienden hacia aguas superficiales son ricas en nutrientes (Castro *et al.*, 2006).

Debido a que las surgencias responden a las condiciones imperantes en un determinado periodo, se ven potenciadas cuando se desarrolla una anomalía negativa de las presiones y vientos sobre el océano pacífico, generando un enfriamiento de la temperatura superficial del mar mayor a lo normal, conocido como ciclo LA NIÑA. En esta etapa las surgencias son más desarrolladas, generando temperaturas más frías de lo normal en superficie lo que favorece al desarrollo de un ecosistema marino rico en variadas especies. Sin embargo, se genera una mayor sequía en el sector costero continental debido a que disminuye la evaporación y con ello hay una menor capacidad nubosa (Castro *et al.*, 2010).

Situación contraria ocurre cuando se produce una anomalía positiva de la temperatura superficial del mar, lo cual se conoce como fenómeno EL NIÑO, proceso que es capaz de inhibir la generación de surgencias, debido a un aumento de la evaporación y con ello la cobertura nubosa, potenciando la camanchaca y favoreciendo el ecosistema terrestre costero (Castro *et al.*, 2010).

Por lo tanto, la generación de surgencias y la corriente de Humboldt juegan un rol fundamental en la configuración del ecosistema marino y terrestre del sector litoral del Norte Chico, lo que caracteriza a las especies que habitan este sector costero.

Los suelos de esta región, por su parte, son producto de la interacción entre productos metamórficos, sedimentarios y plutónicos, y las condiciones climáticas áridas, resultando en la formación principalmente de Aridisoles.

2.2.3. Peligro geológico

En Chile, existen 4 peligros naturales con mayor frecuencia de ocurrencia, los cuales son el riesgo sísmico, los tsunamis, el hidrometeorológico y el volcánico, según la oficina nacional de emergencia (2008). En la zona costera del norte de Chile, la sismicidad y los fenómenos hidrometeorológicos son los peligros naturales más recurrentes. La generación de un peligro natural requiere de un factor desencadenante y de una serie de condiciones locales que determinan su modalidad y magnitud (ver tabla N° 2.1).

Tabla N° 2.1: Factores desencadenantes y condicionantes que determinan la generación, la modalidad y la magnitud de eventos naturales peligrosos (Fuente: Modificado de Castro *et al.*, 2010).

TIPO DE PELIGRO	ALCANCE TERRITORIAL	FACTORES DESENCADENANTES	FACTORES CONDICIONANTES
Sísmico	Regional	Movimiento de placas tectónicas	Tipo de placas tectónicas
	Continental		Movimiento relativo de las placas tectónicas Energía acumulada y ángulo de subducción Existencia de asperezas como montes submarinos
Tsunami	Regional	Terremoto magnitud superior a 7,5 Richter	Tipo de terremoto y magnitud
	Continental		Profundidad y cercanía a la costa del foco del sismo
	Mundial		Topografía submarina Forma y topografía de la costa
Remoción en masa	Local	Sismo	Topografía
		Lluvias intensas	Tipo y estado de conservación de las rocas
		Actividades antrópicas Infraestructura	Resistencia de los materiales Estructura de los materiales
Aluvial	Local	Lluvias intensas	Clima
			Fenómeno El Niño
			Morfometría de cuencas

Los sismos y terremotos de gran magnitud en el norte de Chile son desencadenados por la subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana. Tiene un gran potencial destructivo y el alcance territorial de sus efectos y consecuencias es considerable. Al mismo tiempo, la actividad sísmica es responsable del desencadenamiento de otros fenómenos naturales peligrosos como los tsunamis y

remociones en masa. La ocurrencia de un tsunami está determinada por la localización del foco del sismo próximo a la costa y por una magnitud superior a 7,5 Richter (Castro *et al.*, 2010).

Los procesos de remoción en masa están condicionados por factores como la fuerza de gravedad, las características estructurales, el estado de conservación de las rocas y la existencia de un desnivel topográfico (Hauser, 1993). Su alcance es muy localizado y se restringe a los sitios donde existen las condiciones ya mencionadas. Las remociones en masa se pueden desencadenar con sismos de variada magnitud, por lo que su frecuencia de ocurrencia es significativamente mayor que la de los tsunamis (Castro *et al.*, 2010).

Los peligros hidrometeorológicos en la región de estudio se desencadenan con lluvias invernales intensas de carácter frontal, que provocan inundaciones y flujos aluvionales en las quebradas y cauces que habitualmente permanecen secos e inactivos. El alcance territorial de las lluvias en el desierto costero generalmente es muy localizado y sus efectos confinados a las quebradas y cauces naturales (Castro *et al.*, 2010).

2.2.4. Geología

El sector litoral donde se ubican las Reservas Marinas Isla Choros, Damas y Chañaral (RNPH) se encuentra constituido por diversos afloramientos de llanos que están conformadas principalmente por sedimentos no consolidados de carácter marino-litoral (gravas y arenas); sobre estos se reconocen, en algunos sectores, cordones de gravas y arenas, curvos y subparalelos a la línea de la costa actual, interpretados como cordones litorales (líneas de paleo costa). En el llano Choros, estos sedimentos presentan un espesor bajo los 30 cm, y cementación carbonática densa, con presencia en algunos niveles de fauna litoral pleistocena (Creixell *et al.*, 2012). Sobre estos depósitos superficiales, separados por una disconformidad, se encuentran depósitos eólicos,

aluviales y fluviales del Pleistoceno al Holoceno. Bajo estos depósitos litorales carbonáticos, en continuidad, se encuentra un paquete de espesor muy variable, de depósitos consolidados a semiconsolidados de edad Mioceno (Formación Coquimbo) (ver imagen N° 2.1) y Plioceno Superior (Estratos de Quebrada El Jote), de ambiente marino litoral (Le Roux *et al.*, 2005; Creixell *et al.*, 2012). Dichos estratos gradan hacia el este a gravas de origen fluvial y aluvial, de edad Mioceno Superior – Plioceno Inferior, que afloran en el curso bajo de quebrada Los Choros (Formación Confluencia). Todas estas unidades sedimentarias se encuentran depositadas en forma discordante sobre rocas metamórficas del Complejo Metamórfico Punta de Choros (Carbonífero - Pérmico) (ver imagen N° 2.2), el cual es la litología principal de las islas que conforman la RNPH. Toda la zona está controlada por fallas y lineamientos de orientación NE, aunque no existen evidencias de fallas que separen a las islas del continente (Cancino *et al.*, 2015).

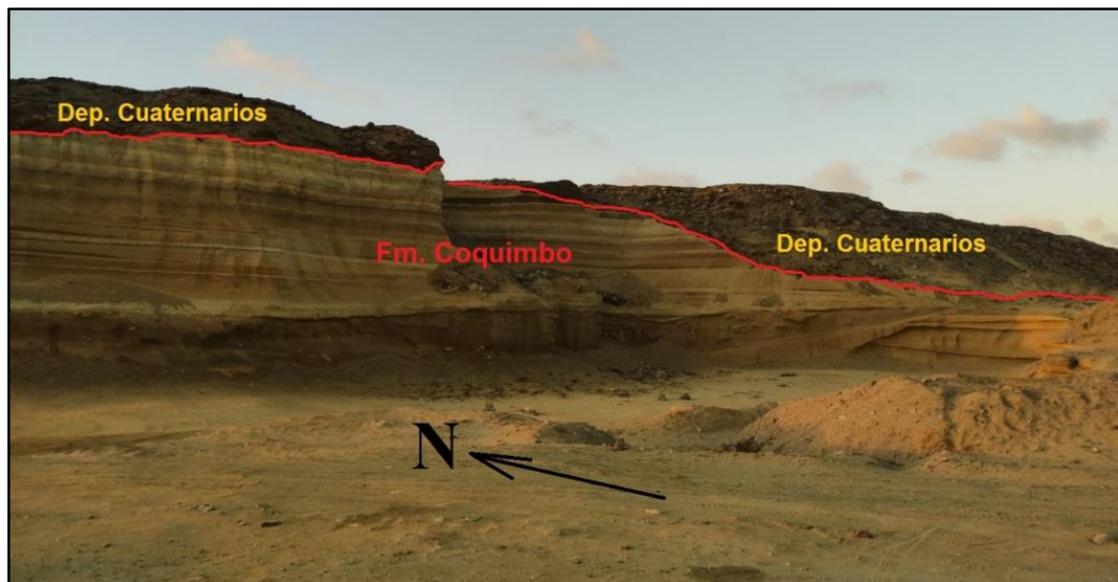


Imagen N° 2.1: Afloramiento de la Formación Coquimbo próximo a la caleta Chañaral de Aceituno, a un costado de la ruta C-500 (Fuente: Edición propia).



Imagen N° 2.2: Afloramientos del Complejo Metamórfico Punta de Choros en la caleta Chañaral de Aceituno (Fuente: Edición Propia).

En base a la información bibliográfica se ha elaborado la siguiente síntesis geológica de las unidades que forman la RNPH.

Unidad de rocas metamórficas

- **Complejo Metamórfico Punta de Choros (CMPC) (334 ± 6 Ma).**

El Complejo Metamórfico Punta de Choros (CMPC) corresponde a un complejo de esquistos micáceos con intercalaciones de esquistos verdes y anfibolitas, en continuidad espacial con el Complejo Epimetamórfico Chañaral (CMC), diferenciándose de este por el predominio de rocas altamente recrystalizadas, como esquistos de mica, mica-granate y anfibolitas. Aflorando de manera discontinua y aislada en la costa entre Chañaral de Aceituno y Punta de Choros (ver imagen N° 2.3 y 2.4) (Creixell *et al.*, 2012; Navarro, 2013; Alarcón, 2015; Yévenes, 2021), constituyendo la mayor parte de los afloramientos de las islas Gaviota, Choros, Damas y Chañaral (Aguirre, 1967). Además, localmente se pueden observar boudines gnéisicos, metaturbiditas y pizarras.

Se encuentra intruido por la Tonalita Quebrada La Vaca y enjambres de diques máficos (Yévenes, 2021).

Las rocas del CMPC representan material sedimentario y volcánico máfico metamorfozadas en un sistema de prisma de acreción. La persistente foliación de bajo ángulo, más la asociación de granate y mica blanca como fases en equilibrio en algunas rocas, se han interpretado como facies profundas recrystalizadas a alta presión (zona de acreción basal) dentro del complejo acrecionario, y que habrían sido afectadas posteriormente por metamorfismo retrógrado en facies de esquistos verdes (Alarcón, 2015; Creixell *et al.*, 2012; 2016).

En cuanto a su edad, se han realizado mediciones U-Pb en circones detríticos, con edades máximas de sedimentación de 334 ± 6 Ma (Navarro, 2013), y se ha datado el comienzo de la exhumación de los sedimentos acrecionados basales a través del canal de subducción, entre los 307 – 274 Ma, extendiéndose hasta los 242 Ma (Willner *et al.*, 2012). También se han realizado mediciones de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en anfíboles con una edad $319 \pm 1,4$ Ma, reinterpretada por Creixell *et al.* (2016), como posterior al *peak* del metamorfismo de alta presión en un enfriamiento isobárico, así como edades por el mismo método en micas de $279 \pm 2,2$ Ma, que es interpretado como la continuación de la acreción basal hasta el Pérmico Temprano; y edades de $260,7 \pm 0,6$ y 263 ± 15 Ma que pueden indicar un enfriamiento posterior del complejo asociado a la circulación de fluidos en la cuña (Creixell *et al.*, 2016).



Imagen N° 2.3: Afloramientos del Complejo Metamórfico Punta de Choros en caleta Chañaral de Aceituno vistos desde un bote motorizado (Fuente: Edición propia).

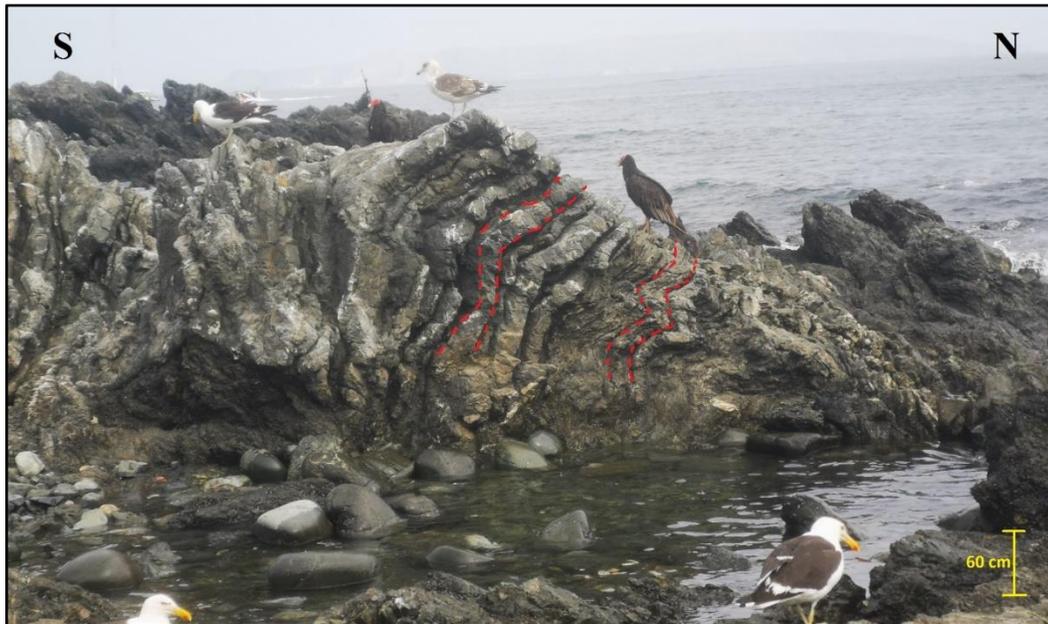


Imagen N° 2.4: En la imagen se puede observar una deformación penetrativa (línea roja discontinua) en un afloramiento de esquistos del Complejo Metamórfico Punta de Choros en caleta Chañaral de Aceituno (Fuente: Edición propia).

Unidad de rocas plutónicas

- **Tonalita Quebrada La Vaca (193 – 191 Ma).**

Nombrada originalmente como Diorita Cuarcifera La Vaca (Welkner *et al.*, 2006), está compuesta por tonalitas de biotita y anfibolita, y en menor proporción granodioritas de biotita y anfibolita, ambas con enclaves máficos métricos. Aflora en los llanos Carrizalillo y Chañaral e instruye al CMPC en la costa y en las islas Damas y Chañaral. Datada en $193,9 \pm 2$ y $191,4 \pm 1,7$ por U-Pb en circón, este cuerpo intrusivo forma parte de una cadena discontinua de intrusiones del Jurásico Inferior expuestos en la Cordillera de la Costa del norte de Chile (Creixell *et al.*, 2012; Yévenes, 2021).

Unidad de rocas sedimentarias

- **Formación Coquimbo (14,6 – 2 Ma).**

Esta unidad se extiende en la zona costera de Chile, entre los 28° y 30° latitud sur. Corresponde a depósitos marinos aterrazados semiconsolidados compuestos, principalmente, por areniscas, calcarenitas, coquinas y conglomerados bien estratificados, de color pardo claro-amarillento (ver imagen N° 2.5). Los sedimentos marinos que la componen son portadores de una amplia variedad de fósiles marinos (ver imagen N° 2.6) (Moscoso *et al.*, 1982; Le Roux *et al.*, 2005 y 2006).

La edad de esta formación ha sido estimada entre el Mioceno – Plioceno *sensu lato* (Moscoso *et al.*, 1982) a través del contenido fósil presente en los sedimentos. Tradicionalmente, fue referida al Plioceno de acuerdo con el contenido de macrofósiles (Brüggen, 1950; Herm, 1969; De Vries, 1997). Sin embargo, los microfósiles recuperados de esta formación y estudiados por Covacevich y Frassinetti (1990) indican una edad más antigua, Mioceno medio temprano. Por su parte, Le Roux *et al.* (2005) han dividido a la Formación Coquimbo en 13 unidades de acuerdo con su contenido faunístico y sus características litológicas. Muestras de macro y microfósiles de la unidad 2, y una datación de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ indican una edad máxima de 14,6 Ma para los sedimentos cercanos a la base. Para la unidad 13, que correspondería al techo de la formación, se ha calculado una edad máxima $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 2 Ma, asignado a esta formación al Mioceno Medio – Plioceno Tardío (Acosta *et al.*, 2006).

Sobre la Formación Coquimbo se ubican una serie de depósitos fluviales, aluviales y eólicos cuaternarios, los cuales terminan por formar diversos llanos y campos dunares (ver imagen N° 2.7).

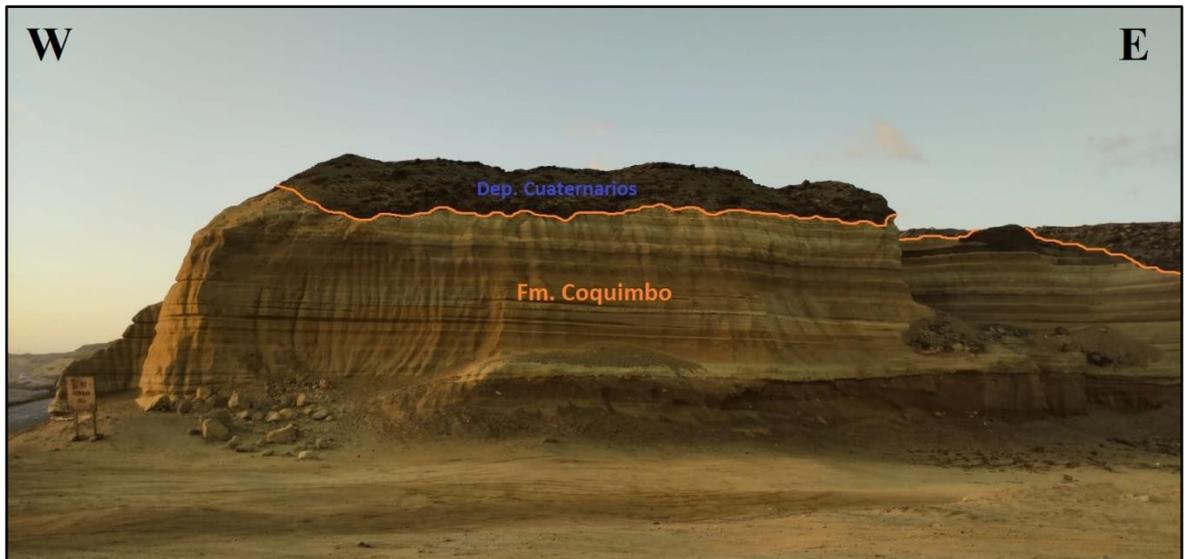


Imagen N° 2.5: Vista E-W de un afloramiento de la Formación Coquimbo próximo a la caleta Chañaral de Aceituno a un costado de la ruta C-500, sobre esta se puede observar un depósito aluvial de gravas y arenas de edad cuaternaria (Fuente: Edición propia).

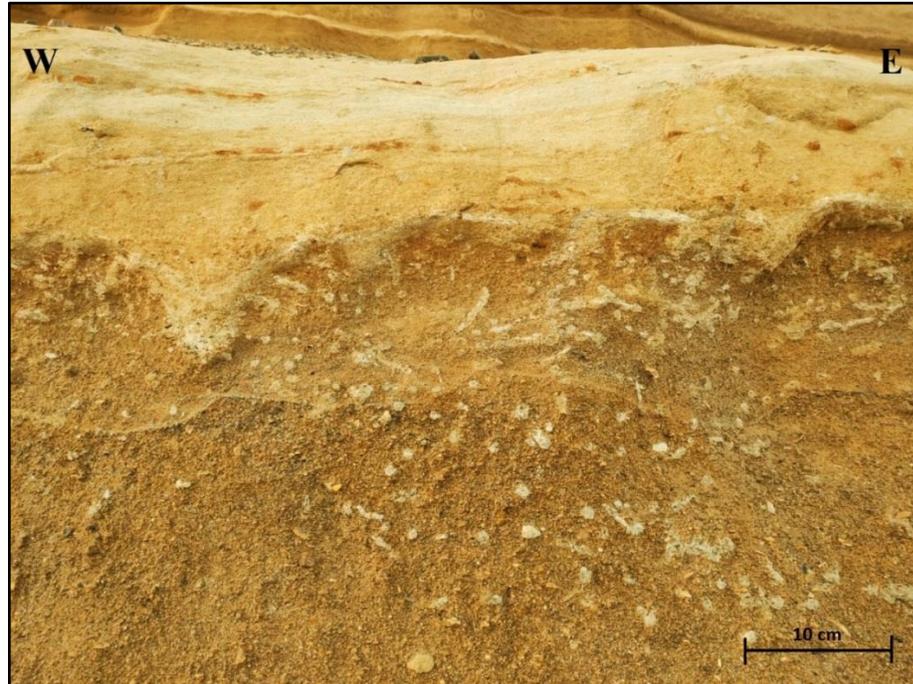


Imagen N° 2.6: Fósiles marinos presentes en la Formación Coquimbo, afloramiento a un costado de la ruta C-500 próximo a la caleta Chañaral de Aceituno (Fuente: Edición propia).



Imagen N° 2.7: Dunas tipo Nebkha formadas en Playa Carrizalillo a un costado de la ruta C-500 (Fuente: Cortesía del Turista Edmundo Martínez, 2011).

2.2.5. Marco geotectónico

Durante el Paleozoico, diversos terrenos alóctonos se acrecieron al margen occidental del continente de acuerdo con el modelo de Ramos (1994). Durante el Devónico Superior – Carbonífero Inferior, el margen occidental de Gondwana estaba dominado por un régimen de sedimentación pasiva, representado por depósitos de plataforma y turbidíticos en el norte de Chile (Bahlburg y Hervé, 1997; Augustsson *et al.*, 2015). La mayor parte de esta sedimentación probablemente ocurrió a lo largo del margen pasivo tras la colisión de un supuesto *terrane* exótico (Chilenia) acrecionado al continente durante el Devónico (Willner *et al.*, 2011). Tras esta colisión, entorno al Mississippiano comienza la subducción de una placa oceánica bajo el margen continental restaurado de Gondwana occidental (Bahlburg *et al.*, 2010; Hervé *et al.*, 2014; Mpodozis y Kay, 1992), lo que llevó a formar un prisma de acreción cuyos relictos en la actualidad forman el Complejo Metamórfico Chañaral (CMC) y el Complejo Metamórfico Punta de Choros (CMPC) (Yévenes, 2021).

Durante el Ciclo Gondwánico (Devónico Superior – Pérmico Inferior) el magmatismo, luego del emplazamiento de plutones mississippianos anorogénicos, produjo un engrosamiento de la corteza (Deckart *et al.*, 2014; Hervé *et al.*, 2014; Oliveros *et al.*, 2020). Durante el Pérmico Inferior ocurrió el evento de deformación de la fase compresiva San Rafael, asociado a una subducción plana resultado de la deformación diacrónica de un *fold and thrust belt* (Rapalini y Astini, 2005), que deformó los batolitos y secuencias sedimentarias marinas y continentales de la Cordillera Frontal, así como también exhumó la raíz del arco del norte de la Cordillera de Domeyko (Tommlison *et al.*, 2012).

Una vez finalizada la fase compresiva, la placa oceánica comienza a retroceder gradualmente lo que llevó a producir un *roll-back* que causó un magmatismo ácido de gran volumen, dando inicio al Ciclo Pre-Andino (Pérmico Superior – Jurásico Inferior). Esto a su vez, produjo la pérdida de material litosférico, ya sea por un hundimiento de la litosfera inferior o por erosión termal, lo que dio paso a cuencas extensionales triásicas por el avance del *roll-back* (Vásquez *et al.*, 2011; Coloma *et al.*, 2017; Gonzales *et al.*, 2018; Espinoza *et al.*, 2019; Oliveros *et al.*, 2020).

