



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



**PATRIMONIO GEOLÓGICO DE LA PIEDRA CRUZ EN
EL ÁREA DE LARAQUETE, ENTRE LAS
COORDENADAS $37^{\circ}05'-37^{\circ}37'S$ y $73^{\circ}22'-73^{\circ}04'W$,
REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE.**

Memoria para optar al título de Geóloga.

Francisca Andrea Parraguez Jiménez

Profesor Patrocinante: Dr. Oscar Figueroa Arriagada
Comisión: Msc. Liubow González Martínez
Sr. Ramiro Bonilla Parra

Concepción, 2018



A mis padres, Blanca y Francisco.

ÍNDICE

RESUMEN

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Presentación del Problema	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Ubicación y Accesos	2
1.4. Clima	4
1.5. Flora y Fauna	6
1.6. Geomorfología	8
1.6.1. Planicie Marina y Fluviomarina	9
1.6.2. Cordillera de Nahuelbuta	9
1.7. Agradecimientos	9
2. PATRIMONIO GEOLÓGICO	11
2.1. Conceptos Generales	11
2.1.1. Patrimonio Geológico	11
2.1.2. Geodiversidad	11
2.1.3. Geoconservación	12
2.1.4. Geositios	12
2.1.5. Geo-rutas	12
2.1.6. Geoturismo	12
2.1.7. Geoparque	13
2.2. Antecedentes Internacionales	13
2.3. Antecedentes Nacionales	14
3. METODOLOGÍA	16
3.1. Criterios de Evaluación del Patrimonio Geológico	16
3.1.1. Valor Intrínseco (Vi)	17
3.1.2. Valor Potencial de Uso (Vu)	19
3.1.3. Valor Necesidad de Protección (Vp)	22
3.2. Caracterización de los geositios	24
4. MARCO GEOLÓGICO LOCAL	25
4.1. Basamento Metamórfico	26
4.1.1. Serie Oriental	26
4.1.2. Serie Occidental	27
4.2. Batolito Costero del Sur	29

4.3. Unidad Patagual – El Venado	30
4.4. Secuencias sedimentarias del Triásico	30
4.4.1. Formación Santa Juana	30
4.5. Secuencias sedimentarias del Cretácico al Neógeno	31
4.5.1. Formación Quiriquina	31
4.5.2. Formación Curanilahue	31
4.5.3. Formación Boca-Lebu	32
4.5.4. Formación Millongue	32
4.5.5. Formación Ranquil	32
4.6. Depósitos Cuaternarios	33
5. HISTORIA GEOLÓGICA	34
5.1. Historia Geológica	34
5.2. Formación de la Piedra Cruz	36
5.3. Historia Geológica de Divulgación	37
6. DESCRIPCIÓN DE LOS GEOSITOS	40
6.1. Geosito 1: Colcura Norte	40
6.2. Geosito 2: Colcura Sur	46
6.3. Geosito 3: Chivilingo Sur	51
6.4. Geosito 4: Río Las Cruces (Laraquete)	56
6.5. Geosito 5: Cerro forestal (Laraquete)	61
6.6. Geosito 6: Cantera del Río Trongol (Trongol bajo)	65
7. RESULTADOS	72
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
9. REFERENCIAS	80
ANEXOS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.1 Mapa de ubicación del área de estudio y de los Geositos propuestos.....	3
1.2 Climas de la Región del Biobío.....	5
1.3 Gráfico Precipitaciones Medias Anuales entre los años 2012 y 2016.....	6
1.4 Especies vegetales en el área de estudio.....	7
1.5 Especies de anfibios endémicos de la Cordillera de Nahuelbuta.....	8
4.1 Mapa geológico del área y geositos propuestos.....	25