Durante el Ciclo Andino (Jurásico Inferior - Presente), se produjo un periodo extensional inicial entre el Jurásico Inferior y el Cretácico Inferior, lo que formó un arco volcánico sobre el prisma de acreción metamorfozado anteriormente y grandes cuencas de trasarco hacia el este (Charrier *et al.*, 2007). Los relictos del arco volcánico se conocen actualmente como la Cordillera de la Costa, y la gran actividad se ve reflejada en una gran franja de plutones y lavas que existen en la costa del norte de Chile, entre estos plutones se encuentra la Tonalita Quebrada La Vaca. Posteriormente, en el Cretácico Superior comienza una etapa compresiva a causa de un cambio en el régimen de subducción que va del tipo Mariana al tipo Chilena, lo que llevó a una continua migración del arco volcánico hacia el Este con una ausencia de cuencas de trasarco. Durante el Mioceno Superior, producto de la dorsal de Juan Fernández (Ramos y Folguera, 2000), se produjo una zona de *flat slab* entre los 27°-33° latitud sur (Mpodozis y Ramos, 1989) caracterizada por el cese de la actividad magmática y la ausencia de una Depresión Central.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA PARA REALIZAR EL DIAGNÓSTICO Y LA EVALUACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD DE LA RESERVA MARINA ISLA CHAÑARAL

Alrededor del mundo se han empleado diversas metodologías para diagnosticar y evaluar la geodiversidad de un área destinada a la conservación. Sin embargo, no todas son prácticas y aplicables a cualquier escala y en cualquier lugar (ver figura N° 3.1 y 3.2).

Para el caso de Chile, en la última década, varios han sido los trabajos académicos realizados para dar a conocer el patrimonio geológico de este (Fernández, 2007; Castro, 2007; *et al.*, 2009, 2010; 2011; 2013; Martínez, 2010; Ramírez, 2012; Mardones, 2012; Benado, 2013; Rodríguez, 2013; Aravena, 2014; Rivera, 2014; López, 2016; entre otros). Sin embargo, debido a lo pionero que son, estos presentan diferencias metodológicas entre sí, lo que dificulta la realización de un modelo estándar (Martínez, 2017).

N°	Cita del estudio	Modo de producción de investigación	País	Cantidad de Metodologías	Metodología(s) aplicada(s) en los estudios
1	(Ferraro Castillo et al., 2018)	Artículo	Chile	2	Carcavilla et al. (2007), Brilha (2005)
2	(Dos Reis, 2019)	Artículo	Brasil	1	Brilha (2016)
3	(Medina, 2015)	Artículo	Argentina	2	Pereira (2010); Brilha (2005)
4	(Ferreira, Lobo, & de Jesus, 2019)	Artículo	Brasil	1	Pereira (2010)
5	(García et al., 2019)	Artículo	Brasil	1	GEOSIT
6	(Cabana, 2018)	Tesis	Perú	3	IELIG (2009); Brilha (2005); Pereira et al. (2007)
7	(Gomes, Nascimento, & Medeiros, 2018)	Artículo	Brasil	1	Pereira (2010)
8	(García et al., 2018)	Artículo	Brasil	2	Wimbledon (1996); Wimbledon (2012)
9	(Chávez, 2017)	Tesis	Ecuador	3	Martínez (2010); Sánchez (2010); Schilling (2012)
10	(Alfaro & Sepúlveda, 2015)	Artículo	Chile	1	SERNAGEOMIN
11	(D. J. dos Santos, 2017)	Tesis	Brasil	1	Brilha (2016)

Figura N° 3.1: Síntesis de métodos de valoración de geodiversidad y geositios aplicados en la evaluación del patrimonio geológico (Fuente: Extraído de Encalada, 2020).

12	(Sena, 2015)	Tesis	Brasil	1	Brilha (2016)
13	(Radwanek-Bak, 2014)	Artículo	Perú	3	Bruschi & Cendrero (2008); Pereira et al. (2007)b; Reynard et al. (2007)
14	(López, 2016)	Tesis	Chile	1	Martinez (2010)
15	(Sena, 2015)	Tesis	Brasil	1	Brilha (2016)
16	(Santos, 2014)	Tesis	Brasil	3	Brilha (2005); Pereira (2010); GEOSSIT
17	(Coyado, 2014)	Tesis	Brasil	2	Brilha (2005); GEOSSIT
18	(Alves, 2016)	Tesis	Brasil	1	Gray (2004)
19	(de Oliveira, 2015)	Tesis	Brasil	1	Brilha (2005)
20	(Albani, Santos, & Carvalho, 2014)	Artículo	Brasil	1	Brilha (2005)
21	(Mucinova, 2016)	Tesis	Brasil	2	Pereira (2010); Brilha (2016)
22	(Prochoroff, 2014)	Tesis	Brasil	2	Brilha (2005), GEOSSIT
23	(Manríquez, Mansilla, & Moreira, 2019)	Artículo	Chile	1	Brilha (2016)
24	(Valenzuela, 2017)	Tesis	Chile	2	IELIG (2014); Brilha (2015)
25	(Andrade, 2018)	Tesis	Chile	2	IELIG (2009); Brilha (2016)
26	(Ibañez Palacios et al., 2018)	Artículo	Argentina	1	IELIG (2009)
27	(T. A. Martínez, 2017)	Tesis	Chile	1	Brilha (2016)
28	(Picchi, 2018)	Tesis	Uruguay	3	García et al. (2017); Medina (2015); IELIG (2014)
29	(Tavera, 2015)	Artículo	Colombia	1	Reynard et al. (2007)
30	(Yepes & Daza, 2017)	Tesis	Colombia	1	IELIG (2009)

Figura N° 3.2: Continuación síntesis de métodos de valoración de geodiversidad y geositos aplicados en la evaluación del patrimonio geológico (Fuente: Extraído de Encalada, 2020).

El proceso de realizar un diagnóstico de la geodiversidad se compone de 2 etapas. En primera instancia se realiza un inventario en el que se describe minuciosamente el lugar de interés, y posteriormente, se identifica el posible valor científico, educativo y geoturístico que posee el lugar (Brilha, 2005). Adicionalmente, para no introducir errores, Brilha (2015) basado en el trabajo de De Lima *et al.* (2010), recomienda que para cada valor se consideren 4 criterios, los cuales son:

Tabla N° 3.1: Criterios que propone Brilha (2015) para identificar el valor científico de la geodiversidad en la etapa de diagnóstico.

Valor Científico	
Representatividad	Corresponde a la capacidad de un sitio de ilustrar elementos y/o procesos geológicos (y si es aplicable a un contexto geológico).
Integridad	Relacionado al estado de conservación de los elementos geológicos; mientras mejor es su integridad, mayor es su valor
Singularidad	Referido a lo especial del sitio. Un menor número de sitios similares al descrito aumenta el valor científico.
Conocimiento científico	Referido a la cantidad de estudios científicos en relación a la geodiversidad del sitio.

No cumplir con alguno de los criterios puede implicar dejar a un lado el sitio. No obstante, Brilha (2015) añade que muchas veces puede suceder que la no existencia de un conocimiento científico previo no implique poco valor científico. Dicho esto, este último criterio solo afectara positivamente, es decir, se privilegiarán sitios con conocimiento científico previo, pero no se descartarán por no tenerlo. El ideal de un sitio entonces será aquel que pueda maximizar los 4 criterios antes mencionados.

Tabla N° 3.2: Criterios que propone Brilha (2015) para identificar el valor educativo de la geodiversidad en la etapa de diagnóstico.

Valor Educativo	
Potencial didáctico	Corresponde a la capacidad que presenta la geodiversidad del sitio para educar sobre procesos geológicos.
Diversidad geológica	Diversidad de elementos geológicos con interés educativo y cultural.
Accesibilidad	Los problemas asociados al acceso del sitio.
Seguridad	Los riesgos y peligros asociados a la observación in situ de la geodiversidad.

Un sitio con alto valor educativo, será entonces aquel que posea diferentes ocurrencias geológicas con características que puedan ser entendidas por los

estudiantes, de buenos y cómodos accesos en donde los estudiantes puedan observar la geología y donde las condiciones de seguridad sean las mejores posibles (Brilha, 2015).

Tabla N° 3.3: Criterios que propone Brilha (2015) para identificar el valor geoturístico de la geodiversidad en la etapa de diagnóstico.

Valor Geoturístico	
Escénico	Corresponde a la belleza paisajística de la sitio.
Potencial interpretativo	Corresponde a la capacidad que presentan los elementos geológicos y morfodinámicos del sitio para ser observados y entendidos con facilidad por el público en general.
Accesibilidad	Los problemas asociados al acceso del sitio.
Seguridad	Los riesgos y peligros asociados a la observación in situ de la geodiversidad.

Del mismo modo, sitios con elevado valor geoturístico, serán aquellos en donde se presenta una belleza visual que puede ser apreciada por la mayor parte del público, con características geológicas que puedan ser fácilmente observadas y entendidas por personas no especialistas en condiciones seguras, y cuyos accesos sean cómodos (Brilha, 2015).

Una vez realizado el diagnóstico, comienza la etapa de evaluación, en la que se cuantifican los valores funcionales de la geodiversidad que se identificaron previamente. Para esto, se parte de la premisa que en la literatura existen dos formas de realizar una valoración cuantitativa de la naturaleza (Bruschi *et al.*, 2011). La valoración directa, la cual, si bien es simple y conveniente para la obtención y muestra de resultados, por lo general no permite entender de forma clara como es que se llegó a dicho resultado o por qué (p.ej. cuando se realiza un mapa que valoriza la geodiversidad a través de un índice que es generado por un SIG). Y, por otro lado, se tiene la valoración indirecta, la cual establece una serie de parámetros que son frecuentemente

evaluados por separado a través de puntajes numéricos a los cuales posteriormente se les asigna un valor. La gran ventaja de este método es que es más transparente, elimina en gran medida la subjetividad y permite replicar en gran parte los resultados, sin embargo, la desventaja es que se vuelve un poco más complejo evaluar un área y toma gran cantidad de tiempo (Martínez, 2017)

Con respecto a la cuantificación del valor científico, Brilha (2015) destaca la importancia científica de una ocurrencia, independiente de su uso potencial inmediato, esto con el fin de enfatizar que el sitio debe ser conservado por lo que representa independiente del uso potencial que pueda ofrecer en el corto plazo; mientras que el valor educativo y turístico destaca el potencial uso del sitio. De este modo, solo tendrá sentido conservar un sitio con valor educativo y turístico si va ser utilizado eficazmente en programas de conservación, es decir, más que el valor educativo y turístico que pueda presentar el lugar se evalúa su potencial de uso para educar y realizar turismo. Según Brilha (2015), esta distinción permite aumentar más la objetividad del modelo, y disminuir la probabilidad de obtener resultados erróneos.

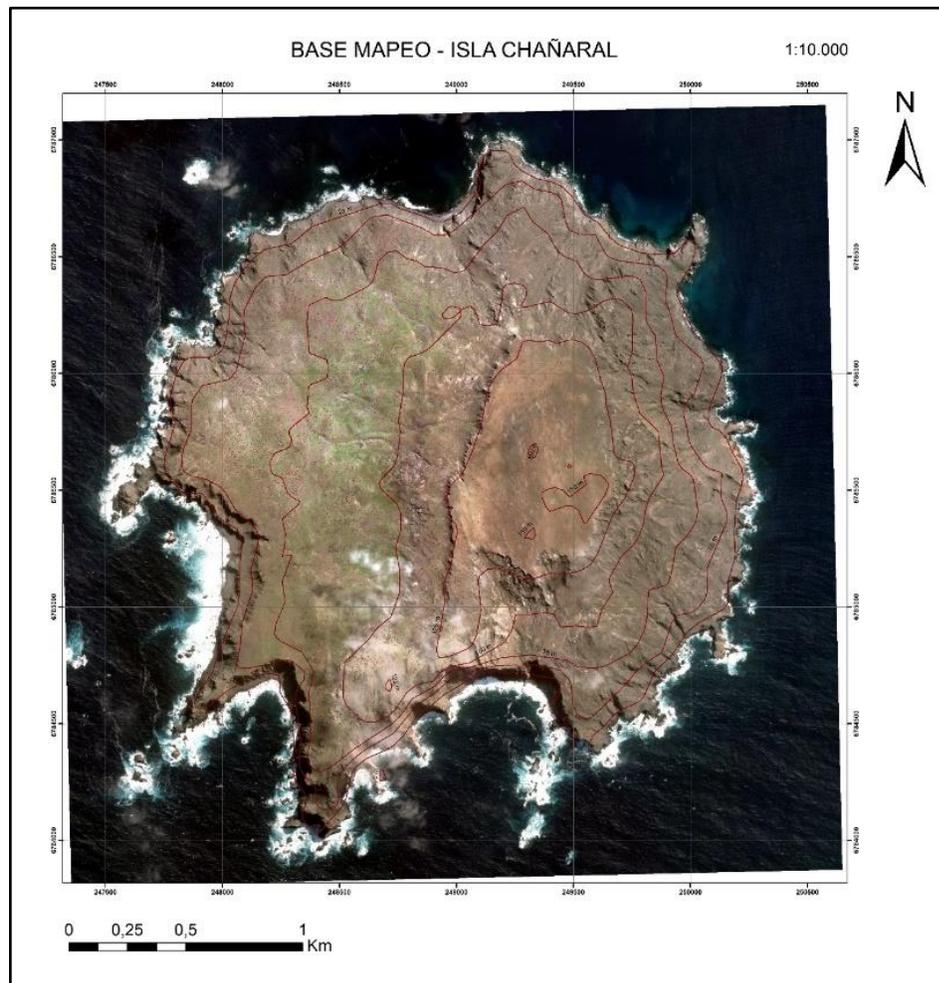
3.1. ETAPA PRE-TERRENO

3.1.1. Recopilación bibliográfica

Se realizó una compilación y revisión de la información geológica, climática y biótica preexistente sobre el área de estudio, junto con entrevistas a profesionales de CONAF y guardaparques que han realizado estudios sobre la biodiversidad presente en el sector.

3.1.2. Fotointerpretación

Para una primera visualización del sector se descargaron imágenes satelitales del software Global Mapper con una resolución de 5 m/píxel, ya que este presenta una gran base de datos provenientes de diversos satélites. A partir de esto, se llevó a cabo la identificación del recorrido que se realizaría, así como también la construcción de un mapa base de terreno a través del software ArcGis (ver mapa N° 3.1).



Mapa N° 3.1: Base de terreno para la cartografía geológica y geomorfológica de la RMICH diseñado a partir del software ArcGis (Fuente: Edición propia).

3.1.3. Ficha para inventariar la geodiversidad en terreno

Para la realización de esta investigación, se diseñó una ficha simplificada para inventariar de forma sencilla la geodiversidad en terreno de la Isla Chañaral (ver anexos N° 1 y 2). Cabe destacar, que esta ficha también podría ser usada en cualquier otra ASP ya que es simple y sencilla su aplicación. Además, para rellenar la ficha se diseñó un código simple para definir el tipo de interés geológico que tiene el área de estudio (ver tabla N° 3.1), lo cual también ha sido propuesto en el trabajo de Fuertes-Gutiérrez y Fernández-Martínez (2010).

Tabla N° 3.1: Tipos de interés geológico para inventariar la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Modificado de Martínez, 2017).

TIPOS DE INTERÉS GEOLÓGICO	CÓDIGO
Estratigráfico	ES
Sedimentológico	SE
Geomorfológico	GM
Paleontológico	PA
Petrológico-Geoquímico	PG
Tectónico	TT
Geotécnico	GT
Volcanológico	VB
Glaciológico	GL
Paleoclimático	PL
Minero-Metalogénico	MM
Hidrogeológico	HG
Otros	OT

3.2. ETAPA DE TERRENO

Esta etapa consistió en trabajos de campo ejecutados durante, 2 días en el mes de febrero y 1 día en octubre del 2019, así como también 1 día en enero del 2022. Para llevar a cabo el reconocimiento de la geodiversidad de la isla Chañaral se hizo como corresponde a una reserva natural, es decir perturbando lo menos posible la flora y fauna del lugar.

3.2.1. Mapeo geológico y geomorfológico

Se realizaron recorridos por el área de estudio, identificando las unidades litológicas aflorantes, geoformas, tipos de suelos y estructuras geológicas, realizando columnas estratigráficas, recolectando datos estructurales, y generando una base de datos de fotografías digitales. Con estos datos, se materializó un mapa de campo de la geología de la isla, escala 1:5.000, y otro de la geomorfología, escala 1:10.000.

3.2.2. Fichas de terreno

Una vez realizados los recorridos por el área de estudio y considerando la información recolectada en la libreta se prosiguió a rellenar la ficha de terreno diseñada en esta investigación.

3.3. ETAPA DE GABINETE

3.3.1. Construcción de mapas digitales

Para la cartografía digital se utilizó el software ArcGis, ya que posibilita el manejo de información multivariada a partir de una misma base de datos, otorgando la ventaja adicional de estar siempre referenciada a un sistema de coordenadas. Además, este programa permite cargar datos espaciales y tabulares que luego pueden ser utilizados para realizar un análisis espacial/estadístico y ser mostrados en mapas, gráficos o tablas. Adicionalmente, se empleó el software Adobe Illustrator ya que permite personalizar los mapas de manera profesional.

A través de ambos softwares se diseñó, un mapa que muestra la geología, escala 1:5.000; y un mapa que muestra la geomorfología, escala 1:10.000.

3.3.2. Diagnóstico y evaluación de la geodiversidad

Para el caso del diagnóstico, en una primera instancia se realiza una identificación, caracterización e interpretación de la geología, geomorfología y morfo dinámica actual presente en la RMICH, y como se relacionan estos con otros elementos presentes en su medio natural. Una vez realizada esta labor, se pasa a identificar los posibles valores funcionales (científico, educativo y geoturístico) que pueda tener la geodiversidad de la reserva considerando los 4 criterios que propone Brilha (2015) basados en De Lima *et al.* (2010) adaptados al contexto de una Área Silvestre Protegida (ASP), lo cual deberá servir para no introducir errores en la evaluación. Adicionalmente, para el diseño de las imágenes y figuras se empleó el software Adobe Illustrator.

En el caso de esta investigación, la evaluación de la geodiversidad se realiza a través de una valoración indirecta, para esto se emplea principalmente el

modelo de Brilha (2016), ajustado al contexto de un Área Silvestre Protegida (ASP), ya que es bastante versátil y objetivo, y es uno de los modelos, junto con sus versiones anteriores, que más se ha empleado en Chile para inventariar geodiversidad (ver figura 7). Además, este considera al valor científico, y el potencial de uso educativo y geoturístico como los pilares fundamentales para definir estrategias de geoconservación, lo cual está en concordancia con los principios que rigen a la conservación de la naturaleza en Chile y el mundo. Adicionalmente, para el diseño de las tablas y gráficos se empleó el software Microsoft Excel.

Valoración cuantitativa de valor científico

Para la valoración cuantitativa de valor científico de la RMICH, se han utilizado siete criterios propuestos por Brilha (2015), los cuales para el caso de esta investigación se le han realizado pequeñas modificaciones para que puedan ser utilizados en el contexto de una ASP (ver tabla N° 3.2 y 3.3).

Tabla N° 3.2: Criterios propuestos para cuantificar el valor científico de la geodiversidad en la RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).

Valor Científico (VC)		
Criterios / Indicadores	Descripción	Ponderador
A) Representatividad	Corresponde a la capacidad de la ASP de ilustrar elementos o procesos geológicos.	0.30
B) Localidad tipo	Informa sobre la importancia de la ASP como referencia para la geología o alguna rama del conocimiento asociada a esta.	0.20
C) Conocimiento científico	Existencia de estudios científicos publicados en relación a la ASP, reflejando el valor que tiene para la comunidad científica.	0.05
D) Estado de conservación	Relacionados al deterioro de los elementos geológicos, geomorfológicos, estratigráficos, paleontológicos o mineralógicos de la ASP.	0.15
E) Diversidad geológica	Informa sobre la diversidad de elementos geológicos con interés científico que posee la ASP.	0.05
F) Unicidad / Escala	Informa sobre el grado de escasez de rasgos similares al descrito, considerando la escala del fenómeno.	0.15
G) Limitaciones de uso	Informa sobre la existencia de obstáculos que pueden generar problemas para realizar labores científicos en la ASP.	0.10

Tabla N° 3.3: Parámetros propuestos para cuantificar el valor científico de la geodiversidad en la RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).

Valor Científico (VC)	
Criterios / Indicadores	Parámetros
A) Representatividad	
· La ASP es el mejor ejemplo con respecto a su entorno para ilustrar elementos o procesos geológicos.	4
· La ASP es un buen ejemplo con respecto a su entorno para ilustrar elementos o procesos geológicos.	2
· La ASP ilustra razonablemente elementos o procesos geológicos, con respecto a su entorno.	1
B) Localidad tipo	
· La ASP es reconocida como un Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) o Auxiliary Boundary Stratotype section and point (ASSP) por la International Union of Geological Sciences (IUGS), o es un sitio de referencia para la International Mineralogical Association (IMA).	4
· La ASP es usada ocasionalmente por la geociencia nacional o internacional.	2
· La ASP no es usada por la geociencia.	1
C) Conocimiento científico	
· La ASP ha sido investigada por varios equipos científicos y existen diversas publicaciones de esta en revistas científicas internacionales.	4
· Existen algunos trabajos científicos nacionales y/o tesis sobre la geodiversidad de la ASP.	2
· Existen escasos resúmenes sobre la geodiversidad de la ASP, o simplemente no existen.	1
D) Estado de conservación	
· Los elementos geológicos de la ASP se encuentran muy bien conservados, prácticamente íntegros.	4
· Los elementos geológicos de la ASP están bien preservados, pero se comienza a ver deterioro.	2
· La ASP se encuentra degradada, por lo que sus elementos geológicos se encuentran alterados o modificados.	1
E) Diversidad geológica	
· La ASP presenta más de tres tipos de características geológicas con interés científico.	4
· La ASP presenta tres tipos de características geológicas con interés científico.	2
· La ASP presenta menos de tres características geológicas con interés científico.	1
F) Unicidad / Escala	
· La ASP presenta elementos geológicos únicos en el contexto nacional, por tanto, de alto valor como exponentes de procesos geodinámicos de escasa evidencia.	4
· La ASP presenta elementos geológicos únicos en el contexto regional o local, por tanto, de alto valor como exponentes de procesos geodinámicos.	2
· La ASP presenta elementos geológicos de expresión común en el contexto local.	1
G) Limitaciones de uso	
· La ASP no tiene limitaciones de uso (permisos legales, barreras, etc) para tomar muestras o trabajar en campo.	4
· Es posible tomar muestras o trabajar en campo al interior de la ASP después de superar ciertas limitaciones (permisos legales, barreras, etc).	2
· La ASP tiene limitaciones difíciles de superar, o realizar trabajos de campo es demasiado arduo.	1

Los criterios de la A a la F son intrínsecos y utilizados, con una u otra variante, en diversas propuestas metodológicas para la cuantificación del valor del geopatrimonio, ya que están directamente relacionados a las características geológicas de cada sitio y por tanto directamente asociados a su valor científico. Por su parte, Brilha

(2015) agrega un criterio que no es intrínstico, sino que de uso. Este criterio (G) esta incluido debido a que parte del valor científico de un sitio está relacionado directamente con la posibilidad de ser usado para presentes y futuras investigaciones científicas (Martínez, 2017). Para el caso de este trabajo, los criterios han sido adaptados parcialmente para que sea más práctica su utilización en el entorno de una ASP.

A estos criterios se la han asignado un ponderador y una serie de parametros con el fin de determinar un puntaje adecuado. **Por otra parte, el valor 0 estará permitido si la ASP no cumple con los indicadores propuestos**, lo cual requerirá una posterior revisión.

El puntaje total de la geodiversidad de una ASP, estará determinado por la sumatoria de cada parametro ponderado según su grado de importancia relativa, entonces el valor científico estará determinado por:

$$VC = n_A x_A + n_B x_B + n_C x_C + n_D x_D + n_E x_E + n_F x_F + n_G x_G$$

Donde: n = Ponderador del criterio A hasta el G.

x = Parámetro del criterio A hasta el G.

Brilha (2015) propone que la representatividad sea el criterio mas importante, seguido de la localidad tipo. Sin embargo, en este trabajo se propone que la unicidad/escala tenga la misma relevancia que la localidad tipo, ya que este es uno de los principales parametros que se emplea para crear una ASP, por lo que, mientras menos común sean las características descritas mayor relevancia deberá tener para la ciencia. Una vez obtenidos los valores, es importante tener en consideración que las medidas son una herramienta limitada y siempre será necesario realizar una reflexión final de los valores obtenidos (Martínez, 2017).

Una ASP entonces, tendrá un mayor valor geocientífico cuando sea el que mejor represente una ocurrencia única dentro de un marco nacional, con publicaciones científicas que la respalden, y cuando presente características geológicas bien preservadas con relevancia científica para ser usadas fácilmente en investigaciones futuras.

Valoración cuantitativa de potencial de uso educativo (PUE) y geoturístico (PUT)

Para el caso de este trabajo, más que el valor educativo o geoturístico, lo que se evaluará es el potencial de uso. Para esto, en el caso del **Potencial de Uso Educativo (PUE)** se emplearon 11 criterios, mientras que para el **Potencial de Uso Geoturístico (PUT)** se emplearon 13 criterios, los cuales se encuentran puntuados del 1 al 4 de acuerdo a una serie de parámetros (ver tablas N° 3.4 y 3.5).

Tabla N° 3.4: Criterios propuestos para cuantificar el Potencial de Uso Educativo (PUE) y Geoturístico (PUT) de la geodiversidad en la RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).

Potencial de Uso Educativo (PUE) y Geoturístico (PUT)				
Criterios / Indicadores	Descripción	Pond. PUC	Pond. PUT	
A) Vulnerabilidad	Existencia de elementos geológicos en la ASP que puedan ser destruidos o degradados con facilidad por actividades antrópicas.	0.15	0.10	
B) Accesibilidad	Facilidad para el acceso a visitantes, pero en contra, a una mayor facilidad para actos de vandalismo en la ASP.	0.10	0.10	
C) Limitaciones de uso	Existencia de obstáculos que pueden ser problemáticos para realizar actividades geoculturales o geoturísticas en la ASP o alrededores.	0.10	0.05	
D) Riesgo	Informa si se pueden realizar actividades con bajo riesgo para visitantes en la ASP o alrededores.	0.10	0.10	
E) Infraestructura Logística	Existencia de instalaciones próximas a la ASP, como alojamientos, baños, etc.	0.05	0.05	
F) Densidad de población	Existencia de población(es) cercana(s) a la ASP, que puedan aportar visitantes.	0.05	0.05	
G) Asociación con otros elementos patrimoniales	Informa si existen otros elementos de interés cultural y/o natural asociados al sitio, los cuales puedan aumentar el interés de visitantes.	0.05	0.05	
H) Escenario	Representa la belleza de elementos paisajísticos geológicos que puedan ser foco de atracción para los visitantes.	0.05	0.15	
I) Singularidad	Se refiere a los rasgos distintivos o exóticos de los elementos de la geodiversidad que puedan aumentar el interés de los visitantes.	0.10	0.10	

Tabla N° 3.5: Continuación de los criterios propuestos para cuantificar el Potencial de Uso Educativo (PUE) y Geoturístico (PUT) de la geodiversidad en la RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).

J) Condiciones de observación	Se refiere a si las condiciones visuales son las óptimas para observar con claridad los rasgos de la geodiversidad de la ASP.	0.10	0.05
K) Diversidad geológica con fines didácticos	Informa sobre el potencial cultural de la geodiversidad de la ASP.	0.15	0.00
L) Diversidad geológica con fines interpretativos	Corresponde a la capacidad que tienen los elementos geológicos de la ASP para ser entendidos fácilmente por el público en general.	0.00	0.10
M) Cercanías a zonas recreativas	Informa sobre la existencia de otras zonas atractivas próximas a la ASP.	0.00	0.05
N) Entorno socioeconómico	Informa sobre las condiciones socioeconómicas de las zonas urbanas próximas a la ASP.	0.00	0.05

Tabla N° 3.6: Parámetros propuestos para cuantificar el Potencial de Uso Educativo (PUE) y Geoturístico (PUT) de la geodiversidad en la RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).

Potencial de Uso Educativo (PUE) y GeoTurístico (PUT)	
Criterios / Indicadores	Parámetro
A) Vulnerabilidad	
• Los elementos geológicos no presentan posibilidad de deterioro producto de actividades antrópicas.	4
• Existe la posibilidad de deterioro de algunos elementos geológicos producto de actividades antrópicas.	2
• Existe la posibilidad de deterioro de todos los elementos geológicos producto de actividades antrópicas.	1
B) Accesibilidad	
• La ASP se encuentra muy próxima a una vía pavimentada y posee diversos accesos.	4
• La ASP se encuentra a menos de 1Km de una vía pavimentada o de tierra, y posee uno o más accesos.	2
• La ASP no tiene un acceso directo, y se encuentra localizada a más de 1km desde una camino accesible por un bus o vehículo.	1
C) Limitaciones de uso	
• La ASP no tiene limitaciones de uso para estudiantes o turistas.	4
• La ASP puede ser usada ocasionalmente por estudiantes o turistas despues de superar ciertas limitaciones (permisos, accesos, condiciones físicas, etc).	2
• La ASP no puede ser usada directamente por estudiantes o turistas debido a que no está permitido el acceso, pero si se puede usar de manera indirecta para entender procesos geológicos.	1
D) Riesgo	
• La ASP presenta instalaciones de seguridad a menos de 5 km.	4
• La ASP presenta intalaciones de seguridad a más de 5 km pero a menos de 10 km.	2
• La ASP no presenta instalaciones de seguridad cercanas.	1

Tabla N° 3.7: Continuación de los parámetros propuestos para cuantificar el Potencial de Uso Educativo (PUE) y Geoturístico (PUT) de la geodiversidad en la RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).

E) Infraestructura Logística	
• Existen instalaciones de alojamiento y comida (restaurante) para grupos de 40 personas a menos de 25 km de la ASP.	4
• Existen instalaciones de alojamiento y comida (restaurante) para grupos de 40 personas a menos de 50 km de la ASP.	2
• Existen instalaciones de alojamiento y comida (restaurante) para grupos de 40 personas a menos de 100 km de la ASP.	1
F) Densidad de población	
• La ASP se ubica dentro de una comuna con mas de 1000 habitantes/Km ² .	4
• La ASP se ubica dentro de una comuna que posee entre 250 y 1000 habitantes/Km ² .	2
• La ASP se ubica dentro de una comuna que posee menos de 250 habitantes/Km ² .	1
G) Asociación con otros elementos de valor patrimonial	
• La ASP presenta tres o más elementos con otro valor patrimonial.	4
• La ASP presenta dos elementos con otro valor patrimonial.	2
• La ASP presenta un elemento con otro valor patrimonial o ninguno adicional.	1
H) Escenario	
• La ASP es nacionalmente reconocida como destino debido a su belleza paisajística única.	4
• La ASP es ocasionalmente reconocida como destino nacional debido a su belleza paisajística.	2
• La ASP es localmente reconocida como destino debido a su belleza paisajística.	1
I) Singularidad	
• La ASP muestra rasgos únicos y/o poco comunes a nivel nacional.	4
• La ASP muestra rasgos únicos y/o poco comunes a nivel regional.	2
• La ASP muestra rasgos similares a otros lugares en el país.	1
J) Condiciones de observación	
• Durante casi todo el año las condiciones metereológicas permiten observar con claridad los elementos paisajísticos de la ASP.	4
• Durante un período largo del año las condiciones metereológicas permiten observar con claridad los elementos paisajísticos de la ASP.	2
• Esporádicamente se pueden observar los elementos paisajísticos de la ASP debido a las condiciones metereológicas.	1
K) Diversidad geológica con fines didácticos	
• La ASP posee tres o más elementos geológicos y/o geomorfológicos que pueden ser entendidos fácilmente por los estudiantes.	4
• La ASP posee dos elementos geológicos y/o geomorfológicos que pueden ser entendidos fácilmente por los estudiantes.	2
• La ASP posee solo un elemento geológico o geomorfológico que puede ser entendido fácilmente por los estudiantes.	1
L) Diversidad geológica con fines interpretativos	
• La ASP posee tres o más elementos geológicos y/o geomorfológicos que pueden ser entendidos fácilmente por el público en general.	4
• La ASP posee dos elementos geológicos y/o geomorfológicos que pueden ser entendidos fácilmente por el público en general.	2
• La ASP posee solo un elemento geológico o geomorfológico que puede ser entendido fácilmente por el público en general.	1
M) Cercanías a zonas recreativas	
• La ASP esta localizada a menos de 5 km de un área recreacional o de atracción turística.	4
• La ASP esta localizada a menos de 10 km de un área recreacional o de atracción turística.	2
• La ASP esta localizada a más de 10 km de un área recreacional o de atracción turística.	1
N) Entorno socioeconómico	
• La ASP esta localizada en una localidad cuyo presupuesto per cápita es más que el promedio nacional.	4
• La ASP esta localizada en una localidad cuyo presupuesto per cápita es similar al promedio nacional.	2
• La ASP esta localizada en una localidad cuyo presupuesto per cápita es menor que el promedio nacional.	1

Brilha (2015) concluye que un sitio tendrá un alto PUE cuando los elementos de la geodiversidad tienen una baja vulnerabilidad y al mismo tiempo puedan ser fácilmente observados y entendidos.

Al igual que el valor científico, se propone que para la gestión el **Potencial de Uso (PU)** estará determinado por:

$$PU = n_A x_A + n_B x_B + n_C x_C + n_D x_D + n_E x_E + n_F x_F + n_G x_G + n_H x_H + n_I x_I + \dots + n_N x_N$$

Donde: n = Ponderadores de los criterios.

x = Parámetros de los criterios.

Valoración cuantitativa del riesgo de degradación (RD)

La propuesta de una valoración cuantitativa de riesgo de degradación (RD) ha sido considerada por varios autores (Cendrero, 1996; Brilha, 2005; Carcavilla *et al.*, 2007; De Lima, 2010) y puesta en práctica en diversos trabajos nacionales (Martínez, 2010; Parterrieu, 2013; Martínez, 2017).

En esta valoración se evalúan los dos grandes factores de degradación que pueden afectar a un área destinada a la conservación. El factor natural, ligado a los procesos abióticos y biológicos, y el factor antrópico, asociado a la actividad humana (ver tabla N° 3.6 y 3.7).

Una evaluación del Riesgo de Degradación (RD) debe hacerse como complemento al resto de los valores, ya que este análisis será crucial para definir las medidas que se deben adoptar en cuanto a la gestión de la geodiversidad y del patrimonio geológico.

Tabla N° 3.8: Criterios propuestos para cuantificar el Riesgo de Degradación en RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).

RIESGO DE DEGRADACIÓN (RD)		
Criterios / Indicadores	Descripción	Pond. RD
A) Deterioro de los elementos geológicos	Refleja la posibilidad de pérdida de elementos geológicos en el sitio como consecuencia de su fragilidad , es decir, sus características intrínsecas (litología, geología estructural, etc), y su vulnerabilidad , es decir, por acción de procesos naturales (meteorización, erosión, procesos gravitacionales, remosiones en masa, etc) o antropicos (vandalismo, turismo, trabajos científicos, etc).	0.35
B) Degradación cercana	Cercanía a áreas que potencialmente causan degradación como por ejemplo; minería, instalaciones industriales, áreas de recreación, carreteras, zonas urbanas, etc.	0.20
C) Protección legal	Relacionado a la ubicación que presenta el sitio respecto a algún área con cualquier tipo de protección legal (directa o indirecta) y su control de acceso.	0.20
D) Accesibilidad	Refleja las condiciones de acceso al sitio para el público en general. Un sitio con fácil acceso es más susceptible a ser dañado por malos usos de los visitantes que uno con dificultades.	0.15
E) Densidad de población	Relacionado al número de personas que viven cerca del sitio y que puedan ser un factor de deterioro del sitio por un uso inapropiado.	0.10

Tabla N° 3.9: Parámetros propuestos para cuantificar el Riesgo de Degradación en RMICH (Fuente: Modificado de Brilha, 2015 y Martínez, 2017).

RIESGO DE DEGRADACIÓN	
Criterios / Indicadores	Parámetros
A) Deterioro de los elementos geológicos	
• Posibilidad de deterioro de todos los elementos geológicos de la ASP.	4
• Posibilidad de deterioro de algunos elementos geológicos de la ASP.	2
• Escasa posibilidad de deterioro de los elementos geológicos de la ASP.	1
B) Degradación cercana	
• La ASP está localizada a menos de 500m de un área o actividad que es potencialmente degradante.	4
• La ASP está localizada a menos de 1Km de un área o actividad que es potencialmente degradante.	2
• La ASP está localizada a más de 1Km de un área o actividad que es potencialmente degradante.	1
C) Protección legal	
• La ASP tiene protección legal pero no control de acceso.	4
• La ASP tiene protección legal y en ocasiones tiene control de acceso.	2
• La ASP tiene protección legal y control de acceso constante.	1
D) Accesibilidad	
• La ASP está localizada a menos de 100m de una ruta pavimentada.	4
• La ASP está localizada a menos de 500m de una ruta pavimentada o de tierra/grava.	2
• La ASP no tiene acceso directo por ruta, pero se localiza a más de 500m de una ruta.	1
E) Densidad de población	
• La ASP se localiza en una provincia/comuna con más de 1000 hab/Km ² .	4
• La ASP se localiza en una provincia/comuna con 250 - 1000 hab/Km ² .	2
• La ASP se localiza en una provincia/comuna menos de 250 hab/Km ² .	1

Una vez obtenidos los puntajes es necesario realizar un análisis de estos. Una combinación de alto VC, PUE, PUT y RD justifican una prioridad en el plan de manejo. Por otro lado, si bien el valor científico, cultural y educativo es la esencia del patrimonio geológico, el PUE y el PUT deben ser evaluados considerando el RD.

De la misma manera que el VC, PUE y PUT, el valor de RD estará determinado por:

$$RD = n_A x_A + n_B x_B + n_C x_C + n_D x_D + n_E x_E$$

Donde: n = Ponderadores de los criterios.

x = Parámetros de los criterios.

Interpretación de los puntajes obtenidos de la valoración

Para interpretar los datos numéricos obtenidos de la valoración se realizó una tabla que relaciona los puntajes finales con un valor bajo, medio o alto de funcionalidad (ver tabla N° 3.8).

Tabla N° 3.10: Interpretación de los puntajes obtenidos en la valoración (Modificado de Brilha, 2015).

Total ponderado (VC, PUE, PUT, RD)	Valor Obtenido
<2	Bajo
2 - 3	Medio
3 - 4	Alto

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. DIAGNÓSTICO INTEGRADO DE LA GEODIVERSIDAD DE LA RESERVA MARINA ISLA CHAÑARAL

4.1.1. Litología

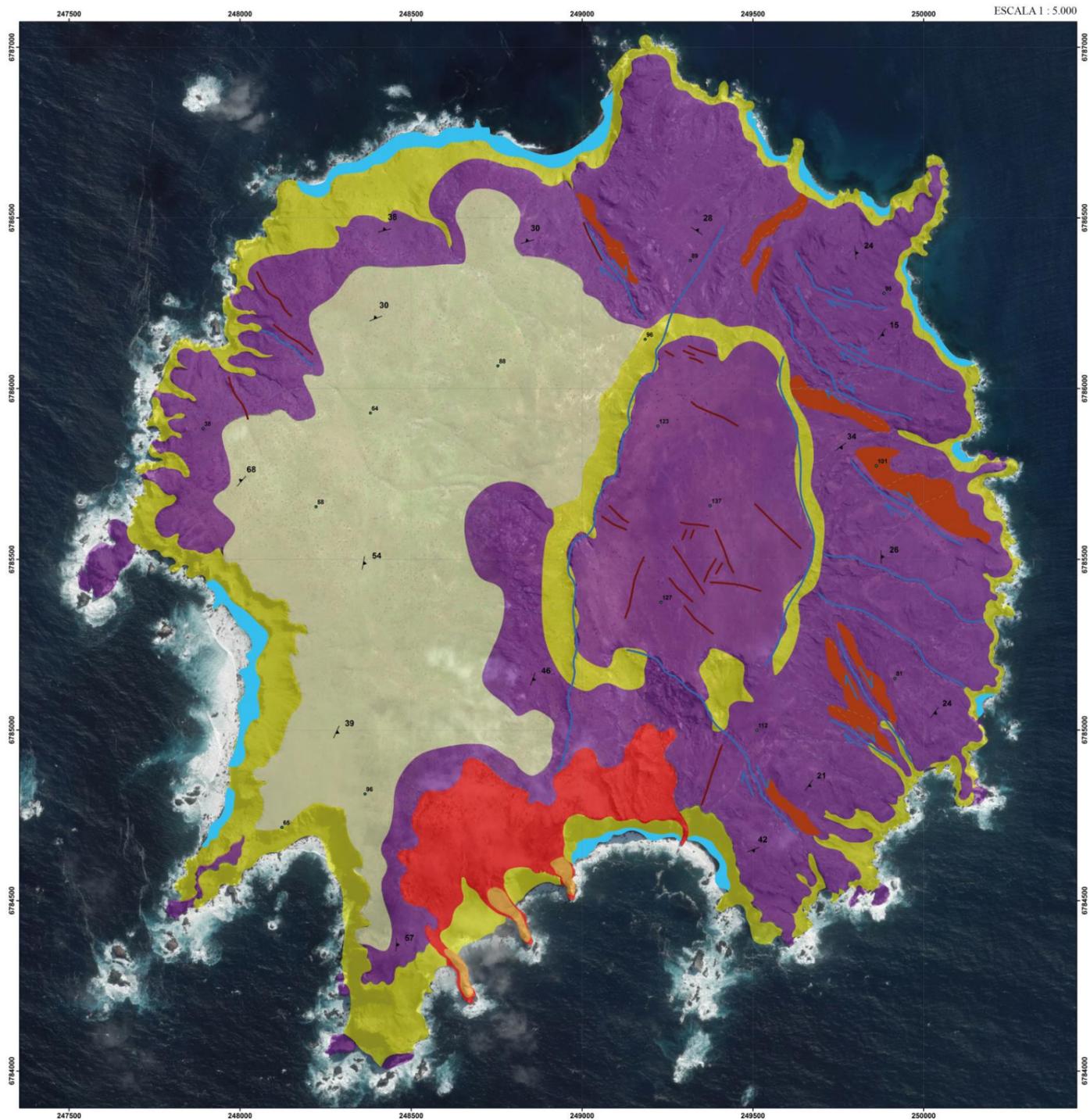
A pesar de ser un territorio relativamente pequeño (512 hectáreas), la geología de la Reserva Marina Isla Chañaral (RMICH) es variada. Esta presenta rocas metamórficas, intrusivas y sedimentarias, así como también depósitos activos marinos, eólicos, coluviales y aluviales (ver mapa N° 4.1).

Las rocas metamórficas forman casi la totalidad de la isla (4,8 km²) y se encuentran intruidas por diques, vetas y un plutón que aflora en el extremo sur de la isla. Las rocas metamórficas corresponden a esquistos y filitas fuertemente deformados, con lentes y vetillas de cuarzo lechoso, y una serie de pliegues de espesores variables que van de centímetros a metros (ver imagen N° 4.1 y 4.2).



Imagen N° 4.1: En la imagen (A) se observa un pliegue sinclinal volcado, mientras que la imagen (B) se observa un pliegue abierto. Estos rasgos litológicos son observables a simple vista desde los botes motorizados que recorren el entorno de la reserva (Fuente: Edición propia).

GEOLOGÍA DE LA RESERVA MARINA ISLA CHAÑARAL



LEYENDA

CUATERNARIO

- DEPÓSITOS EÓLICOS (De)**
 Arenas de grano medio a muy fino distribuidas en forma de manto. Este depósito se encuentra activo, con nula o leve compactación, y cubierto por escasa vegetación.
- DEPÓSITOS MARINOS ACTIVOS (Dma)**
 Depósitos de bolones y gravas distribuidos en diversos sectores del contorno de la isla Chañaral a los pies de los acantilados que la circundan. Estos depósitos no presentan consolidación, y poseen una mala selección. Los clastos y sedimentos que forman estos depósitos provienen directamente de las rocas que componen la isla.
- DEPÓSITOS COLUVIALES (Dco)**
 Depósitos compuestos por cantos rodados y gravas, con nula o escasa consolidación, mal seleccionados, una escasa matriz de arena o gravilla, y distribuidos en forma de conos con diversas dimensiones. Los clastos y sedimentos que forman estos depósitos provienen directamente de las rocas que componen la isla.
- DEPÓSITOS ALUVIALES (Da)**
 Depósitos de clastos, gravas y arenas gruesas, angulosas, y de composición heterogénea. Estos depósitos se ubican principalmente en las quebradas, y poseen una consolidación de leve a moderada.
- DEPÓSITOS MARINOS INACTIVOS (Dmi)**
 Depósito de conglomerados, horizontales a subhorizontales, compuestos de clastos mal clasificados, medianos a gruesos, con diversos grados de redondez, y una matriz de gravas finas y arena.

JURÁSICO

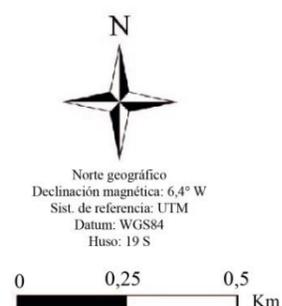
- TONALITA QUEBRADA LA VACA (TQLV)**
 Cuerpo intrusivo irregular de color blanco lechoso que aflora en el sector sur de la isla Chañaral. Este plutón presenta una composición de cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíboles como minerales principales, y óxidos de Fe como minerales de alteración.

CARBONÍFERO

- COMPLEJO METAMÓRFICO PUNTA DE CHOROS (CMPC)**
 Esquistos y filitas de leve a fuertemente deformados, con lentes y vetillas de cuarzo, y una serie de pliegues de espesores variables que van de centímetros a metros. Los esquistos presentan un color gris oscuro a gris azulado oscuro, una textura lepidoblástica, y una composición principalmente de cuarzo, muscovita y biotita como minerales principales, plagioclasa como mineral secundario, y clorita, epidota, arcillas y óxidos de Fe como minerales de alteración; además, estos presentan vetillas de cuarzo de segregación en forma de Kink bands y pliegues en Chevron.

SIMBOLOGÍA

- Cotas
- Redes de drenaje
- Dato estructural
- Falla observada inferida
- Falla de rumbo dextral
- Dique diorítico



Mapa N° 4.1: Cartografía geológica de la RMICH, escala 1:5.000 (Fuente: Edición propia).

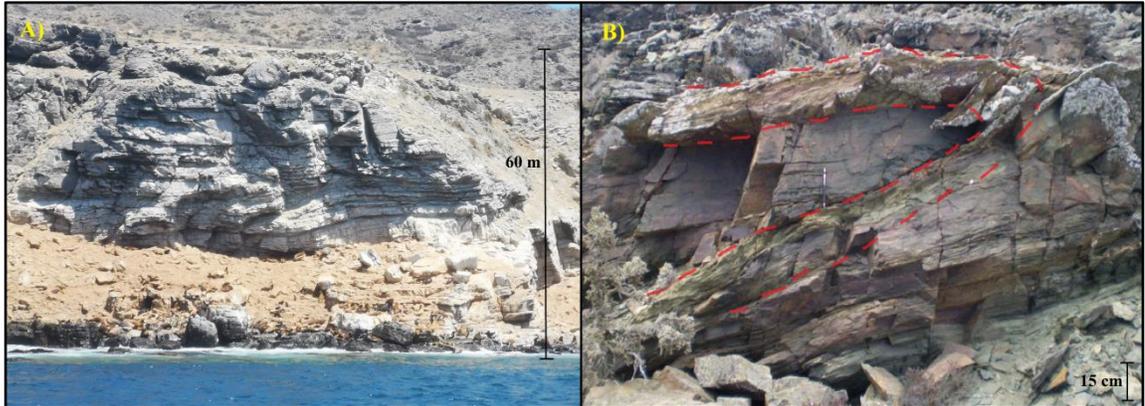


Imagen N° 4.2: En la imagen (A) se observa la esquistosidad presente en las rocas metamórficas que forman la RMICH. En la imagen (B) se observa un pliegue sinclinal volcado visto en la superficie de la RMICH; la línea roja discontinua muestra los flancos del pliegue (Fuente: Imagen A edición propia. Imagen B modificada de Mercado y Cepeda, 2008).

Los esquistos presentan un color gris oscuro a gris azulado oscuro, una textura lepidoblástica y una composición principalmente de cuarzo, muscovita y biotita como minerales principales, plagioclasa como mineral secundario, y clorita, epidota, arcillas y óxidos de Fe como minerales de alteración. Además, estos presentan lentes y vetas de cuarzo lechoso de hasta 0,3 m de espesor, y vetillas de cuarzo de segregación milimétrica relacionadas a eventos de deformación posteriores al principal (foliaciones secundarias), formando *kink bands* y pliegues en *chevron* (ver imagen N° 4.3 y 4.4). Por su parte, las filitas presentan una composición mineral similar a los esquistos.



Imagen N° 4.3: Veta de cuarzo lechoso cortando las rocas metamórficas vista en la superficie de la RMICH. La línea roja marca el espesor de la veta (Fuente: Edición propia).

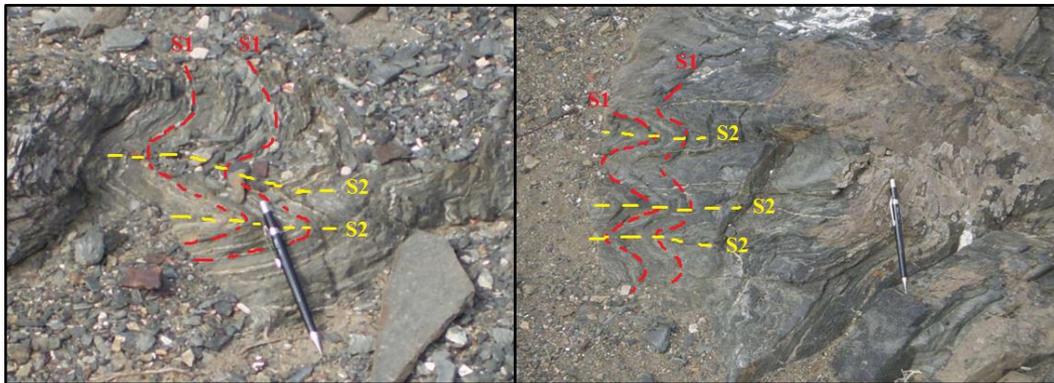


Imagen N° 4.4: Pliegues centimétricos y *Kink bands* expuestos en la superficie de isla Chañaral asociadas a deformaciones secundarias (S1 y S2). En las imágenes se pueden observar vetillas de cuarzo de segregación asociadas a un plano de foliación secundario S1 (línea roja discontinua), junto a planos perpendiculares que crean *Kink bands* asociados a una foliación secundaria S2 (línea amarilla discontinua) (Fuente: Modificado de Mercado y Cepeda, 2008).

En relación a las rocas ígneas que forman parte de la RMICH, estas son principalmente diques dioríticos y un plutón tonalítico irregular que intruye a las rocas metamórficas. El plutón presenta un área aproximada de 235 m², un color blanco lechoso, con una composición de cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíboles como minerales principales, y óxidos de Fe como minerales de alteración (ver imagen N° 4.5).

Los enjambres de diques, por su parte, presentan una orientación principalmente NW – SE y E – W. La litología de los diques expuestos corresponde a diorita, algunos presentan una textura porfídica, mientras que otros se componen de cristales muy pequeños no identificables a simple vista. Presentan un color entre gris oscuro y gris verdoso oscuro, y espesores variables que van de 1 a 4 m (ver imagen N° 4.6 y 4.7).



Imagen N° 4.5: Vista de afloramientos del plutón tonalítico en la superficie de la RMICH. La línea roja marca el contorno del afloramiento (Fuente: Edición propia).

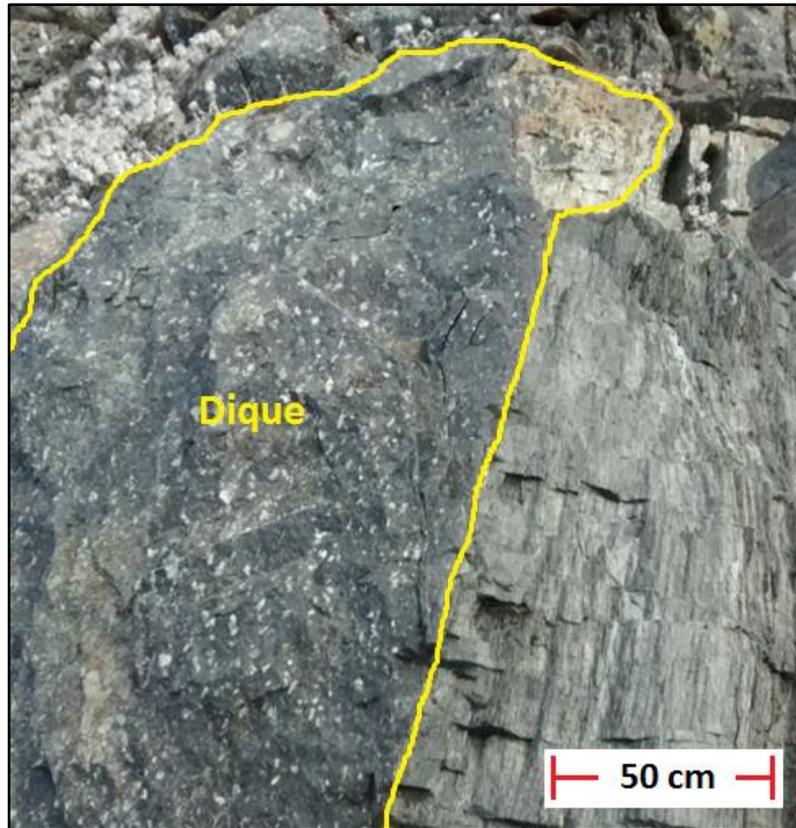


Imagen N° 4.6: Dique diorítico porfídico de aproximadamente 1 m de espesor visto en la superficie de la RMICH. La línea amarilla define el espesor del dique (Edición propia).



Imagen N° 4.7: Dique intruyendo a las rocas metamórficas visto desde una lancha. Las líneas rojas discontinuas indican los bordes del dique (Fuente: Edición propia).

En cuanto a las rocas sedimentarias, en el sector suroeste de la isla se encuentran unos depósitos de conglomerados, horizontales a subhorizontales, de aproximadamente 2 m de espesor, compuestos de clastos mal clasificados, medianos a gruesos, con diversos grados de redondez, y una matriz de gravas finas y arena. Estos depósitos litorales se encuentran cubriendo plataformas de abrasión marina modeladas en el plutón, y presentan en su superficie un color relativamente blanquecino producto de la actividad biológica (acumulación de guano de ave) (ver imagen N° 4.8).



Imagen N° 4.8: Rocas sedimentarias vistas desde la superficie de la RMICH. La línea roja marca un depósito de conglomerados ubicado sobre el plutón que forma parte de la reserva. La edad máxima de estos depósitos se ha estimado en ~330.000 años (Fuente: Edición propia).

Con respecto a los depósitos activos, en el sector occidente de la isla, es posible encontrar un depósito eólico distribuido en forma de manto compuesto por arena de grano medio a muy fino, el cual cubre un área aproximada de 1.200 m². Este manto se encuentra levemente compactado, y cubierto por escasa vegetación, fragmentos de rocas y minerales provenientes de las mismas rocas que forman la isla (ver imagen N° 4.9).



Imagen N° 4.9: Vistas del depósito eólico ubicado en el sector occidente de la RMICH. En la imagen (A) se puede observar la disposición en forma de manto que posee este depósito y la escasa vegetación que lo cubre. En la imagen (B) se observa con mayor claridad los sedimentos que componen el manto eólico. Por último, la imagen (C) deja en evidencia la casi nula compactación que posee este depósito.

En las zonas donde existen diferencias topográficas bruscas (paleoacantilados y acantilados) se puede observar depósitos coluviales constituidos por cantos rodados y gravas no consolidadas, mal clasificados, y con una escasa matriz de arena o gravilla. Estos depósitos son originados por la acción de procesos gravitacionales, y se caracterizan por una nula o escasa compactación (ver imagen N° 4.10). Adicionalmente, a los pies de los acantilados y coluvios que actualmente circundan la isla se forma en algunos sectores una franja angosta cubierta de bolones y gravas de diversos tamaños, a veces llegando a formar playas de bolones como consecuencia de la erosión diferencial generada por el oleaje (ver imagen N° 4.11). Todos estos sedimentos y fragmentos de rocas que forman los depósitos coluviales y las playas gravosas provienen directamente de las rocas que componen la isla Chañaral.

En la RMICH también es posible observar depósitos aluviales que se encuentran tapizando principalmente las quebradas. Son de leve a moderadamente consolidados, y están formados por gravas y arenas gruesas, angulosas, de composición heterogénea. Además, la mayoría de estos depósitos se encuentran cubiertos parcialmente por coluvios.

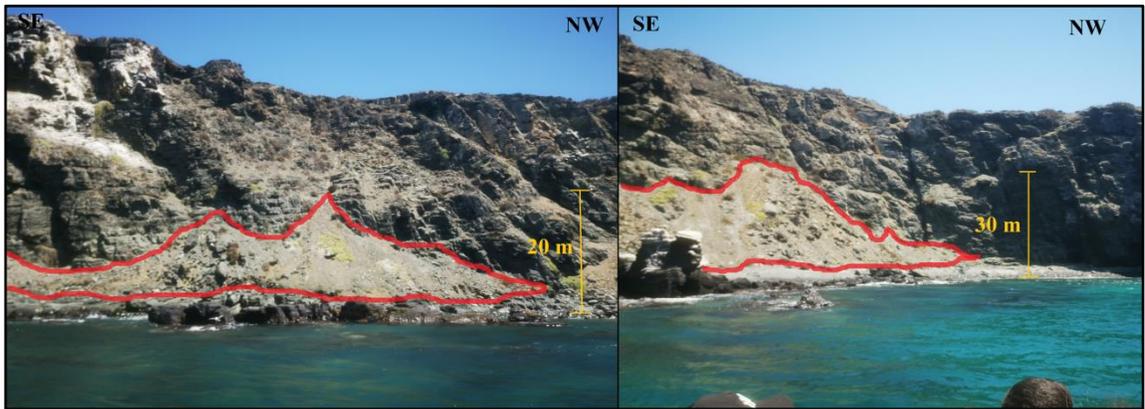


Imagen N° 4.10: Acantilado cubierto parcialmente por coluvios. La línea roja marca el contorno de los depósitos coluviales (Fuente: Edición propia).



Imagen N° 4.11: Playa de bolones formada en el sector norte de la isla. La línea roja marca el contorno de la playa (Fuente: Edición propia).

4.1.2. Estructuras geológicas

Las rocas metamórficas de la RMICH se caracterizan por presentar una serie de pliegues centimétricos a métricos, con ángulos de interflanco desde suaves a apretados, y buzantes en diversas direcciones. Los planos de foliación que presentan estas rocas poseen un rumbo preferencial NE – SW, y una dirección de inclinación SE y NW principalmente (ver figura N° 4.1).

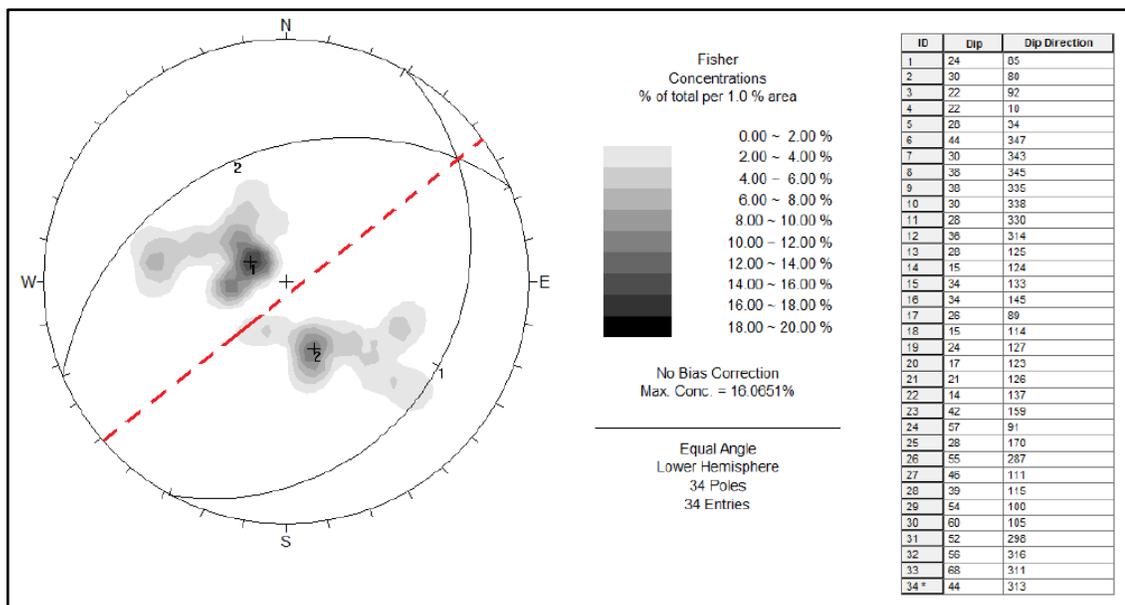


Figura N° 4.1: Diagrama de densidad realizado en el software Dips que muestra el rumbo (línea roja discontinua) y las direcciones de inclinación preferenciales (Círculos mayores) de los planos de foliación presentes en las rocas metamórficas que forman la RMICH.

La RMICH también presenta diversas fallas y diaclasas. Primeramente en el sector oriente de la isla existe un sistema de fallas subparalelas con un rumbo preferencial NW – SE, las cuales forman una serie de quebradas. En segundo lugar, la topografía de la isla presenta 4 niveles de planicies bien definidas limitadas por cambios bruscos de altura, es decir, un sistema de terrazas marinas alzadas. Estos cambios

bruscos de altura se encuentran asociados a fallas verticales y subverticales generadas por alzamientos tectónicos. Por último, en el contorno de la isla también es posible observar diversas fallas subverticales, y una serie de diaclasas sistemáticas, ortogonales y conjugadas (ver imagen N° 4.14).

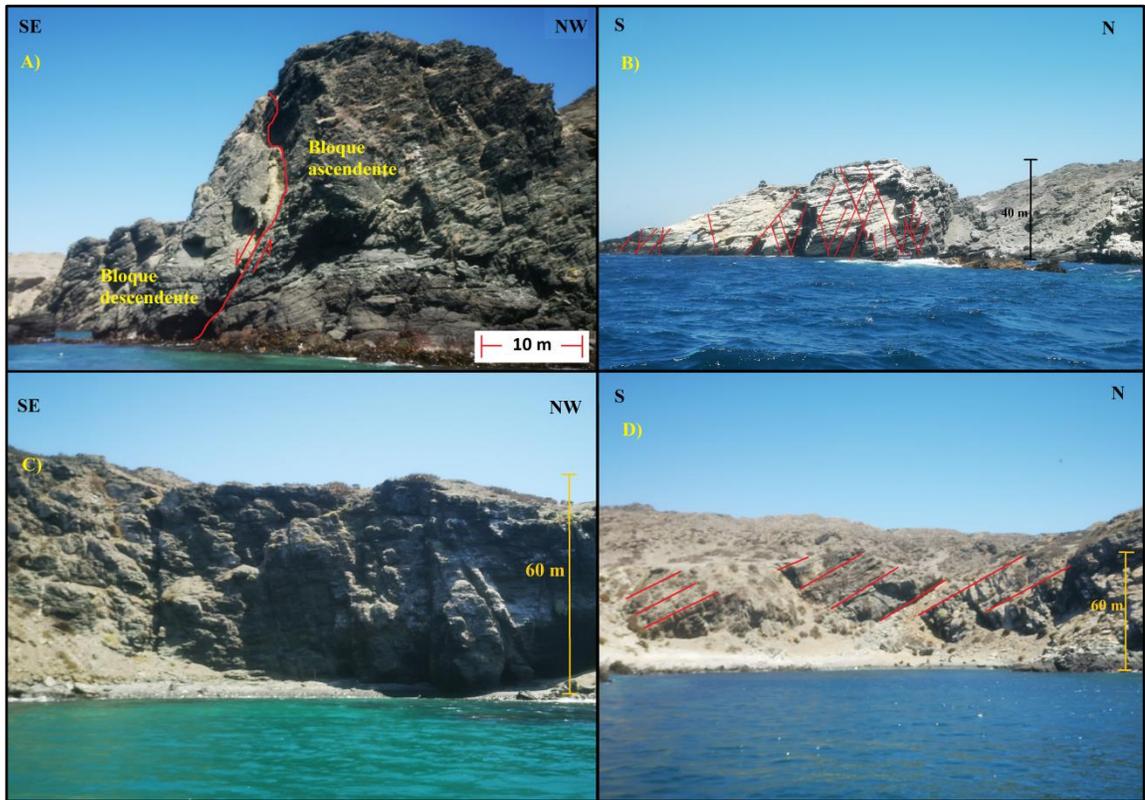


Imagen N° 4.14: Estructuras geológicas presentes en la RMICH que pueden ser vistas desde una lancha. La imagen (A) muestra una falla normal afectando a las rocas metamórficas; la imagen (B) muestra una serie de diaclasas conjugadas; la imagen (C) muestra una diferencia topográfica brusca asociada a un alzamiento tectónico; y la imagen (D) muestra un afloramiento de esquistos y filitas cuyos planos de foliación se encuentran orientados al sur (Fuente: Edición propia).

4.1.3. Geomorfología

Las principales unidades geomorfológicas presentes en la RMICH corresponden a un sistema de terrazas marinas escalonadas y un sistema de quebradas. Además, asociadas a estas morfologías existen formas y depósitos activos propios de la morfo dinámica de la isla vinculados a la acción marina, eólica, a la gravedad y a las lluvias esporádicas (ver mapa N° 4.2).

Las terrazas de abrasión marinas son el principal rasgo geomorfológico de la isla Chañaral. Estas terrazas se caracterizan por estar modeladas en su mayoría en rocas metamórficas y por presentar cuatro niveles escalonados bien definidos. El límite entre las distintas superficies de abrasión de las terrazas está determinado por escarpes verticales y subverticales (paleo acantilados) que presentan una potencia entre 10 y 30 m.

La primera terraza (TM1) se compone de una plataforma de abrasión marina de $\sim 505,2 \text{ m}^2$ con una leve inclinación al W, una altura que borde entre los 120 y 150 m s.n.m, y una cobertura de fragmentos de rocas y minerales no consolidada formada in situ a causa de la meteorización de las rocas que quedan expuestas en superficie. El límite de la terraza lo marca por el sector oriental un sistema de quebradas, mientras que por el sector occidental un escarpe de ~ 30 m de potencia cubierto por coluvios. A los pies de estos coluvios surge una segunda y tercera terraza de abrasión marina.

La segunda terraza (TM2) se ubica en el sector NW de la isla, y su plataforma de abrasión marina se encuentra entre los 80 y 90 m s.n.m. Esta planicie se encuentra cubierta, al igual que la primera, por fragmentos de rocas y minerales formados *in situ*.

A los pies de los escarpes que marcan la primera y segunda terraza surge una tercera terraza marina (TM3), cuya plataforma de abrasión presenta una altura topográfica promedio entre 60 y 70 m s.n.m, una leve inclinación al W (ver imagen N°

4.15), y una cobertura eólica en forma de manto que se compone de arena de grano medio a muy fino, con nula a leve compactación.

El límite de esta terraza lo marca un acantilado costero abrupto cubierto por coluvios que es observable en gran parte del contorno de la isla. En el sector sur, cerca del plutón, el acantilado presenta una altura vertical de ~70 m s.n.m (ver imagen N° 4.16). Por otro lado, en algunos sectores del extremo W de la isla el acantilado limita con una cuarta terraza marina por lo que no llega a tener contacto directo con el mar.

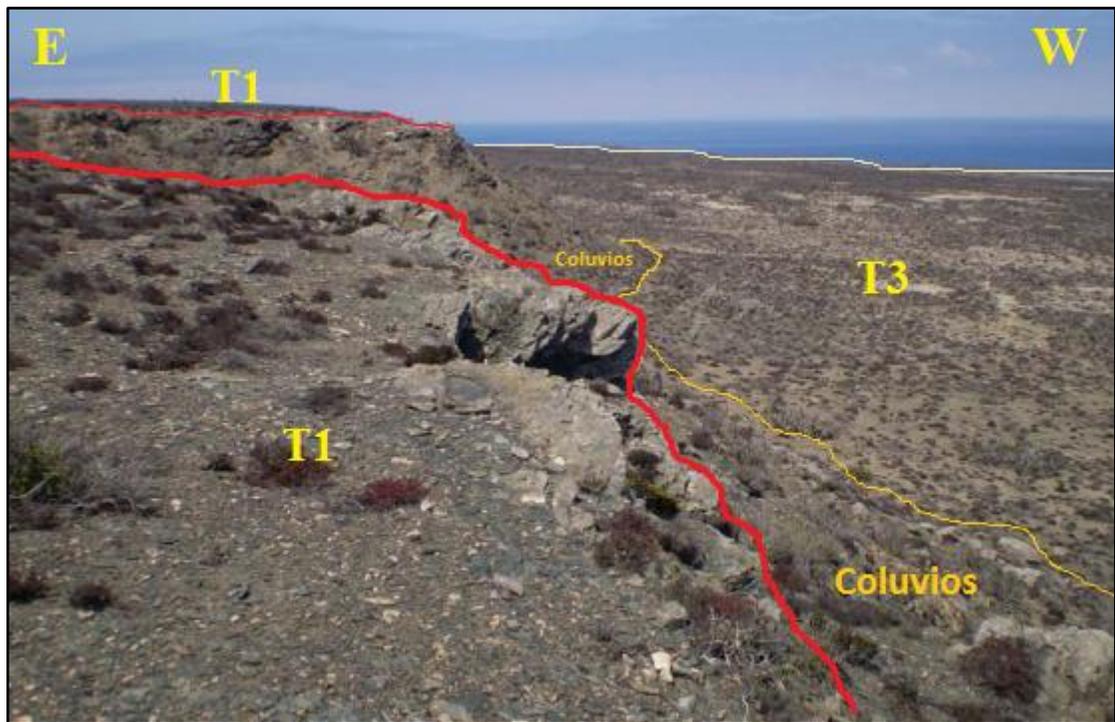
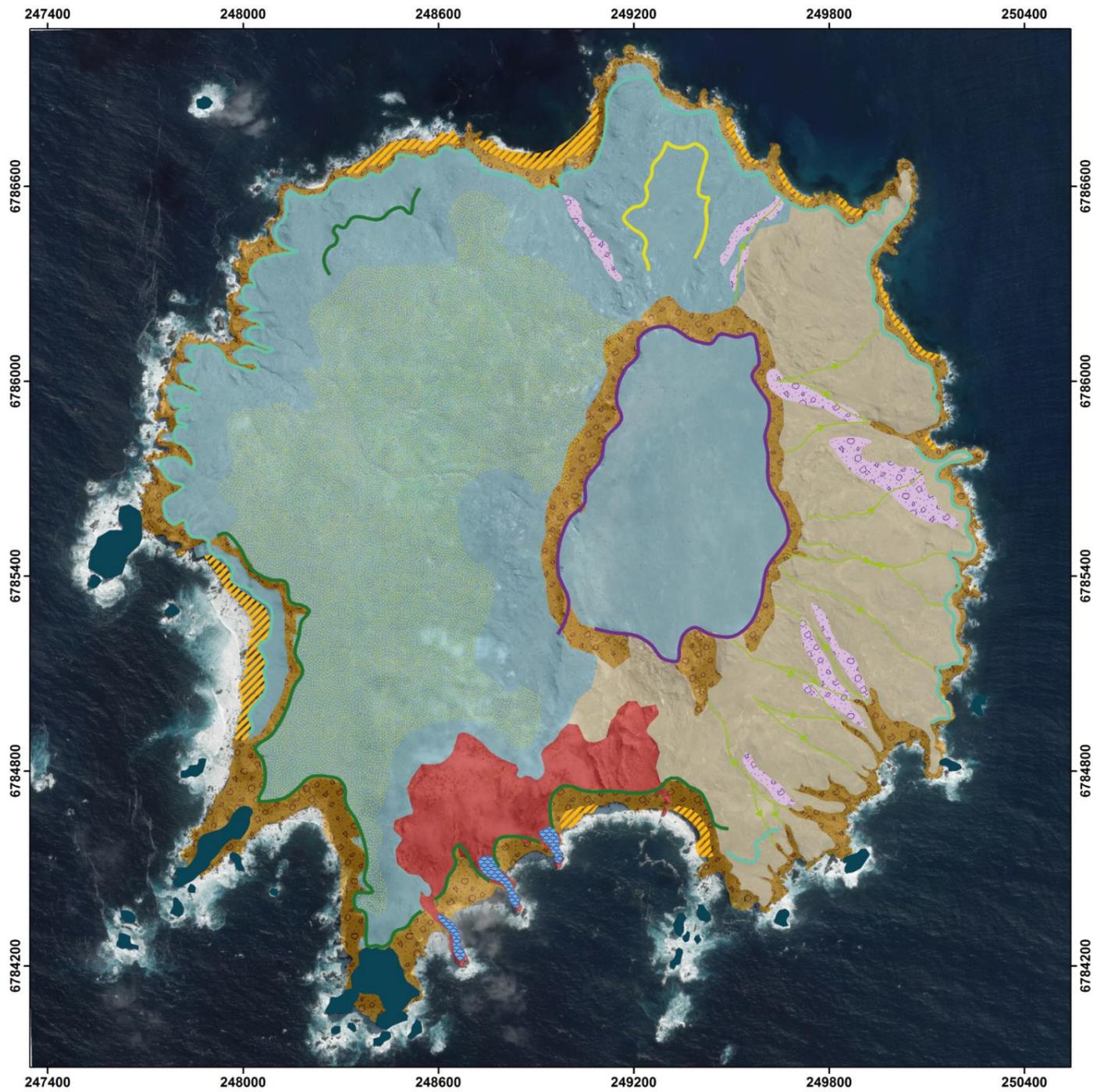


Imagen N° 4.15: Vista desde la superficie de la primera terraza (T1) hacia el sector occidente de la isla donde se ubica la terraza 3 (T3). La línea roja y amarilla marcan el límite superior e inferior respectivamente del escarpe (paleo acantilado) que separa la terraza 1 de la terraza 3. Nótese que entre el borde superior (línea roja) y el borde inferior (línea amarilla) se encuentran coluvios que cubren parcialmente el escarpe (Fuente: Modificado de Mercado y Cepeda, 2008).

GEOMORFOLOGÍA DE LA RESERVA MARINA ISLA CHAÑARAL

ESCALA 1 : 10.000



LEYENDA

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

-  TERRAZAS DE ABRASIÓN MARINA EN ROCAS PRE-CUATERNARIAS
-  SISTEMA DE QUEBRADAS EN ROCAS PRE-CUATERNARIAS
-  RELICTOS DE TERRAZA MARINA CON DEPÓSITOS EN ROCAS PRE-CUATERNARIAS

FORMAS Y DEPÓSITOS

FORMAS Y DEPÓSITOS MARINOS

-  Limite superior de paleoacatlado marino a ~120 m s.n.m
-  Limite superior de paleoacatlado marino a ~90 m s.n.m
-  Limite superior de paleoacatlado marino a ~70 m s.n.m
-  Limite superior de acatlado marino a ~40 m s.n.m

-  Playas de bolones
-  Stacks y Headlands

FORMAS Y DEPÓSITOS EÓLICOS

-  Manto eólico

FORMAS Y DEPÓSITOS COLUVIALES

-  Conos coluviales

FORMAS Y DEPÓSITOS ALUVIALES

-  Acumulados aluviales

ROCAS CON FORMA IRREGULAR

-  Intrusión pre-cuaternaria



Norte geográfico
Declinación magnética: 6,4° W
Sist. de referencia: UTM
Datum: WGS84
Huso: 19 S



Mapa N° 4.2: Cartografía geomorfológica de la RMICH, escala 1:10.000 (Fuente: Edición propia).



Imagen N° 4.16: Vista desde una lancha del acantilado costero que circunda la isla en su extremo sur. La línea roja indica el borde superior del escarpe que define el límite frontal de la terraza 3, mientras que la línea amarilla marca el contorno del plutón (Edición propia).

La cuarta tarraza de abrasión marina (TM4) se eleva entre los 35 y 40 m s.n.m, y al igual que las anteriores, su límite anterior lo marca un escarpe cubierto parcialmente por coluvios, mientras que su límite posterior lo marca un acantilado costero. Esta tarraza se encuentra conservada solo en algunos sectores del extremo W de la isla (ver imagen N° 4.17).



Imagen N° 4.17: Vista de la cuarta tarraza (T4) desde la superficie de la tarraza 3. La línea roja muestra el contorno de la plataforma de abrasión de la tarraza 4 (Fuente: Edición propia).

Otra morfología que se observa en la RMICH, es un sistema de quebradas con rumbo NW – SE presentes en el sector oriental de la isla. Estas nacen desde la plataforma de abrasión marina de la TM1, y encausan los flujos esporádicos, formándose redes de drenaje del tipo radial (ver imagen N° 4.18). En este mismo sector se encuentran una serie de fallas con orientación NW – SE, las cuales favorecieron a crear un zona de debilidad que es más fácil de erodar.



Imagen N° 4.18: Vista desde la planicie superior hacia el sector oriente de la isla. Las flechas rojas indican algunas quebradas que son visibles en la imagen (Fuente: Edición propia).

Por otra parte, una característica paisajística interesante de la isla, es la presencia de *Stacks* y *Headlands* (paleo *stacks*) (ver imagen N° 4.19).

Adicionalmente, en el extremo sur de la isla se expone una intrusión irregular tonalítica. Sobre esta intrusión es posible observar tres pequeñas plataformas de abrasión marina cubiertas por depósitos litorales de conglomerados de ~2 m de espesor, horizontales a subhorizontales. Estas plataformas se elevan a ~20 m s.n.m, y se presume que son los relictos de una antigua terraza marina con depósitos (TM5) (ver imagen N° 4.20).



Imagen N° 4.19: *Stack* y *headland* vistos desde la superficie de la isla. La línea roja marca su respectivo contorno (Fuente: Edición propia).

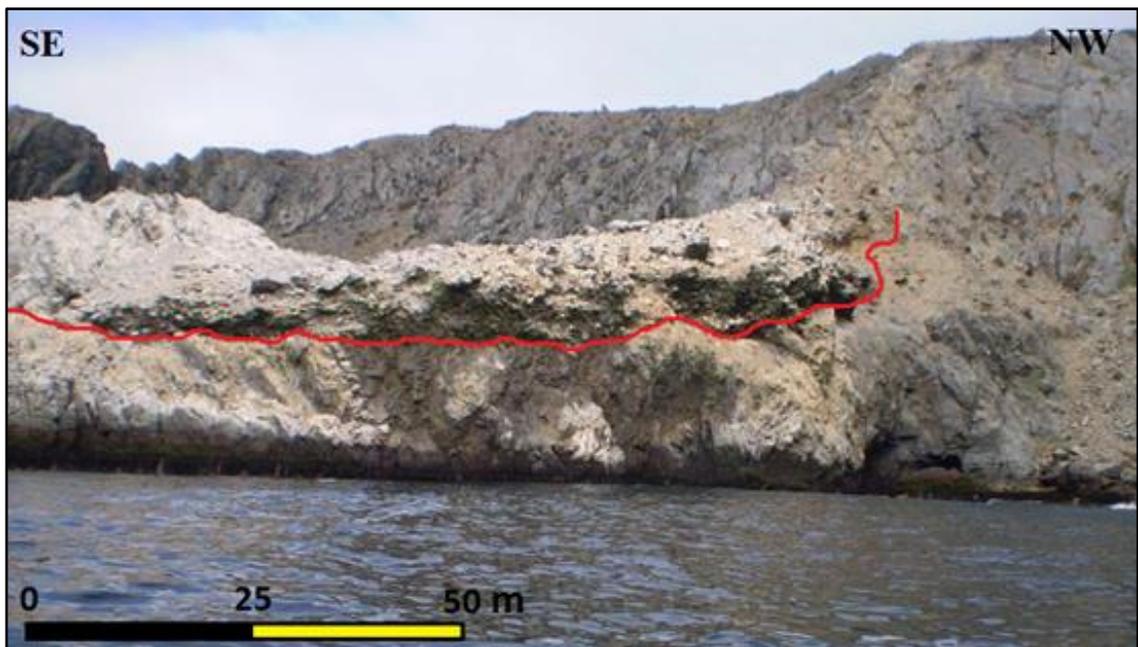


Imagen N° 4.20: Depósito de conglomerados vistos desde un bote motorizado. Estos depósitos se encuentran sobre una plataforma de abrasión modelada en el plutón que se ubica en el extremo sur de la isla, formando una inconformidad (línea roja) (Fuente: Modificado de Mercado y Cepeda, 2008).

Por último, se presenta a continuación un diagrama evolutivo, el cual muestra la probable posición de las líneas de costa asociadas a los paleoacantilados identificadas en la RMICH (ver figura N° 4.2).

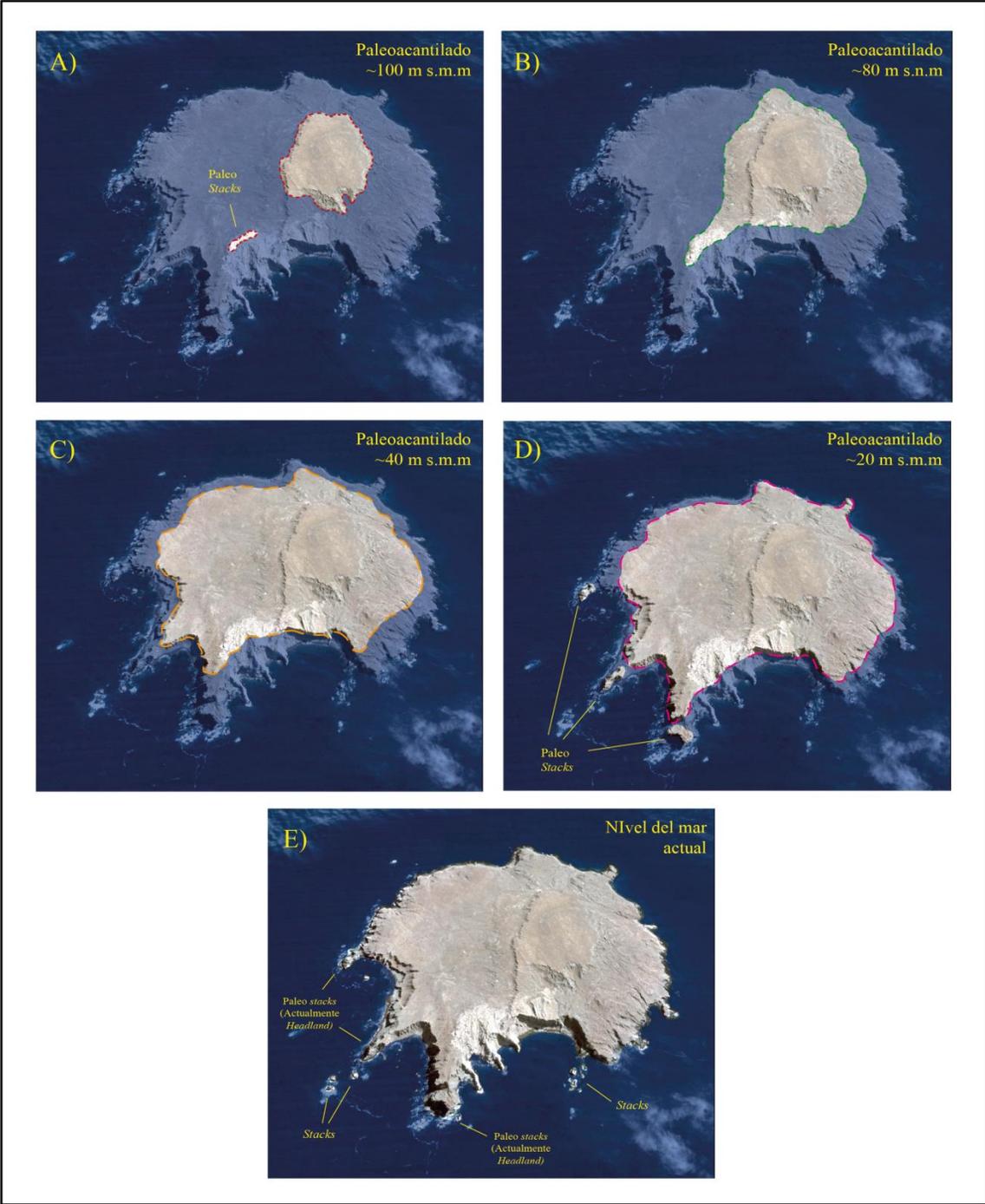


Figura N° 4.2: Diagrama evolutivo de TM1, TM2, TM3, TM4 y TM5, realizado a partir de la posición de los paleo acantilados, según las altitudes medidas en terreno. Se trazaron en el modelo las probables isolíneas del límite inferior de cada paleo acantilado. (A) Paleo acantilado de TM1 (línea roja discontinua), se observa una línea de costa a ~100 m s.n.m. (B) Paleo acantilado de TM2 (línea verde discontinua), se observa una línea de costa a ~80 m s.n.m. (C) Paleo acantilado de TM3 (línea anaranjada discontinua), se observa una línea de costa a ~40 m s.n.m. (D) Paleo acantilado de TM4 (línea violeta discontinua), se observa una línea de costa a ~20 m s.n.m. (E) Acantilado de TM5, se observa la línea de costa actual (Fuente: Edición propia).

4.1.4. Morfo dinámica actual

La morfo dinámica actual de la isla Chañaral se manifiesta en la acción erosiva del oleaje, el viento, la gravedad y la lluvia ocasional. Estos agentes han formado en la isla playas de bolones, *stacks*, acantilados costeros, conos coluviales, quebradas, arcos y cuevas, que en conjunto con la biodiversidad que posee, le otorgan una gran belleza paisajística.

Formas y depósitos marinos

Estas formas y depósitos se ubican en todo el contorno de la isla. Dicho contorno se encuentra definido por un acantilado que varía entre los 20 y 100 m de altura. En algunos sectores, debido a que el oleaje embiste directamente la base de los acantilados, se generan derrumbes por gravedad de enormes bloques rocosos. Además, a causa del oleaje también es posible observar en algunos sectores una pequeña franja angosta en donde se generan playas de bolones y gravas gruesas; pequeñas cuevas o protocavernas, que sirven de hogar para murciélagos que habitan la isla (ver imagen N° 4.20); y limitadas plataformas rocosas que tienen contacto directo con el mar, las cuales

eventualmente podrían elevarse a causa de un terremoto y formar una quinta terraza (ver imagen N° 4.21). Adicionalmente, en el sector sur de la isla también se puede observar un arco de roca formado por el diaclasamiento de las rocas y la erosión diferencial generada por el oleaje (ver imagen N° 4.22 y 4.23). Todo el contorno de la isla se puede considerar con una gran inestabilidad morfo genética y en un estado evolutivo de retroceso.



Imagen N° 4.20: Cuevas vistas desde una lancha. Las flechas rojas indican pequeñas cuevas que se han formado en el contorno de la RMICH a causa de la erosión diferencial generada por el impacto del oleaje (Fuente: Edición propia).



Imagen N° 4.21: La imagen muestra una plataforma rocosa que tiene contacto directo con el mar, la cual podría eventualmente elevarse a causa de un movimiento tectónico generando una

quinta terraza. Nótese que esta plataforma es utilizada por una gran cantidad de lobos marinos que habitan la RMICH (Fuente: Edición propia).



Imagen N° 4.22: Vista desde la distancia de un arco natural (flecha roja). Nótese que la saliente costera donde se forma el arco presenta grandes fracturas (diaclasas), las cuales favorecieron a su formación (Fuente: Edición propia).



Imagen 4.23: Vista de cerca del arco natural que se forma en el sector sur de la isla. Nótese que el arco de roca es utilizado por una gran cantidad de aves para nidificar (Fuente: Modificado de Mercado y Cepeda, 2008).

Formas y depósitos eólicos

En el sector occidente de la RMICH se ubica un manto eólico, el cual se encuentra constantemente expuesto a la acción erosiva del viento. En algunos sectores este manto se encuentra cubierto por escasa vegetación, fragmentos de rocas y minerales provenientes de las rocas que afloran en la superficie de la isla.

Formas y depósitos coluviales - aluviales

Primeramente, a los pies de los paleo acantilados y acantilados que posee la RMICH se forman diversos conos coluviales, siendo los de mayor dimensión los que se ubican en el extremo sur de la isla (ver imagen 4.24). Estos se componen de fragmentos de rocas y sedimentos sueltos provenientes de la superficie de la isla, es decir, fragmentos de esquistos, filitas, y tonalitas en el caso de los que se ubican más próximos al plutón. Con respecto a los depósitos aluviales, estos se ubican principalmente en las quebradas, y se encuentran cubiertos parcialmente por coluvios.



Imagen N° 4.24: Conos coluviales cubriendo los acantilados del extremo sur de la RMICH. Las líneas rojas muestran el contorno de los conos coluviales (Fuente: Edición propia).

4.1.5. Estado actual de la geodiversidad de la Reserva Marina Isla Chañaral

Actualmente la Isla Chañaral se encuentra catalogada como una reserva marina debido a su riqueza biológica, por lo que cuenta con un respectivo plan de manejo (CONAF, 2018) y programas asociados a la investigación y divulgación de su biodiversidad (ver imagen N° 4.25). Gracias a esto, la geodiversidad de la reserva se ha mantenido en un excelente estado de conservación.



Imagen N° 4.25: Posters y telares informativos realizados por CONAF sobre la biodiversidad presente en la RMICH para los visitantes y turistas que llegan a la Caleta Chañaral de Aceituno. Las fotografías fueron tomadas en enero de 2022 (Fuente: Edición propia).

4.1.6. Intereses geológicos y usos potenciales de la geodiversidad de la Reserva Marina Isla Chañaral

Basado en las observaciones de campo y los intereses geológicos propuestos por Fuertes-Gutiérrez y Fernández-Martínez (2010) (ver tabla N° 3.1), se tiene que los principales intereses geológicos asociados a la geodiversidad de la RMICH se relacionan con la geomorfología, la tectónica y la morfo dinámica costera. Por su parte, las unidades litológicas también pueden resultar interesantes para el campo de la petrología.

Por otra parte, considerando los 4 criterios propuestos por Brilha (2015) para no introducir errores en la evaluación se tiene:

Primeramente, en relación al valor científico (VC), la geodiversidad de la RMICH presenta una excelente representatividad y estado de conservación. No obstante, existen pocos trabajos geocientíficos ligados a la reserva, y tampoco existe un parámetro comparativo para definir con claridad la singularidad de la geodiversidad. Por lo tanto, estos últimos dos factores dan espacio a que la puntuación del VC sea entre media y alta en la evaluación. En segundo lugar, en relación al potencial de uso educativo (PUE) y geoturístico (PUT), se tiene que la geodiversidad de la RMICH presenta elementos con alto potencial didáctico e interpretativo, y un paisaje de gran espectacularidad. A su vez, la diversidad de rasgos litológicos es variada; mientras que la accesibilidad y el riesgo son criterios que se encuentran condicionados por las políticas existentes y por el desarrollo urbanístico en torno a la reserva. Estos últimos dos criterios también dan espacio a que la puntuación del PUE y el PUT sea entre media y alta en la evaluación.

Por lo anterior, los usos y actividades potenciales de la geodiversidad de la RMICH no distan mucho de los que actualmente existen asociados a su homólogo, la biodiversidad, ya que los objetivos de protección y desarrollo sustentable que respaldan la creación de un Área Silvestre Protegida (ASP) no permiten usos extractivos.

Por lo tanto, los usos y actividades vinculadas a las ciencias de la tierra, a la educación y al geoturismo se proyectan como las únicas posibles.

Es importante dejar en claro que debido a la protección legal que posee la isla actualmente, cualquier actividad y uso asociado a su geodiversidad debe ser consultado y evaluado previamente por el Departamento de Áreas Silvestres Protegidas de CONAF y por los habitantes de la Caleta Chañaral de Aceituno (CCHA).

4.1.7. Restricciones y riesgos asociados al uso de la geodiversidad de la Reserva Marina Isla Chañaral

Las restricciones y riesgos asociados al uso de la geodiversidad de la RMICH están vinculadas a un marco legal, a barreras naturales y a la ocurrencia de algunos fenómenos naturales como movimientos en masa gatillados por movimientos tectónicos o por la acción erosiva del oleaje.

Desde la perspectiva legal el desembarque de las personas a la isla se encuentra restringido debido a su calidad de reserva marina, no obstante, los trabajos científicos que permiten aportar a la comprensión de su medio natural y a su conservación son permitidos después de cumplir los requerimientos y permisos legales dispuestos por la CONAF.

Por su parte, los recorridos en bote motorizado alrededor de la RMICH no presentan una restricción legal y forman parte del ecoturismo de la zona lo que a su vez constituye una de las actividades socioeconómicas más fuertes de la CCHA. Dicho esto, es importante dejar en claro que en casi todo el contorno de la isla se pueden observar grandes acantilados que a sus pies presentan enormes rodados rocosos, lo cual demuestra que todo el contorno de la isla presenta una gran inestabilidad morfo genética. Por lo que se recomienda que los botes no se detengan muy cerca de los acantilados.

Por último, es importante considerar que el centro médico más cercano a la CCHA se encuentra a ~10 Km, en el pueblo Carrizalillo.

4.1.8. Relación entre la geodiversidad y la biodiversidad de la Reserva Marina Isla Chañaral

La geodiversidad forma parte de la diversidad natural de la Tierra, y es el resultado de procesos endógenos y exógenos que dan origen a diversos tipos de rocas y minerales, que al estar en contacto con los agentes climáticos producen variados paisajes. Diversas investigaciones, hablan sobre la relación estrecha que existe entre la biodiversidad y la geodiversidad (Burnett *et al.*, 1998; Fragoso *et al.*, 2014; Jacková y Romportl, 2008; Parks y Mulligan, 2010; Priego *et al.*, 2003). La vida se adapta, prospera, se diversifica, evoluciona y sufre extinciones debido a cambios drásticos en las condiciones locales o globales, respectivamente. Los organismos vivientes en su devenir también aportan al medio abiótico los productos que resultan de sus actividades, por ejemplo, las rocas calcáreas son el resultado de la actividad de organismos marinos (Mercado y Cepeda, 2008).

La RMICH es una porción de la Cordillera de la Costa, parcialmente sumergida en las aguas del Océano Pacífico (Mercado y Cepeda, 2008). El hecho de ser una isla permite que sea un foco de surgencias costeras, lo que propicia un entorno con altos niveles de productividad alimentaria en las aguas marinas que la circundan lo que favorece a la generación de un ecosistema marino con una alta diversidad biológica (Mercado y Cepeda, 2008; Castro *et al.*, 2010). A su vez, por el hecho de estar aislada y poseer un clima árido, se genera un factor de aislamiento para la supervivencia de la flora y fauna residente.

Dentro de la isla existe una zonificación de la biodiversidad según el tipo de roca y la geomorfología del paisaje. Primeramente, la planicie superior, correspondiente a la primera terraza, está cubierta por hierbas bajas y escasos arbustos bajos, como la especie *Frankenia chilensis*. Esta planicie es ideal para la construcción de nidos de las comunidades de *Larus dominicanus* (gaviota dominicana), las cuales generan una leve depresión junto a los arbustos, lo que les da una buena visualización para detectar posibles depredadores.

La superficie de la segunda, tercera y cuarta terraza presenta una vegetación algo más abundante y alta. Estas zonas de rocas metamórficas cubiertas con regolito permiten el crecimiento de matorrales, arbustos xerofíticos, suculentos y cactáceos como la especie *Eulychnia acida* (ver imagen N ° 4.26). Bajo esta vegetación anida la especie *Spheniscus humboldti* (pingüino de Humboldt), aunque también se han encontrado, pero en menor cantidad, nidos de esta especie en el suelo o en grietas generadas a causa del diaclasamiento de las rocas (ver imagen N° 4.27). Los *Cathartes aura* (jote cabeza colorada) y los *Coragyps atratus* (jote cabeza negra), por su parte, no tienen la necesidad de buscar refugio en los acantilados o cuevas de la isla, ya que no tienen depredadores (ver imagen N°4.28).

En el sector del plutón, se encuentran matorrales subdesérticos, cactáceas (*Eulychnia acida*), y arbustos como la especie *Ophryosporus triangularis*, más conocida como “rabo de zorro”, la cual es considerada como una especie endémica del norte de Chile.

Por su parte, en el sector oriente de la isla, donde las morfo estructuras que predominan son quebradas, se concentra la escasa agua disponible en la isla lo que permite una vegetación un poco más frondosa. La vegetación predominante son matorrales subdesérticos, arbustos y en los sectores donde las rocas metamórficas afloran directamente cactáceas como la *Copiapoa coquimbana* y la *Eulychnia acida* (ver imagen N° 4.29).

Los paleo acantilados o escarpes, en general presentan una muy baja vegetación. En el caso del acantilado que marca el contorno de la isla, este se encuentra con escasos arbustos de *Ophryosporus triangularis* y *Frankenia chilensis*, además es utilizado principalmente por la especie *Sula variegata* (piquero) y *Phalacrocorax gaimardi* (lile) para nidificar.

Las plataformas y escollos planos, debido a la foliación que presentan son preferidos principalmente por las colonias de *Otaria flavescens* y *Arctocephalus* sp. (lobos marinos) para reproducirse y sociabilizar (ver imagen N° 4.30), aunque también se pueden observar algunos *Spheniscus humboldti* (pingüinos de Humboldt).



Imagen N° 4.26: Planicie cubierta por matorrales, arbustos y cactáceas. En la imagen se puede ver que las especies que predominan son la *Eulychnia acida* (cactáceas) y la *Cistanthe speciosa* (matorral con flores violetas) (Fuente: Cortesía del Guardaparques Iván Torres, 2018).



Imagen N° 4.27: En las imágenes A y B se pueden observar *Spheniscus humboldti* (pingüinos de Humboldt) que se encuentran en procesos de reproducción, y en la imagen C se observan huevos de esta especie de pingüinos. Nótese que en todas las fotos se observa la especie *Eulychnia acida*, ya que una gran cantidad de pingüinos de Humboldt nidifican bajo estos cactus (Fuente: imagen A y B cortesía del guardaparques Iván Torres; imagen B Edición propia).



Imagen N° 4.28: Pareja de *Cathartes aura* (jotes cabeza colorada) en la isla Chañaral (Fuente: Cortesía del guardaparques Iván Torres, 2019).



Imagen N° 4.29: Cactáceas presentes en la isla Chañaral. La imagen A muestra la especie *Copiapoa coquimbana*, mientras que la imagen B muestra la especie *Eulychnia acida* (Fuente: Edición propia).



Imagen N° 4.30: Loberas de la isla Chañaral. Las imágenes muestran a una gran cantidad de *Otaria flavescens* y *Arctocephalus* sp. (lobos marinos) sobre una plataforma. Esta planicie en particular es utilizada por los lobos marinos para reproducirse (Fuente: Edición propia).

4.2. EVALUACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD DE LA RESERVA MARINA ISLA CHAÑARAL

En el capítulo 2, fueron presentadas algunas consideraciones sobre el valor funcional que tienen los elementos que conforman la geodiversidad de un sitio, mientras que la metodología para evaluar estos elementos fue planteada en el capítulo 3.

A continuación, se lleva a cabo la evaluación de los valores funcionales y potenciales usos identificados en el diagnóstico integrado, para lo cual se realiza una valoración cuantitativa de estos y un análisis de los datos obtenidos.

Para la valoración cuantitativa se emplean las tablas N° 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 y las fórmulas descritas en el capítulo 3; mientras, que para la interpretación de los puntajes obtenidos se utiliza la tabla N° 3.8.

4.2.1. Valoración cuantitativa e interpretación de los datos

A continuación, se muestran los puntajes obtenidos de la valoración a través de tablas y gráficos, y una correspondiente interpretación de estos.

Valor Científico (VC)

La tabla N° 4.1 muestra los diversos criterios, parámetros y ponderadores empleados para cuantificar de forma objetiva el valor científico que posee la geodiversidad de la RMICH. Los valores numéricos empleados como parámetros fueron definidos a voluntad en base a las observaciones de campo y a la información bibliográfica recolectada. Por su parte, los valores numéricos utilizados como ponderadores indican la relevancia que presenta cada criterio dentro de la ecuación que permite cuantificar matemáticamente el VC, siendo la representatividad el criterio más relevante.

Por su parte, el gráfico N° 4.1 es un diagrama radial que permite visualizar de manera esquemática los criterios y parámetros presentes en la tabla N° 4.1. A través del gráfico, se observa que las principales fortalezas que posee la geodiversidad de la RMICH asociadas al VC son la alta representatividad, diversidad geológica y estado de conservación.

De acuerdo a los valores numéricos presentados en la tabla y gráfico N° 4.1, se determinó que el VC posee una puntuación de 3 lo cual está considerado como un valor alto.

Tabla N° 4.1: Puntajes obtenidos para el valor científico. La tabla muestra los respectivos criterios, parámetros y ponderadores empleados para cuantificar numéricamente el VC que posee la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Edición propia).

VALOR CIENTÍFICO (VC)		
Criterios/Indicadores	Parámetros	Ponderador
Representatividad	4	0,3
Localidad Tipo	2	0,2
Conocimiento Científico	2	0,05
Estado de Conservación	4	0,15
Diversidad Geológica	4	0,05
Unicidad/Escala	2	0,15
Limitaciones de Uso	2	0,1
TOTAL		3

Gráfico N° 4.1: Diagrama radial que muestra de manera esquemática los criterios y parámetros dispuestos en la tabla N° 4.1 (Fuente: Edición propia).



Potencial de Uso Educativo (PUE)

La tabla N° 4.2 muestra los diversos criterios, parámetros y ponderadores empleados para cuantificar de manera objetiva el potencial de uso educativo que posee la geodiversidad de la RMICH. Los valores numéricos empleados como parámetros fueron definidos a voluntad en base a las observaciones de campo y a la información bibliográfica recolectada. Por su parte, los valores numéricos utilizados como ponderadores indican la relevancia que presenta cada criterio dentro de la ecuación que permite cuantificar matemáticamente el PUE, siendo la vulnerabilidad y la diversidad geológica con fines didácticos los criterios más relevantes.

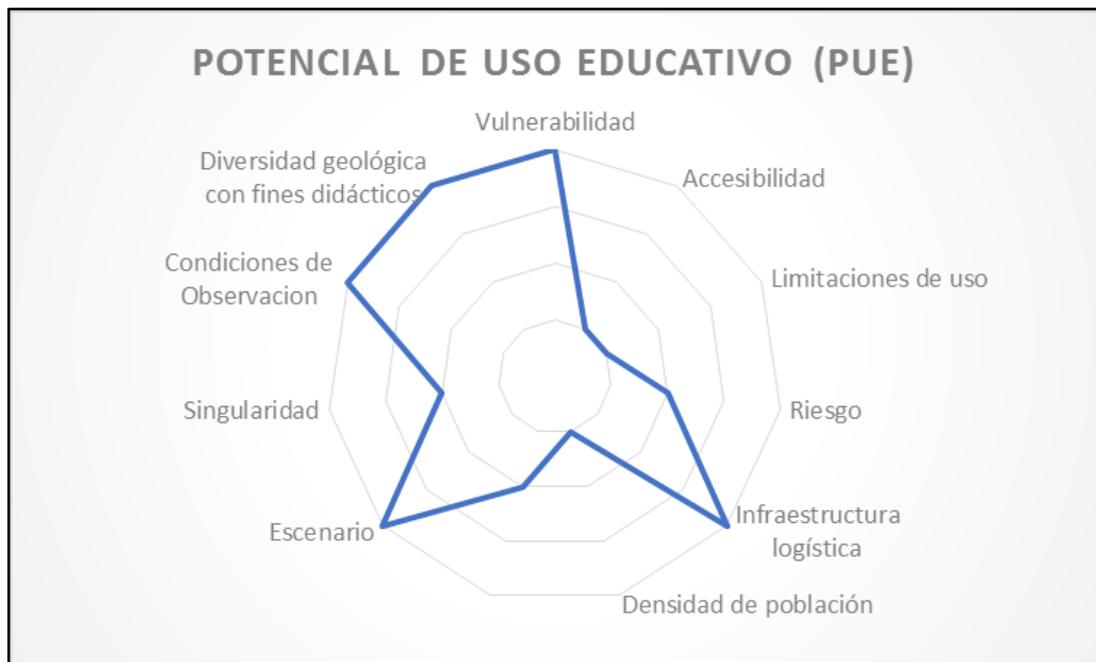
Por su parte, el gráfico N° 4.2 es un diagrama radial que permite visualizar de forma más esquemática los criterios y parámetros presentes en la tabla N° 4.2. A través del gráfico, se observa que las principales fortalezas que posee la geodiversidad de la RMICH asociadas al PUE son la baja vulnerabilidad, la alta diversidad geológica con fines didácticos, las buenas condiciones de observación, la alta belleza escénica, y la infraestructura logística que se relaciona con la presencia de centros médicos cercanos.

De acuerdo a los valores numéricos presentados en la tabla y gráfico N° 4.2, se determinó que el PUE posee una puntuación de 2,75 lo cual está considerado como un valor medio.

Tabla N° 4.2: Puntajes obtenidos para el Potencial de Uso Educativo. La tabla muestra los respectivos criterios, parámetros y ponderadores empleados para cuantificar numéricamente el PUE que posee la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Edición propia).

POTENCIAL DE USO EDUCATIVO (PUE)		
Criterios / Indicadores	Parámetro	Ponderador
Vulnerabilidad	4	0,15
Accesibilidad	1	0,1
Limitaciones de uso	1	0,1
Riesgo	2	0,1
Infraestructura logística	4	0,05
Densidad de población	1	0,05
Asociación con otros elementos de valor patrimonial	2	0,05
Escenario	4	0,05
Singularidad	2	0,1
Condiciones de Observacion	4	0,1
Diversidad geológica con fines didácticos	4	0,15
TOTAL		2,75

Gráfico N° 4.2: Diagrama radial que muestra de manera esquemática los criterios y parámetros dispuestos en la tabla N° 4.2 (Fuente: Edición propia).



Potencial de Uso Geoturístico (PUT)

La tabla N° 4.3 muestra los diversos criterios, parámetros y ponderadores empleados para cuantificar de manera objetiva el potencial de uso geoturístico que posee la geodiversidad de la RMICH. Los valores numéricos empleados como parámetros fueron definidos a voluntad en base a las observaciones de campo y a la información bibliográfica recolectada. Por su parte, los valores numéricos utilizados como ponderadores indican la relevancia que presenta cada criterio dentro de la ecuación que permite cuantificar matemáticamente el PUT, siendo el escenario el criterio más relevante.

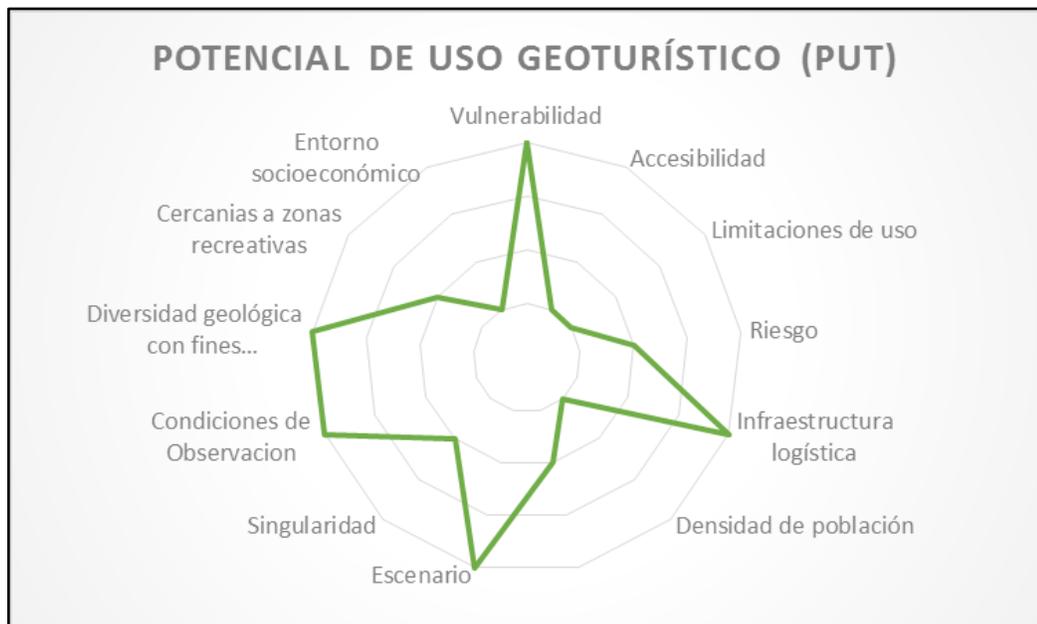
Por su parte, el gráfico N° 4.3 es un diagrama radial que permite visualizar de forma más esquemática los criterios y parámetros presentes en la tabla N° 4.3. A través del gráfico, se observa que las principales fortalezas que posee la geodiversidad de la RMICH asociadas al PUE son la baja vulnerabilidad, la alta diversidad geológica con fines interpretativos, las buenas condiciones de observación y belleza escénica que poseen los elementos geológicos de la isla, y la infraestructura logística que se relaciona con la presencia de centros médicos cercanos.

De acuerdo a los valores numéricos presentados en la tabla y gráfico N° 4.3, se determinó que el PUT posee una puntuación de 2,65 lo cual está considerado como un valor medio.

Tabla N° 4.3: Puntajes obtenidos para el Potencial de Uso Geoturístico. La tabla muestra los respectivos criterios, parámetros y ponderadores empleados para cuantificar numéricamente el PUT que posee la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Edición propia).

POTENCIAL DE USO GEOTURÍSTICO (PUT)		
Criterios / Indicadores	Parámetro	Ponderador
Vulnerabilidad	4	0,1
Accesibilidad	1	0,1
Limitaciones de uso	1	0,05
Riesgo	2	0,1
Infraestructura logística	4	0,05
Densidad de población	1	0,05
Asociación con otros elementos de valor patrimonial	2	0,05
Escenario	4	0,15
Singularidad	2	0,1
Condiciones de Observacion	4	0,05
Diversidad geológica con fines interpretativos	4	0,1
Cercanias a zonas recreativas	2	0,05
Entorno socioeconómico	1	0,05
TOTAL		2,65

Gráfico N° 4.3: Diagrama radial que muestra de manera esquemática los criterios y parámetros dispuestos en la tabla N° 4.3 (Fuente: Edición propia).



Riesgo de Degradación (RD)

La tabla N° 4.4 muestra los diversos criterios, parámetros y ponderadores empleados para cuantificar de manera objetiva el riesgo de degradación que posee la geodiversidad de la RMICH. Los valores numéricos empleados como parámetros fueron definidos a voluntad en base a las observaciones de campo y a la información bibliográfica recolectada. Por su parte, los valores numéricos utilizados como ponderadores indican la relevancia que presenta cada criterio dentro de la ecuación que permite cuantificar matemáticamente el RD, siendo el deterioro de los elementos geológicos el criterio más relevante.

Por su parte, el gráfico N° 4.4 es un diagrama radial que permite visualizar de forma más esquemática los criterios y parámetros presentes en la tabla N° 4.4. A través del diagrama, se observa que la geodiversidad de la RMICH presenta en general un casi nulo riesgo a la degradación.

De acuerdo a los valores numéricos presentados en la tabla y gráfico N° 4.4, se determinó que el RD posee una puntuación de 1,35 lo cual está considerado como un valor bajo.

Tabla N° 4.4: Puntajes obtenidos para el Riesgo de Degradación. La tabla muestra los respectivos criterios, parámetros y ponderadores empleados para cuantificar numéricamente el RD que posee la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Edición propia).

RIESGO DE DEGRADACIÓN (RD)		
Criterios / Indicadores	Parámetro	Ponderador
Deterioro de los elementos geológicos	2	0,35
Degradación cercana	1	0,2
Protección legal	1	0,2
Accesibilidad	1	0,15
Densidad de población	1	0,1
TOTAL		1,35

Gráfico N° 4.4: Diagrama radial que muestra de manera esquemática los criterios y parámetros dispuestos en la tabla N° 4.4 (Fuente: Edición propia).



CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

5.1. DIAGNÓSTICO DE LA GEODIVERSIDAD DE LA RESERVA MARINA ISLA CHAÑARAL: INTERÉS GEOPATRIMONIAL

5.1.1. Aspectos geológicos asociados a la Reserva Marina Isla Chañaral

De acuerdo a las características geológicas de la RMICH, a través del trabajo de campo se identificaron siete unidades litológicas definidas como; Complejo Metamórfico Punta de Choros (CMPC), Tonalita Quebrada La Vaca (TQLV), depósitos marinos activos e inactivos (Dma y Dmi), depósitos coluviales (Dco), depósitos eólicos (De), y depósitos aluviales (Da).

Para el caso de las rocas metamórficas que conforman la RMICH, sus rasgos litológicos y su ubicación geográfica permiten definirlas como parte del CMPC. Aguirre (1967); Mercado y Cepeda (2008); Creixell *et al.* (2012); Navarro (2013), Alarcón (2015); y Yévenes (2021), mencionan que esta unidad litológica forma la mayor parte de las islas Gaviota, Choros, Damas y Chañaral, lo cual es concordante con la cartografía geológica realizada en la RMICH.

Según Creixell *et al.* (2012), el CMPC se encuentra asociado a un sistema de prisma de acreción que existió en el margen occidental de Gondwana durante el Carbonífero – Pérmico.

Adicionalmente, esta unidad litológica presenta foliaciones secundarias (S1 y S2) que indican eventos de deformación posteriores al evento principal. Estas características litológicas concuerdan con las descritas en otros trabajos en los que se detalla la petrografía del CMPC (Creixell *et al.*, 2012, 2016; Navarro, 2013; Alarcón, 2015). Por su parte, Alarcón (2015) y Creixell *et al.* (2016) relacionan estas foliaciones secundarias a procesos de acreción basal ocurridos en el prisma de acreción.

La edad más antigua estimada para esta unidad litológica, según mediciones radiométricas realizadas por Navarro (2013) en afloramientos presentes en el sector continental entre las regiones de Atacama y Coquimbo, se estimó en 334 ± 6 Ma. Estos resultados difieren de los obtenidos por Mercado y Cepeda (2008), ya que estos definen a las rocas metamórficas de la RMICH con una edad precámbrica basados en el trabajo de Aguirre (1967); no obstante, esta estimación de edad no posee la suficiente evidencia científica.

Respecto a las rocas ígneas que forman parte de la RMICH; el cuerpo intrusivo irregular tonalítico que se ubica en la parte sur de la isla presenta un color blanco lechoso, y se compone de cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíboles como minerales principales, y óxidos de Fe como minerales de alteración. Yévenes (2021) muestra a través de una cartografía geológica que este cuerpo intrusivo forma parte de la TQLV, lo cual concuerda con las características litológicas descritas en este trabajo.

La TQLV se ha interpretado como parte de una cadena discontinua de intrusiones del Jurásico Inferior expuesta en la Cordillera de la Costa del norte de Chile, al sur de los 25°S (Berg y Baumann, 1985; Dallmeyer *et al.*, 1996; Godoy y Lara, 1999; Grocott y Taylor, 2002; Arévalo y Welkner, 2008). La edad estimada para este cuerpo intrusivo, según mediciones radiométricas realizadas por Creixell *et al.* (2012), a través del método U-Pb aplicado en circones, se estima en 193 – 191 Ma. Estos resultados difieren de los obtenidos por Mercado y Cepeda (2008). Sin embargo, estos últimos no presentan la suficiente evidencia científica para respaldar sus estimaciones.

Por otra parte, en el sector continental, entre Quebrada La Vaca y el llano Carrizalillo, se han datado algunos diques que intruyen al CMPC y a la TQLV entre los $132,9 \pm 0,6$ Ma y los 180 Ma (Creixell *et al.*, 2012). Estas dataciones podrían extrapolarse para presumir una posible edad de los diques que intruyen en la RMICH.

En relación con los Depósitos marinos activos (Dma), Depósitos eólicos (De), Depósitos coluviales (Dco) y Depósitos aluviales (Da) presentes en la RMICH, estos poseen una nula o leve compactación, y son las unidades más modernas que presenta la isla. Según Creixell *et al.* (2012) es posible observar este tipo de

depósitos en diversas partes del sector costero entre Carrizalillo y el Tofo, además estos autores plantean una edad entre el Pleistoceno y el Holoceno para estos depósitos.

En cuanto a los depósitos marinos inactivos (Dmi) ubicados en el extremo sur de la RMICH, estos se componen de conglomerados formados por clastos rodados medios a gruesos, mal clasificados, y una matriz de grava fina a arena.

Si bien no se pudo acceder al afloramiento, para obtener una muestra y su posterior descripción detallada; existen trabajos que han descrito la presencia de depósitos de conglomerados, matriz soportado y abundante cemento calcáreo en los llanos Chañaral, Carrizalillo y Choros (Creixell *et al.*, 2012; Cancino *et al.*, 2015). Estos trabajos, y la presencia de playas gravosas entorno a la reserva (CONAF, 2018), permiten presumir que los depósitos de conglomerados presentes en la RMICH son de origen marino. Por su parte, Mercado y Cepeda (2008) afirman que estos depósitos son de origen fluvial, sin embargo, la caracterización litológica que realizan estos autores no es suficiente para afirmar esto.

Por otro lado, Creixell *et al.* (2012), estiman una edad entre el Pleistoceno y el Holoceno para los depósitos de conglomerados ubicados en el sector litoral, entre Carrizalillo y el Tofo. Mientras que Mercado y Cepeda (2008), presumen una edad máxima de 330.000 años para los conglomerados presentes en la RMICH, basados en el trabajo de Godoy *et al.* (2003). No obstante, esta edad no puede ser considerada como adecuada ya que los datos entregados por Godoy *et al.* (2003) son estimaciones para depósitos litorales del sector de Caldera.

5.1.2. Aspectos geomorfológicos asociados a la Reserva Marina Isla Chañaral

Respecto a la geomorfología de la RMICH, a través del trabajo de campo se identificaron 5 niveles de terrazas marinas, denominadas en esta investigación como TM1, TM2, TM3, TM4 y TM5. El límite superior de los paleo acantilados que marcan la altura de las terrazas marinas se encuentran en promedio a ~135 m s.n.m, ~85

m s.n.m, ~65 m s.n.m, ~40 m s.n.m, y ~20 m s.n.m, respectivamente. De acuerdo con Saillard (2008), los niveles equivalentes a la TM1, TM2, TM3 y TM4 se clasifican como terrazas de abrasión marinas (*wave-cut platforms*), y la TM5 como terraza marina con depósitos (*wave-built terraces*).

Paskoff (1970); Ortlieb *et al.* (1997); Marquardt *et al.* (2004; 2005); Le Roux *et al.* (2004; 2005; 2006); Quezada *et al.* (2007); y Saillard (2008), mencionan que en el norte de Chile la presencia de terrazas marinas es el resultado de la acción combinada entre el sollevamiento tectónico de la costa y las variaciones glacioeustáticas que han tenido lugar durante el cuaternario. Estos procesos se entienden y aplican para comprender la génesis de las terrazas marinas presentes en la RMICH.

La interpretación de la formación de las terrazas marinas de acuerdo a lo establecido por Paskoff (1970); Trenhaile (2000) (en Saillard, 2008); y Saillard (2008), permitió modelar computacionalmente a través de un diagrama evolutivo, la probable posición de la línea de costa asociada a los paleo acantilados de las terrazas marinas identificadas en la RMICH (ver figura N° 4.2).

Las unidades TM1, TM2, TM3 y TM4 presentan una baja pendiente que posibilitó la acción erosiva del mar, permitiendo el retroceso de los acantilados y la formación de plataformas de abrasión marina. Además, las características litológicas señaladas por Trenhaile (2000) (en Saillard, 2008) y Saillard (2008); como la disposición horizontal de las capas y el buzamiento hacia el mar de las rocas, es concordante con la presencia de terrazas en la RMICH, encontrándose así una relación entre el modelo de terrazas propuesto en esta investigación y los modelos explicativos que han planteado Paskoff (1970); Trenhaile (2000) (en Saillard, 2008); y Saillard (2008).

Los relictos de la terraza marina con depósitos (TM5) se encuentran asociados a un sector de la RMICH protegido por *headland*, tal como las terrazas del mismo tipo identificadas por Paskoff (1970); Ortlieb *et al.* (1997); Marquardt *et al.* (2004; 2005); Le Roux *et al.* (2004; 2005; 2006); Quezada *et al.* (2007); y Saillard (2012), en sectores costeros entre las regiones de Atacama y Coquimbo.

Con la ayuda de Saillard *et al.* (2012), se realizó una interpretación de la formación y presencia de la TM5, que señalan que los sedimentos marinos que conforman los relictos de una terraza marina con depósitos en la RMICH, se depositaron dentro de un sector de la isla protegido por *headlands*.

5.1.3. Aspectos morfo dinámicos asociados a la Reserva Marina Isla Chañaral

Relacionadas a las características morfo dinámicas observadas en la RMICH, se pudieron identificar diversos depósitos marinos, eólicos, coluviales y aluviales, y una serie de formas de erosión representativas de un ambiente desértico costero, tales como, playas de bolones, *stacks*, acantilados costeros, conos coluviales, quebradas, arcos y cuevas.

Godoy *et al.* (2003); Paskoff y Manríquez. (2004); y Castro *et al.* (2007, 2010), mencionan que la morfo dinámica actual del sector costero del norte de Chile se manifiesta en la acción erosiva del oleaje, el viento y la lluvia ocasional. Estos agentes actúan sobre las rocas del basamento y los sedimentos cuaternarios; originando playas, dunas y mantos eólicos, islas, escollos, acantilados marinos, quebradas y otras formas curiosas producto de la meteorización en rocas de diferente naturaleza y resistencia.

En el caso de los depósitos que se ubican en la superficie de la RMICH, estos presentan su mayor activación durante eventos ENSO, especialmente durante El Niño, con eventos pluviométricos extremos en términos de intensidad y concentración. La acción de eventos extremos heredados se evidencia por la marcada incisión de las quebradas y el calibre de los materiales transportados, tal como se observa en la Bahía de Carrizalillo, Bahía de Coquimbo y Bahía de Tongoy (Paskoff, 1970; Le Roux *et al.*, 2004, 2006; Saillard, 2008).

Una de las características del paisaje de la RMICH es la presencia de *stacks* y paleo *stacks*. De acuerdo con lo observado por Saillard (2008) en Perú y Chile,

la presencia de paleo *stacks* sirven como indicadores de la estacionalidad y la velocidad de las regresiones marinas que han afectado a las terrazas marinas. Los *stacks*, por su parte, se encuentran distribuidos en diversas partes del contorno de la reserva.

5.2. EVALUACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD DE LA RESERVA MARINA ISLA CHAÑARAL: VALORES GEOPATRIMONIALES

Con relación al valor científico (VC), los resultados muestran un VC=3, lo cual está considerado como un valor alto (ver tabla N° 5.1 y gráfico N° 5.1). Esta puntuación se debe principalmente a que la geodiversidad de la RMICH posee una alta representatividad, es decir, permite estudiar procesos geológicos que guardan relación con la historia y la evolución geológica de un sector del territorio; presenta una alta diversidad geológica; y se encuentra en un buen estado de conservación.

Por otra parte, esta puntuación también refleja que existen ciertas falencias asociadas al VC. Primeramente, la RMICH es utilizada muy esporádicamente por la geociencia nacional, lo cual se ve reflejado en la escasa existencia de trabajos asociados a su geodiversidad, lo que eventualmente afecta de forma directa al criterio de localidad tipo y conocimiento científico. Por otro lado, la isla también posee ciertas limitaciones de uso asociadas a aspectos legales y barreras naturales, las cuales si bien se pueden superar, igual terminan por afectar parcialmente de forma negativa la puntuación del VC.

Con respecto al potencial de uso educativo (PUE) y al potencial de uso geoturístico (PUT), los resultados muestran un PUE=2.75 y un PUT=2.65 respectivamente, los cuales están considerados como un valor medio (ver tabla N° 5.1 y gráfico N° 5.1).

Esta puntuación se debe a diversos aspectos. En primer lugar, se ha asumido que en las Áreas Silvestres Protegidas (ASPs) la normativa se cumple y por lo tanto la vulnerabilidad que posee la geodiversidad de la RMICH se ve disminuida por las políticas existentes. En segundo lugar, los elementos que conforman la geodiversidad

de la isla pueden ser de gran interés para los visitantes ya que resultan ser de fácil comprensión e interpretación. Y en tercer lugar, la combinación que se da entre la geodiversidad y la biodiversidad que existe en la reserva, constituyen un paisaje de gran belleza escénica que puede ser observado con gran claridad gracias a los recorridos en botes motorizados que realizan los pescadores artesanales de la caleta Chañaral de Aceituno (CCHA). Por otro lado, al igual que el VC, la puntuación asociada al PUE y al PUT también indica que existen ciertas falencias que afectan a la capacidad educativa y geoturística que ofrece la geodiversidad de la RMICH.

Según el modelo de valoración, las principales falencias asociadas al PUE y al PUT son la accesibilidad, las limitaciones de uso, la densidad de población y el entorno socioeconómico. Los primeros dos criterios se encuentran afectados, como se mencionó con anterioridad, por barreras naturales (el océano) y por las políticas existentes. Mientras que la densidad de población y el entorno socioeconómico se encuentran relacionados con el desarrollo urbanístico de la zona. Es importante recalcar que el acercamiento a la isla está permitido y es una de las actividades socioeconómicas más fuertes de la zona, por lo que los puntajes asignados al criterio de accesibilidad y limitaciones de uso pudieron haber sido subvalorados o no ajustados correctamente al contexto de la RMICH, no obstante, esto dependerá de la perspectiva del autor al utilizarlo.

Para el caso del criterio riesgo, la magnitud con la que afecta al PUE y al PUT es bastante debatible, ya que el tener que observar desde un bote la geodiversidad de la isla podría implicar un alto riesgo. Sin embargo, para algunos autores como Brilha (2015) el hecho de tener instalaciones de seguridad a menos de 25 Km del sitio de interés no implica un riesgo alto. En el caso de la RMICH esta cuenta con dos sectores de seguridad a menos de 25 Km, la CCHA y el poblado de Carrizalillo el cual posee un centro de salud.

Respecto al criterio de singularidad, la falta de identificación y valoración de la geodiversidad de otras ASPs vuelve difícil establecer un parámetro comparativo sobre que es único y que no. Debido a esto los puntajes asignados pueden haber sido sobre o subvalorados dependiendo del criterio o la experiencia del

investigador. Esto mismo sucede al comparar los resultados con algunos estudios que se ha utilizado el modelo de Brilha (2015) con una u otra variante (Martínez, 2017; Valenzuela, 2017; Sepúlveda, 2022).

Considerando lo anterior, la metodología propuesta en esta investigación ha resultado ser una herramienta de trabajo esencial y una referencia que se espera sirva para trabajos futuros. El establecer criterios de valoración para distintas categorías de interés (científico, educativo y geoturístico) se puede considerar fundamental para no introducir errores innecesarios y valorar de acuerdo a lo que se necesita. Así, se la ha asignado diferentes puntajes a la geodiversidad de la RMICH pudiendo discriminar fácilmente su mejor uso, y guiando las futuras investigaciones, así como también los programas relacionados a la comprensión de su medio natural.

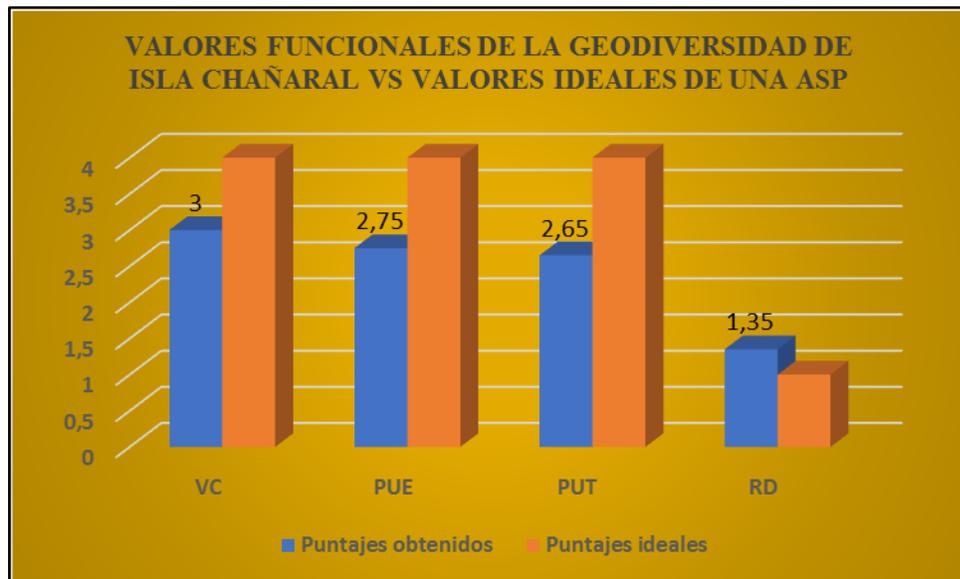
Es importante señalar que aun cuando la valoración cuantitativa busca minimizar la subjetividad con la que se evalúa la geodiversidad, los puntajes asignados dependerán del criterio, la experiencia y las condiciones de observación del evaluador durante el trabajo de campo, así como también de la variabilidad de la naturaleza (incluyendo las intervenciones humanas). Todos estos factores dan espacio a que los valores no sean permanentes, y limitan parcialmente la objetividad de la metodología (Martínez, 2017). Adicionalmente, hay que tener en consideración que los puntajes obtenidos también son modificables en cuanto lo son las condiciones que afectan directamente a los criterios utilizados para valorar. Es por esto, que puntajes bajos no necesariamente indican que la geodiversidad de una ASP debe ser descartada, más bien dicho puntaje debe servir como herramienta para indagar sobre qué aspectos hacen que la geodiversidad de la ASP evaluada presente un puntaje bajo y que se puede hacer para mejorar dichos aspectos (Martínez, 2017; Brilha, 2015).

Finalmente, en relación al riesgo de degradación (RD), los resultados muestran un $RD = 1.35$, lo cual está considerado como un valor bajo. Esto implica que la geodiversidad de la isla Chañaral posee un riesgo muy reducido de ser deteriorada por agentes antrópicos (ver tabla N° 5.1 y gráfico N° 5.1).

Tabla N° 5.1: Resumen de los puntajes obtenidos para el VC, PUE, PUT y RD asociados a la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Edición propia).

VALORES		
Tipos	Puntajes obtenidos	Puntajes ideales
VC	3	4
PUE	2,75	4
PUT	2,65	4
RD	1,35	1

Gráfico N° 5.1: Comparación entre los puntajes ideales de una ASP y los puntajes obtenidos para la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Edición propia).



CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

6.1. DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD DE LA RESERVA MARINA ISLA CHAÑARAL

La metodología empelada en esta investigación para el diagnóstico y la evaluación de la geodiversidad ha demostrado ser una herramienta de gran utilidad para identificar el interés y valor geopatrimonial que posee el medio natural de la RMICH. Esto a su vez, permite fomentar y ayudar al progreso de la geoconservación en las ASPs, ya que la metodología armoniza con la filosofía del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE).

Primeramente, por medio del diagnóstico se determinó que el atractivo patrimonial que posee la geodiversidad de la RMICH está vinculado principalmente con los intereses geológicos pronosticados en la hipótesis, es decir, con la geomorfología, la tectónica y la morfo dinámica; esto debido a la diversidad de formas de erosión y morfo estructuras representativas de un ambiente desértico costero, las cuales permiten estudiar y comprender como ha sido el comportamiento geológico de las costas del norte de Chile durante el Cuaternario.

Adicionalmente, las unidades litológicas que componen la RMICH permiten estudiar procesos petrológicos que fueron relevantes en la evolución geológica del territorio que compone a Chile, por lo que también fueron considerados como interesantes para actividades relacionadas a la divulgación geocientífica.

En relación a la evaluación, se determinó en base a criterios claros y objetivos que el potencial que presenta la geodiversidad de la RMICH, para ser usada en programas de ciencia, educación y geoturismo, actualmente no llega a ser alto para las tres categorías, llegando solo el valor científico a una puntuación alta.

No obstante, para el caso del potencial de uso educativo (PUE) y geoturístico (PUT), estos presentan valores cercanos a altos, además la valoración muestra que varios de los factores que impiden que su puntuación llegue a ser alta son

modificables en el tiempo, por lo tanto en un futuro muy probablemente el PUE y el PUT aumentarán su valor hasta alcanzar una puntuación alta. Por lo tanto, el potencial científico, educativo y geoturístico que presenta la geodiversidad de la RMICH se puede considerar como suficiente para iniciar actividades en materia geoconservación.

Por lo tanto, en relación a la hipótesis se concluye que esta se cumple solo de manera parcial, sin embargo esto se puede considerar como una situación temporal.

Por lo anterior, se recomienda establecer como primera acción un programa que se encargue de la investigación y la divulgación de la geodiversidad, y un programa de monitoreo, que mantenga una evaluación constante de las condiciones de la geodiversidad.

6.2. SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

La información entregada en este trabajo permitirá ampliar las tradicionales recetas utilizadas por CONAF para la conservación de la RMICH, y actualizar la información de su plan de manejo. Por lo tanto, se espera que esta investigación sirva para incrementar y agregar valor a las actividades y programas en curso.

Dicho lo anterior, las actividades futuras potenciales, destinadas a fortalecer la investigación, divulgación, y geoconservación de la RMICH, deben considerar la propuesta de tres programas básicos que servirán para potenciar las actuales estrategias de conservación (ver tabla N° 6.1).

Es importante destacar que la divulgación, a través de programas educativos, culturales o geoturísticos, no solo aporta conocimiento de su entorno natural a la población, sino que además permite que las personas comprendan la dinámica y la escala de tiempo a la que ocurren los procesos geológicos. Así, en lugares como la RMICH donde existe un peligro constante de deslizamientos a causa de procesos

naturales, es fundamental que exista una comunidad que comprenda la diversidad de eventos que pueden ocurrir y cómo reaccionar ante ellos. En este sentido, el diagnóstico y la evaluación de la geodiversidad de las ASPs permiten vincular a las personas con su territorio y empoderarlas de un conocimiento base acerca del comportamiento de la naturaleza

Tabla N° 6.1: Programas y actividades propuestos para fortalecer la geoconservación de la RMICH.

PROGRAMAS Y ACTIVIDADES POTENCIALES EN LA ISLA CHAÑARAL	
PROGRAMA	ACTIVIDADES
Científico	Trabajos en el campo de la petrología, geoquímica, geomorfología y geología estructural, dirigido a tesis e investigadores. Creación de una revista científica similar a la que posee CONAF asociada a la biodiversidad, pero enfocada en este caso a la geodiversidad. Se recomienda llamarla GEODIVERSIDATA .
Educativo	Uso cultural relacionado a la divulgación de la historia geológica de la isla y su relación con la historia geológica de Chile.
Geoturístico	Uso turístico relacionado a la observación de geoformas y comprensión de procesos naturales asociados con la erosión diferencial, destacando el componente tectónico y el oleaje dentro de la generación de formas específicas.

REFERENCIAS

- ACOSTA, C., CANTO, J. Y TAMBUSI, C. (2006). Pingüinos (aves, spheniscidae) en Coquimbo (Mioceno medio- Plioceno tardío), Chile y su vinculación con las corrientes oceánicas. Spanish Journal of Paleontology. Vol. 21, N°2. 7 p.
- AGUIRRE, L. (1967). Geología de las islas Choros y Damas y de Punta de Choros, Provincia de Coquimbo. Minerales, Vol. 22, N° 96-97, 73 - 83 p.
- ALARCÓN, M. (2015). Petrotectónica, deformación y grado de metamorfismo de las rocas del Carbonífero-Pérmico de la Cordillera de la Costa entre los 28°30' y 29°10' S, Región de Atacama y Región de Coquimbo, Chile. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (inédito): 159 p. Concepción.
- ALEXANDROWICZ, Z. Y KOZLOWSKI, S. (1999). From selected geosites to geodiversity conservation—Polish example of modern framework. In: Baretino D, Vallejo M, Gallego E (eds) Towards the balanced management and conservation of the geological heritage in the new millenium. Sociedad Geológica de España, Madrid, Spain, pp 40 - 44 p.
- ÁLVAREZ, F., MARTINI, S., HERVÉ, F. Y GUZMÁN, C. (2009). Archipiélago Madre de Díos: Un patrimonio natural y cultural de la Patagonia Chilena. Santiago, 22, S5_001.
- ANDRADE, V. Y ZORA, J. (2014). Puchuncaví: zona saturada por contaminación se constituye como Aspirante a Geoparque. En actas del II Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile. Santiago, 4 pp.
- ANTONIOLETTI, R., SCHNEIDER, S., BORCOSQUE, D. Y ZÁRATE, C. (1972). Características climáticas del norte chico (26° a 23° latitud sur). Instituto de investigación de recursos naturales (IREN), Vol. 1, Santiago (Chile), 102 p.
- ARAVENA BENDECK, N. (2014). Geología y geopatrimonio del área de Cerro Castillo XI Región de Aysén Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/131545>
- ARRIBAS, A. Y DURÁN, J.J. (1998). Geodiversidad versus biodiversidad. Tierra y Tecnología, 18, 48-49 p.
- AUGUSTSSON, C., RÜSING, T., NIEMEYER, H., KOOIJMAN, E., BERNDT, K., BAHLBURG, H. Y ZIMERMANN, U. (2015). 0.3 b.y. of drainage stability along the Palaeozoic paleo pacific Gondwana margin; a detrital zircon study. Journal of the Geological Society, London, 172, 186 - 200 p.

- BAHLBURG, H. Y HERVÉ, F. (1997). Geodynamic evolution and tectonostratigraphic terranes of northwestern Argentina and northern Chile. *Geological Society of America Bulletin*. Vol. 109, N°7: 869 - 884 p.
- BAHLBURG, H., VERVOOT, J.D., DU FRANE, S.A., BOCK, B., AUGUSTSSON, C. Y REIMANN, C. (2010). Timing of crust formation and recycling in accretionary orogens: Insights learned from the western margin of South America. *Earth-Science Reviews*. N° 97: 227 - 253 p.
- BENADO, J. (2013). Patrimonio geológico del proyecto Geoparque Cajón del Maipo (Región Metropolitana - Chile). Tesis de magister, Universidade do Minho, Portugal. Disponible en <http://hdl.handle.net/1822/27649>
- BENADO, J. (2014). Transferencia para una estrategia de gestion del patrimonio geológico de la región de Aysén. Postulación de la Secretaria Regional Ministerial de Minería de la región de Aysén al Fondo Nacional de Desarrollo Regional (inédito). Coyhaique, 40 pp.
- BURNETT, M., AUGUST, P., BROWN, J., Y KILLINGBECK, K. (1998). The Influence of Geomorphological Heterogeneity on Biodiversity: A Patch - Scale Perspective. *Society for Conservation Biology*, WILEY-BLACKWELL, Vol. 12, 363 - 370 p.
- BLACK, GP., Y GONGGRIJP, GP. (1990). Fundamental thoughts on Earth-science conservation. *Jb. Geol. B.-A. Band 133, Heft 4:655 - 657 p.*
- BRILHA, J. (2005). Património geológico e geoconservacao: A Conservacao da Natureza na sua Vertente Geológica. Editorial Braga, 33 - 40 p.
- BRILHA, J (2012). A Rede Global de Geoparques Nacionais: um instrumento para a promoçao internacional da geoconservação. En *Geoparques do Brasil: propostas*, C.Shobbenhaus y C. Silva (Organizadores), CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, ISBN: 978-85-7499-154-2, 31 - 37 p.
- BRILHA, J. (2015). Inventory and Quantitative Assensment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *The European Association for Conservation of the Geological Heritage*, SPRINGER, DOI: 10.1007/s1237-014-0139-3, 119 - 134 p.
- BRÜGGEN, J. (1950). *Fundamentos de la Geología de Chile*. Instituto Geográfico Militar, Santiago (Chile), 374 pp.
- BRUSCHI, V. M., CENDRERO, A. Y ALBERTOS, J. A. C. (2011). A statistical approach to the validation and optimisation of geoheritage assessment procedures. *Geoheritage*, 3(3), 131 - 149 p.
- CÁCERES, M., MARQUARDT, C., CERPA, L. Y AGUILERA, F. (2011). La Ruta de Segerstrom: transversa geoturística y geopatrimonial en la Provincia de Copiapó, Región de Atacama. In *Actas del I Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile 13-16 abril de 2011, Melipeuco, Región de la Araucanía* (p. 31).
- CALDERÓN, M., HERVÉ, F., LOHMAR, S., MOURGUES, F. A., PINTO, L., SCHILLING, M. Y MARTÍNEZ, P. (2009). Geositios de la Sociedad Geológica de

Chile: Una herramienta de educación masiva en Geología, de valoración y preservación del Geopatrimonio, y de fomento del Turismo de Intereses Especiales. Santiago, 22, S5_005.

- CANCINO, G., ORTIZ, M., CREIXELL, C. Y SALAZAR, E. (2015). Morfología de las Terrazas marinas de las islas Choros, Damas y parte continental del llano Choros (29°30'S). Actas del Congreso Geológico de Chile, La Serena, Chile. 2: 756 - 759 p.
- CARCAVILLA L. (2014). Guía práctica para entender el patrimonio geológico. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 22(1), 5 p.
- CARCAVILLA, L., DURÁN, J. Y LÓPEZ, J. (2008). Geodiversidad: Concepto y relación con el patrimonio geológico. VII Congreso Geológico de España, 1299 - 1303 p.
- CARCAVILLA, L., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. Y DURÁN, J.J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Instituto Geológico y Minero de España, Serie Cuadernos del Museo Geominero, nº 7, Madrid, 360 p.
- CASTRO, C.; FARÍAS, M. Y JARA, M. (2006): Variabilidad espacio temporal de las surgencias en el litoral de Atacama. En: CONAMA. Actas Primer Seminario Internacional de Áreas marinas y costeras protegidas. Caldera: CONAMA, Inédito.
- CASTRO, C. (2007). Geositios de valor patrimonial en Isla Grande de Atacama. En: Áreas Marinas y Costeras Protegidas de Múltiples Usos. Gobierno de Chile; Gef Marino; PNUD. Ocho Libros Editores; 110 - 115 p.
- CASTRO, C. Y FARIAS, M. (2008): Variabilidad de la temperatura superficial del mar, identificación de surgencias costeras y su relevancia en un área marina costera protegida del desierto de Atacama, Chile. Rev. de Geografía Norte Grande, 41: 49-61.
- CASTRO, C., MARQUARDT, C., NARANJO, J.A., SUÁREZ, M. Y ZÚÑIGA, A. (2009): Proposición de Geoparque en el Litoral de Atacama. Actas XII Congreso Geológico Chileno. Santiago, 22 al 26 de noviembre de 2009. CASTRO C., JARA. M. Y ZUÑIGA. D. (2010). Proyecto FONDECYT N°1070442. Bases geomorfológicas para la determinación de áreas de conservación en terrenos fiscales del área litoral de Atacama, III Región.
- CASTRO, C., MARQUARDT, C. Y ZÚÑIGA, A. (2011). Geositios de Caldera y Copiapó, Región de Atacama, Chile. Actas Conferencia Geográfica Regional UGI, Santiago de Chile, 5 pp.
- CASTRO, C., PATTILLO, C., RIVERA, J. Y ZÚÑIGA, A. (2013). Valoración territorial del geopatrimonio de la zona costera del sur del desierto de Atacama. Investig. Geogr. Chile, 45: 51 - 72 p.
- CASTRO, C., MARQUARDT, C. Y ZÚÑIGA, A. (2010). Peligros naturales en geositios del litoral de Atacama. Rev. Geogr. Norte Grande, 45: 21 - 39 p.

- CENDRERO, A. (1996). El patrimonio geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización. El patrimonio geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización. Serie Monografías del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Madrid, 17 - 27 p.
- CHARRIER, R., PINTO, L. Y RODRÍGUEZ, M.P. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. The Geology of Chile. Moreno, T y Gibbons, W. (eds). The Geological Society: Capítulo 3: 21 - 114 p. Londres.
- CHEN, A., LU, Y. Y NG, Y. C. (2015). The principles of geotourism. Springer Berlin Heidelberg.
- COLOMA, F., VALIN, X., OLIVEROS, V., VÁSQUEZ, P., CREIXELL, C., SALAZAR, E. Y DUCEA, M.N. (2017). Geochemistry of permian to triassic igneous rocks from northern Chile (28°- 30°15'S): Implications on the dynamics of the proto-Andean margin. Andean Geology Vol. 44: 147 - 148 p.
- CONAF (2018). Plan de manejo de la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt. Documento de trabajo tomo B1. Corporación Nacional Forestal, Gobierno de Chile, 162 p.
- COVACEVICH, V. Y FRASSINETTI, D. (1990). La fauna de Lo Abarca: Hito biocronoestratigráfico y paleoclimático en el Terciario superior marino de Chile central. II Simposio sobre el Terciario de Chile (Universidad de Concepción), Actas, 51 - 71 p.
- CREIXELL, C.; ORTIZ, M. Y ARÉVALO, C. (2012). Geología del Área Carrizalillo-El Tofo, Regiones de Atacama y Coquimbo. Carta Geológica de Chile, Serie Geológica Básica, N° 133134: 85 p. Escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago.
- CREIXELL, C., OLIVEROS, V., VÁSQUEZ, P., NAVARRO, J., VALLEJOS, D., VALIN, X., GODOY, E. Y DUCEA, M. (2016). Geodynamics of Late Carboniferous-Early Permian forearc in north Chile (28°30'-29°30' S). Journal of Geological Society. Vol.: 173: 757 - 772 p. Londres.
- CRISTÓBAL, J., SONIA, M., MALDONADO, A. (2008). Características climáticas de la región de atacama. Universidad de La Serena, Vol. 1, La Serena (Chile), 25 - 42 p.
- DECKART, K., HERVÉ, F., FANNING, C.M., RAMÍREZ, V., CALDERÓN, M. Y GODOY, E. (2014). U-Pb Geochronology and Hf-O Isotopes of zircons from the Pennsylvanian Coastal Batholith. South-Central Chile. Andean Geology. Vol. 41: 49 - 82 p.
- DE LIMA, F. F. BRILHA, J. B. Y SALAMUNI, E. (2010). Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil. Geoheritage, 2(3-4), 91 - 99 p.

- DE VRIES, T. (1997). A Review of the genus *Chorus* Gray, 1847 (Gastropoda: Muricidae) from Western South America. *Tulane Studies in Geology and Paleontology*, 30, 125 - 145 p.
- DIXON, G. (1996). *Geoconservation: An International Review and Strategy for Tasmania* A report to the Parks and Wildlife Service, Tasmania and the Australian Heritage Commission.
- DOWLING, R. K. (2013). Global geotourism—an emerging form of sustainable tourism. *Czech Journal of Tourism*, 2(2), 59 - 79 p.
- DURÁN VALSERO, J. J., BRUSI I BELMONTE, D., PALLÍ I BUXÓ, L., LÓPEZ MARTÍNEZ, J., PALACIO, J. Y VALLEJO, M. (1998). *Geología ecológica, geodiversidad, geoconservación y Patrimonio Geológico de la Declaración de Girona*. © IV Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico: Miraflores de la Sierra: Madrid: Junio-Julio de 1998: Comunicaciones, 1998, vol. 1, 69 - 72 p.
- EDER, F. W. Y PATZAK, M. (2004). Geoparks--Geological attractions: A tool for public education, recreation and sustainable economic development. *Episodes- Newsmagazine of the International Union of Geological Sciences*, 27(3), 162-164 p.
- ENCALADA, A. (2020). Comparación de métodos de valoración de geositos propuestos y/o aplicados en la evaluación del patrimonio geológico. Memoria para optar al grado de bachiller en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. 22 p.
- ESPINOZA, M., MONTECINO, D., OLIVEROS, V., ASTUDILLO, N., VÁSQUEZ, P., REYES, R., CELIS, C., GONZÁLEZ, R., CONTRERAS, J., CREIXELL, C. Y MARTÍNEZ, A. (2019). The synrift phase of the early Domeyko Basin (Triassic, northern Chile): sedimentary, volcanic and tectonic interplay in the evolution of an ancient subduction-related rift basin. *Basin Research*. Vol. 31: 4 - 32 p.
- FERNÁNDEZ, J. (2007). Identificación y evaluación de Geositos en el Parque Nacional Torres del Paine. Memoria para optar al Título de Geólogo, Universidad de Chile, Departamento de Geología, 72 p.
- FISHMAN, I.L., KASAKOVA, Y. Y NUSIPOV, E. (1998). Ways of activization og geodiversity protection in Kazakhstan. *ProGeo'98*, 17 p.
- FRAGOSO, P., PEREIRA, A., FRAUSTO, O., BAUTISTA, F. (2014). Relación entre la geodiversidad de Quintana Roo y su biodiversidad. *Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca de Lerdo (México), QUIVERA*, Vol. 16, 97 - 124 p.
- FUERTES-GUTIÉRREZ, I. Y FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, E. (2010). Geosites inventory in the Leon Province (Northwestern Spain): a tool to introduce geoheritage into regional environmental management. *Geoheritage*, 2(1-2), 57 - 75 p.

- GARREAUD, R., VUILLE, M. Y CLEMENTS, M. (2003). The climate of the Altiplano: Observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology* 3054. 1 - 18 p.
- GARREAUD, R., VUILLE, M., COMPAGNUCCI, R. Y MARENGO, J. (2007). Present-day south american climate. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology* 3. 1 - 10 p.
- GONGGRIJP, G.P. (1999). Geodiversity: The key to a holistic approach in renaturation. En: Baretino, D., Vallejo, M. y Gallego, E. (eds), *Towards the balanced management and conservation of the geological heritage in the new millenium*, Sociedad Geológica de España, Madrid, 77 - 80 p.
- GRAY, M. (2008). Geodiversity: Developing the paradigm. *Proc Geol Assoc* 119: 287 - 298 p.
- GRAY, M. (2004). *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature*. John Wiley & Sons Ltd., Londres, 434 p.
- GRAY, M. (2011). Other nature: Geodiversity and geosystem services. *Environmental Conservation*, N°38, DOI: 10.1017/S0376892911000117, 271 - 274 p.
- GRIJALBA, V. (2016). *Geología y análisis histórico-meteorológico del aluvión de marzo de 2015 en Chañaral, Atacama*. Santiago de Chile: Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- HARRIS, I., OSBORN, T.J., JONES, P. Y LISTER, D.H. (2020). Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Sci Data* 7, 109. Disponible en: <https://acolita.com/descargar-datos-de-temperatura-y-precipitacion-de-cualquier-lugar-de-la-tierra-usando-google-earth/>
- HAUSER, A. (1993): Remociones en masa en Chile. *Bol. N° 45*. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago. Chile. 75 pp.
- HENRIQUEZ MH., PENA DOS REISS, R., BRILHA, J. Y MOTA, TS. (2011). Geoconservation as an emerging geoscience. *Geoheritage* 3(2): 117 - 128 p.
- HERM, D. (1969). *Marines Pliozän und Pleistozän in Nord-und Mittel-Chile unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung der Mollusken-Faunen*. Zitteliana, München.
- HERVÉ, F., SCHILLING, M., CALDERON, M., SOLARI, M. Y MOURGUES, A. (2012). La difícil tarea de identificar y definir el patrimonio geológico de Chile. *Actas del XIII Congreso Geológico de Chile*, T-10: Geopatrimonio. 896 - 890 p.
- HERVÉ, F., FANNING C.M., CALDERÓN, M. Y MPODOZIS, C. (2014). Early Permian to late Triassic batholiths of the Chilean Frontal Cordillera (28°-31°S): SHRIMP U-Pb zircon ages and Lu-Hf and O isotope systematics. *Lithos* Vol. 184 - 187: 436 - 446 p.

- HOUSTON, J. Y HARTLEY, A. (2003). The central Andean west-slope rainshadow and its potential contribution to the origin of HYPER-ARIDITY in the Atacama Desert. *International journal of climatology* 23. 1453 - 1464 p.
- JACKOVÁ, K., Y ROMPORTL, D. (2008). The Relationship Between Geodiversity and Habitat Richness in Sumava National Park and Krivoklátsko Pla (Czech Republic). *Journal of Landscape Ecology, VERSITA*, Vol. 1, 23 - 38 p.
- JONES, C. (2008). History of geoparks. In: Burek CV, Prosser CD (eds) *The history of geoconservation*, vol 300. Geological Society Special Publications, London, 273 - 277 p.
- KOMOO, I. Y PATZAK, M. (2008). Global Geoparks Network: an integrated approach for heritage conservation and sustainable use. En: *Geoheritage of East and Southeast Asia*, 3 - 13 p.
- LE ROUX, J.P., GÓMEZ, C., FENNER, J. Y MIDDLETON, H. (2004). Sedimentological processes in a scarp-controlled rocky shoreline to upper continental slope environment, as revealed by unusual sedimentary features in the Neogene Coquimbo Formation, north-central Chile. *Journal Sedimentary Geology* N° 165, 67 - 92 p.
- LE ROUX, J.P., GÓMEZ, C., VENEGAS, C., FENNER, J., MIDDLETON, H., MARCHANT, M., BUCHBINDER, B., FRASSINETTI, D., MARQUARDT, C., GREGORY-WODZICKI, K.M. Y LAVENU, A. (2005). Neogene-Quaternary coastal and offshore sedimentation in north central Chile: Record of sea-level changes and implications for Andean tectonism. *Journal of South American Earth Sciences* 19, EL SEVIER, 83 - 98 p.
- LE ROUX, J.P., OLIVARES, D., NIELSEN, S., SMITH, N., MIDDLETON, H., FENNER, J. Y ISHMAN, S. (2006). Bay sedimentation as controlled by regional crustal behavior, local tectonics and eustatic sea level changes: Coquimbo Formation (Miocene - Pliocene), bay of Tongoy, central Chile. *Journal Sedimentary Geology* N° 184, 133 - 153 p.
- LÓPEZ CARROZZI, N. (2016). Patrimonio geológico de la comuna de Puchuncaví, para la creación del Geoparque Puchuncaví, V Región de Valparaíso. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/138033>
- MALDONADO, A. Y ROZAS, E. (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) 16: 293 - 304 p.
- MARDONES, R. (2012). Valoración de Potenciales Geositos en el Campo Volcánico Pali Aike, XII Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Departamento de Geología. Universidad de Chile.
- MARQUARDT, C., LAVENU, A., ORTLIEB, L., GODOY, E. Y CONTE, D. (2004). Coastal neotectonics in southern central Andes: Uplift and deformation of

- marine terraces in northern Chile (27°S). *Journal Tectonophysics* N° 394, 193 - 219 p.
- MARQUARDT, C., LAVENU, A., ORTLIEB, L., GONZÁLES, G. Y RITZ, JF. (2005). Terrazas marinas de la península Mejillones (23°S). Implicancias sismotectónicas para la costa norte de Chile. Artículo en preparación, publicado en tesis doctoral.
 - MARTÍNEZ, T. (2017). Valoración de la geodiversidad en la comuna de Puerto Varas: Nuevas perspectivas para el desarrollo local. Universidad de Chile. Memoria de tesis. 193 p.
 - MARTÍNEZ, T., VALENZUELA, D., HEVIA, F., SILVA, G. Y HERVÉ, F. (2015). Estado actual de reconocimiento y distribución geográfica del Patrimonio Geológico Chileno. En: XIV Congreso Geológico Chileno, 4 - 8 octubre 2015 Volumen digital III, 420 - 423 p.
 - MARTÍNEZ, P. (2010). Identificación, caracterización y cuantificación de Geositos, para la creación del I Geoparque en Chile, en torno al Parque Nacional Conguillío. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología. Disponible en: <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/103845>
 - MARTINI, G. (1994). Actes du premier symposium international sur la protection du patrimoine géologique. Mémoires de la Société géologique de France, 165 p.
 - MCKEEVER, P. J., ZOUROS, N. C. Y PATZAK, M. (2010, JANUARY). The UNESCO global network of national geoparks. En: The George Wright Forum (Vol. 27, No. 1, p. 14). George Wright Society.
 - MERCADO, M. Y CEPEDA, H. (2008). Isla Chañaral de la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt: Geología para todos. Región de Atacama. Corporación Nacional Forestal, Gobierno de Chile, 53 p.
 - MILLER, A. (1976). The climate of Chile: Climates of central and South America. W. Schwerdtfeger, Amsterdam (Holanda), ELSEVIER Scientific Publishing Company. 113 - 145 p.
 - MOSCOSO, R., NASI, C. Y SALINAS, P. (1982). Hoja Vallenar y parte Norte de La Serena. Carta Geológica de Chile N°55. Escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago.
 - MOURGUES, F., CONTRERAS K., SCHILLING M. E., Y PARTARRIEU D. (2016) Chile, En: Prieto, J. L. P., Cortez, J. L. S., & Schilling, M. E. Patrimonio geológico y su conservación en América Latina. p. 81-120 Disponible en: http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib_inves/geoparque.pdf
 - MPODOZIS, C. Y KAY, S.M. (1992). Late Paleozoic to Triassic evolution of Gondwana margin: evidence from Chilean Frontal Cordilleran batholiths (28°S to 31°S). *Geological Society of America Bulletin*. N° 104: 999 - 1014 p.

- MPODOZIS, C. Y RAMOS, V. (1989). The Andes of Chile and Argentina. Geology of the Andes and its relation to hidrocarbon and mineral resources. Ericksen, G.E; Cañas, M.T. y Reinemund, J. (eds.). Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sciences Series. Vol. 11: 59 - 90 p.
- NAVARRO, J. (2013). Petrotectónica del Complejo Metamórfico Punta de Choros, III y IV Región, Chile. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (inédito): 101 p. Santiago.
- NIETO, L. M. (2001). Geodiversidad: Propuesta de una definición integradora. Universidad de Jaén, Andalucía (España), Boletín Geológico y Minero, Vol. 112, 3 - 12 p.
- OLIVEROS, V., VÁSQUEZ, P., CREIXELL, C., LUCASSEN, F., DUCEA, M., CIOCCA, I., GONZÁLEZ, J., ESPINOZA, M., SALAZAR, E., COLOMA, F. Y KASEMANN, S. (2020). Lithospheric evolution of the Pre- and Early Andean convergent margin, Chile. Gondwana Research. Vol. 30: 202-227 p.
- ORTLIEB, L. Y VARGAS, G. (2003). Debris-flow deposit and El Niño Impacts along the hyperarid southern Peru coast. In: HAAS, J. & DILLON, M. El Niño in Peru: Biology and culture over 10,000 years. Chicago: Ediciones Fieldiana Botany, N° 34, 24 - 51 p.
- ORTLIEB, L., GUZMAN, N., MARQUARDT, C. Y VARGAS, G. (1997). El Cuaternario Marino del norte de Chile: Revisión geocronológica e identificación posible de depósitos de 400 ka. VIII Congreso Geológico Chileno (Antofagasta). Vol. 1, 371 - 375 p.
- PACCI, D. Y PÉREZ, E. (1979). Guías de excursiones geológicas. A: Morro de Arica-Valle de Lluta. B: Valle de Lluta y Precordillera. C: Valle de Lluta, Precordillera y Altiplano. II Congreso Geológico Chileno. En: Actas del Segundo Congreso Geológico Chileno, 32 p.
- PARKS, K. Y MULLIGAN, M. (2010). On the relationship between a resource based measure of geodiversity and broad scale biodiversity patterns. Biodivers Conserv, SPRINGER, DOI: 10.1007/s10531-010-9876-z, 2751 - 2766 p.
- PARTARRIEU BRAVO, D. (2013). Inventario de geositos en la comuna de Lonquimay, para la creación del Geoparque Kütralkura, IX Región de la Araucanía. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología.
- PASKOFF, R. (1970). Le Chili semi-aride, recherches géomorphologiques. Geomorfología de Chile semiárido. Traducción al español José Enrique Novoa Jerez. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, 1993.
- PASKOFF, R. Y MANRÍQUEZ, H. (2004). Las dunas de las costas de Chile. Santiago de Chile: Instituto Geográfico Militar de Chile.
- PEREIRA, D. (2010). Geoturismo e Geoparques em Portugal. Ciências Geológicas—Ensino e Investigação e sua História, 475-481 p.

- PRIEGO, A., MORENO, P., PALACIO, J., LÓPEZ, J., GEISSERT, D. (2003). Relación entre la heterogeneidad del paisaje y la riqueza de especies de flora en cuencas costeras del estado de Veracruz, México. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, N°52, 31 - 52 p.
- PROGEO (2017). Geodiversidad, geopatrimonio y geoconservación. The European Association for the Conservation of the Geological Heritage. Disponible en: www.progeo.ngo
- QUEZADA, J. (2006). Fenómenos climáticos anómalos en el litoral del norte de Chile y su impacto en el relieve. En: XI Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile.
- RAMÍREZ, G. (2012). Contexto geológico del parque biológico Punta Totalillo y morfología de cavidades en el Zoológico de Piedra, III Región de Atacama, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología, 121 p.
- RAMOS, V. (1994). Terranes of Southern Gondwanaland and their Control in the Andean Structure (30°-33° S Latitude). Tectonics South. Cent. Andes, 249 - 261 p.
- RAMOS, V.A. Y FOLGUERA, A. (2000). Andean flat-slab subduction through time. Ancient Orogens and Modern Analogues. Murphy, J.B.; Keppie, J.D. y Hynea, A.J. (eds). Geological Society, Special Publications 327: 31-54 p. Londres.
- RAPALINI, A.E. Y ASTINI, R.A. (2005). La remagnetización sanrafaélica de la Precordillera en el Pérmico: nuevas evidencias. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Vol. 60: 290 - 300 p.
- RIVERA VIDAL, R. (2014). Geología, Geomorfología y Geopatrimonio en el Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Región del Bío Bío, Chile. Memoria para optar a título de Geólogo. Universidad de Concepción, Chile.
- RODRÍGUEZ FONT, C. (2013). Patrimonio geológico en la ciudad de Santiago: Caracterización y valoración de geositos en torno a un núcleo urbano. Disponible en <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/114697>
- SAILLARD, M. (2008). Dynamique du soulèvement côtier Pleistocène des Andes centrales: Etude de l'évolution géomorphologique et datations (10 Be) de séquences de terrasses marines (sud pérou – nord Chili). Tesis para optar al grado de Doctorado en Ciencias de la Tierra y el Medioambiente. Université de Toulouse.
- SAILLARD, M., RIOTTE, J., REGARD, V., VIOLETTE, A., HÉRAIL, G., AUDIN, L. Y RIQUELME, R. (2012). Beach ridges eustatic dating in Tongoy bay and tectonic implications for a peninsula-bay system, Chile. Journal of South American Earth Sciences N° 40, 77 - 84 p.
- SEPULVEDA, V. (2022). Identificación de potenciales geositos y sitios de geodiversidad en la ribera norte del Lago General Carrera, Comuna de Río Ibáñez, Región de Aysén, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad Andrés Bello, Chile. 185 p.

- SCHILLING, M., MOURGUES, A., CONTRERAS, K., BENADO, J., Y PARTARRIEU, D. (2015). Patrimonio geológico y su conservación en Chile: avances y perspectivas. XIV Congreso Geológico Chileno, La Serena, 416 - 419 p.
- SCHILLING, M. (2007). Geoparques y Geositios: posibilidades de educación, difusión y valoración del patrimonio geológico a través del Geoturismo en Chile. ECOENGEN, Universidad Central, 7, 19 - 27 p.
- SCHILLING, M. (2009). Hacia la creación del primer geoparque en Chile: Parque Nacional Conguillío, Región de la Araucanía. XII Congreso Geológico Chileno, Simposio de Geopatrimonio, Santiago, 22-26 noviembre, artículo S5_027, 4 p.
- SCHILLING, M., CONTRERAS, P., TORO, K., LEVY, C., MARTÍNEZ, P., MORENO, H. Y NARANJO, J. A. (2010). Avances en la creación del Primer geoparque en Chile: Territorio Andino, Región de la Araucanía. En Congreso Peruano de Geología.
- SCHILLING, M. P., CONTRERAS, K., TORO, C., LEVY, P., MARTÍNEZ, H., MORENO, J.A. Y NARANJO. (2011). Avances en la creación del Primer geoparque en Chile: Territorio Andino, Región de la Araucanía. I Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile, 13-16 abril de 2011, Melipeuco, Región de la Araucanía, Chile: 128 - 131 p.
- SCHILLING, M., TORO, K., CONTRERAS, P., LEVY, C., Y MORENO, H. (2012A). Geoparque Kütralcura: Patrimonio geológico para el desarrollo sustentable de la Región de la Araucanía. II Simposio Geopatrimonio en Chile: 893 - 895 p.
- SCHILLING, M., BASUALTO, D., GUERRERO, I. Y TORO, K. (2012B). Exploradores del volcán Llaima: Primera iniciativa educativa en el marco del proyecto Geoparque Kütralcura. II Simposio Geopatrimonio en Chile, 999 - 1000.
- SEGERSTROM, K. (1967). Mapa geológico de una franja transversal de la Provincia de Atacama y guía geológico referido al camino carretero. Minerales, No. 96-97, 57 - 72 p.
- SERRANO, E., Y RUIZ, P. (2007). Geodiversidad: Concepto, evaluación y Aplicación territorial. El caso de Tiernes Caracena (Soria). Universidad de Valladolid, Valladolid (España), Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles (A.G.E), Vol. 45, 79 - 98 p.
- SHARPLES, C. (2002). Concepts and principles of geoconservation. Tasmanian Parks y Wildlife Service. Disponible en: [http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nfs/Attachments/SJON57W3YM/\\$FILE/geoconservation.pdf](http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nfs/Attachments/SJON57W3YM/$FILE/geoconservation.pdf)
- STUARDO, C. (1973) Vida de Claudio Gay. Escritos y Documentos. En: Gómez, C. (2012). El Museo Nacional de Historia Natural de Chile: Breve reseña de su historia y aspectos de su actual gestión estratégica. Recuperado desde: <http://www.scielo.org.ar/>
- UNESCO. (1997). El patrimonio mundial. Dossier de información sobre el patrimonio mundial. Disponible en: <http://www.UNESCO.org/whc/infeskit.html>.

- UNESCO. (2000). Sixteenth Session of the International Coordinating Council of the MAB Programme. París, 6-10 November 2000, 12 pp.
- URRESTY, C., RAULD, R., GONZALEZ, C. Y ROZAS, C. (2015). Incorporación del concepto de Geodiversidad y Geopatrimonio en la Planificación Territorial en Chile Actas XIV Congreso Geológico Chileno Volumen digital III, 4 - 8 octubre 2015, 392 - 395 p.
- VARGAS, G., ORTLIEB, L. Y JOSÉ R. (2000). Aluviones Históricos en Antofagasta y su relación con eventos El Niño/Oscilación del Sur. Revista Geológica de Chile v.27 n.2. Santiago, Chile. 716-208 p.
- VÁSQUEZ P., GLODNY, J., FRANZ, G., FREI, D. Y ROMER, R.L. (2011). Early Mesozoic plutonism of the Cordillera de la Costa (34°–37°S), Chile: constraints on the onset of the Andean Orogeny. Journal of Geology. Vol. 119: 159 - 184 p.
- WELKNER, D., ARÉVALO, C. Y GODOY, E. (2006). Geología del área Freirina-El Morado, Región de Atacama. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, N°100: 52 p. Escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago.
- WILLNER, A.P., MASSONE, H.J., RING, U., SUDO, M. Y THOMSON, S.N. (2012). P-T evolution and timing of a late Paleozoic fore-arc system and its heterogeneous Mesozoic overprint in north-central Chile (latitudes 31-32° S). Geological Magazine. N° 149: 177 - 207 p.
- WIMBLEDON, WAP. (2011). Geosites – a mechanism for protection, integration nacional and international valuation of heritage sites. In geologia dell Ambiente, supplement n. 2/2011: 13-25 p.
- YÉVENES, E. (2021). Caracterización termométrica de fluidos metamórficos a través de inclusiones fluidas en rocas del Complejo Metamórfico Punta de Choros entre los 28°49` y 29°12` lat. S entre las regiones de Atacama y Coquimbo, Chile. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (inédito): 93 p. Concepción.
- ZORA, J. Y ANDRADE, V. (2015). Avances de un catastro de lugares de interés geológico y biológico del Geoparque aspirante de Puchuncaví, Región de Valparaíso, Chile Central. Actas XIV Congreso Geológico Chileno Volumen digital III, 4 - 8 octubre 2015, 400 - 403 p.
- ZARAGOZA, R., PETERS, E., BOLLO, M. Y HERNÁNDEZ, J. (2013). Áreas prioritarias de Geo-conservación de la biodiversidad en la península de Baja California, México. Journal of Latin American Geography, Volume 12, Number 3, 7 - 31 p.
- ZOUROS, N. Y MC KEEVER, P. (2004). The European geoparks network. Episodes, 27(3), 165171. Disponible en: [http:// www.lesvosmuseum.gr/ cms_files/ dynamic/c45710/file/ SP14_el_GR.pdf](http://www.lesvosmuseum.gr/cms_files/dynamic/c45710/file/SP14_el_GR.pdf)

ANEXOS

FICHA PARA INVENTARIAR EN TERRENO LA GEODIVERSIDAD

Nombre del área estudiada

Información Geográfica

Región

Comuna

Provincia

Localidad

Coordenadas GPS (UTM)

N: E:

Zona(s) urbana(s) o Poblado(s) más próximo(s)

Distancia Km

Distancia Km

Riesgo de degradación

Dominio

Tipo de protección legal

Público Privado

Actividades antrópicas

Procesos naturales

Características generales de uso

Accesibilidad

Bus Auto 4x4 Lancha

Limitaciones de uso

Conexión con otros elementos patrimoniales

Ecológico Etnico Histórico

Factores de riesgo para actividades relacionadas con la conservación e investigación

Otros

Características Intrínsecas de uso geocientífico

Contexto(s) geológico(s) del área protegida

Tipo de valor geocientífico

Característica(s) mas relevante(s)

Observaciones generales

Anexo N° 1: Primera parte de la ficha de terreno que se diseñó para inventariar la geodiversidad de la RMICH (Fuente: Modificado de Martínez, 2017).

Características Intrínsecas de uso Educativo, Escénico y Cultural	
Particularidad / Rasgos distintivos de su belleza escénica	
<input type="text"/>	
Potencial didáctico / interpretativo	Condiciones de observación
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Observaciones generales	
<input type="text"/>	

Descripción general de la geodiversidad
<input type="text"/>

Anexo N° 2: Segunda parte de la ficha de terreno que se diseñó para inventariar la geodiversidad de Isla Chañaral (Fuente: Modificado de Martínez, 2017)