4.2	Modelo de la caja de arena para acreción frontal y basal.....	28
5.1	Modelo esquemático: después del inicio de la subducción	35
5.2	Modelo esquemático: crecimiento basal de la Serie Occidental	35
5.3	Modelo esquemático: batolito expuesto en superficie	36
5.4	Esquema de la formación de la Quiastolita	38
5.5	Colcura Norte: litología y estructuras.....	39
6.1	Mapa de acceso al Geositio Colcura Norte y Sur	41
6.2	Alternancia de metapelitas de estaurolita grises y metarenitas amarillo grisáceo en el sector norte de la Playa Colcura	42
6.3	Porfiroblastos de estaurolitas en metapelitas.....	45
6.4	Estaurolita con macla en forma de cruz.....	45
6.5	Rasgos de Colcura Norte	46
6.6	Afloramiento de metarenitas en Colcura Sur.....	47
6.7	Rasgos de Colcura Sur.....	50
6.8	Porfiroblastos de estaurolita alojados en metapelitas	50
6.9	Cuarzo de segregación plegado según S ₂	51
6.10	Mapa de acceso a Chivilingo Sur.....	52
6.11	Cuarzo de segregación en <i>boudinage</i> alojado en filitas	53
6.12	Filitas moteadas con porfiroblastos de biotita	55
6.13	Plegamientos en Chivilingo Sur	56
6.14	Mapa de acceso a Río Las Cruces, Laraquete.....	57
6.15	Bosque nativo en Río Las Cruces.....	58
6.16	Rodado de micaesquisto de quiastolita en el Río Las Cruces	58
6.17	Mapa de acceso a Cerro forestal por sector El Pinar, Laraquete.....	61
6.18	Cristal de quiastolita	62
6.19	Cristales de quiastolita en lente de micaesquisto.....	64
6.20	Cristales de piedras cruces en afloramiento de micaesquisto de quiastolita	65
6.21	Mapa de acceso a Cantera del Río Trongol, Trongol bajo.....	66
6.22	Cantera del Río Trongol.....	67
6.23	Cristales de quiastolita en enjambre.....	67
6.24	Cristales de piedras cruces en rodado de esquisto de quiastolita	69
6.25	Recurso hídrico del Río Trongol	70
6.26	Faenas de extracción de áridos en el valle del Río Trongol.....	71
7.1	Gráfica del criterio Valor de Protección	76
7.2	Resultados ponderados de los criterios para los seis geositios	76
7.3	Valor de protección y Criterios de evaluación	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
3.1	Descripción de los parámetros del Valor Intrínseco	17
3.2	Valorización de los parámetros del Valor Intrínseco	18
3.3	Descripción de los parámetros del Valor potencial de Uso	20
3.4	Valorización de los parámetros del Valor potencial de Uso	21
3.5	Descripción de los parámetros del Valor de Protección	22

3.6	Valorización de los parámetros del Valor de Protección	23
6.1	Localización Colcura Norte	41
6.2	Ficha evaluación Cuantitativa-Cualitativa Colcura Norte para el Valor Intrínseco	43
6.3	Ficha evaluación Cuantitativa-Cualitativa Colcura Norte para el Valor potencial de Uso	44
6.4	Ficha evaluación Cuantitativa-Cualitativa Colcura Norte para el Valor de Protección	44
6.5	Localización Colcura Sur	46
6.6	Ficha evaluación Cuantitativa-Cualitativa Colcura Sur para el Valor Intrínseco ...	48
6.7	Ficha evaluación Cuantitativa-Cualitativa Colcura Sur para el Valor potencial de Uso	48
6.8	Ficha evaluación Cuantitativa-Cualitativa Colcura Sur para el Valor de Protección	49
6.9	Localización Chivilingo Sur	52
6.10	Ficha evaluación Cuantitativa-Cualitativa Chivilingo Sur para el Valor Intrínseco	53
6.11	Ficha evaluación Cuantitativa-Cualitativa Chivilingo Sur para el Valor potencial de Uso	54
6.12	Ficha evaluación Cuantitativa-Cualitativa Chivilingo Sur para el Valor de Protección	55
6.13	Localización Río Las Cruces	57
6.14	Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Río Las Cruces (Laraquete) para el Valor Intrínseco	59
6.15	Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Río Las Cruces (Laraquete) para el Valor potencial de Uso	60
6.16	Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Río Las Cruces (Laraquete) para el Valor de Protección	60
6.17	Localización Cerro forestal	61
6.19	Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Cerro forestal (Laraquete) para el Valor Intrínseco	62
6.20	Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Cerro forestal (Laraquete) para el Valor potencial de Uso	63
6.21	Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Río Las Cruces (Laraquete) para el Valor de Protección	64
6.22	Localización Cantera del Río Trongol	66
6.23	Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Cantera del Río Trongol (Trongol bajo) para el Valor Intrínseco	68
6.24	Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Cantera del Río Trongol (Trongol bajo) para el Valor potencial de Uso	69
6.25	Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Río Las Cruces (Laraquete) para el Valor de Protección	70
6.26	Criterio del Valor Intrínseco para cada geosito	72
6.27	Criterio del Valor de Uso para cada geosito	73
6.28	Criterio del Valor de Protección para cada geosito	73
6.29	Resultados de los tres criterios evaluados	74

RESUMEN

Chile posee características geológicas indiscutibles que sirven de ayuda y son un gran soporte en el conocimiento de la historia de nuestro país. Actualmente han emergido nuevos campos, como el Patrimonio Geológico, en donde además del valor económico de un recurso o lugar, se considera su valor científico y cultural.

Como consecuencia de la estrecha relación entre las personas y el recurso geológico de interés, se hace necesario educar y empoderar a la comunidad. Es decir, llevar la Geología a términos que las personas entiendan el origen y evolución de las rocas, para que le entreguen un valor agregado a sus trabajos, en su mayoría relacionados con la artesanía o actividades turísticas. Tal es el caso de Laraquete y cercanías, donde la Piedra Cruz sirve de sustento económico para muchos residentes del sector.

Esta situación trae consigo problemáticas, como la extracción indiscriminada del recurso o los continuos problemas que viven los habitantes de Trongol bajo, quienes han visto mermados sus emprendimientos por el deterioro de las rutas de acceso y el empobrecimiento del paisaje como consecuencia de las faenas extractoras de materiales para la construcción, en el valle del Río Trongol, reconocido por traer en su cauce cristales de Piedras cruces.

Por lo tanto se sugiere un trabajo en conjunto entre entidades -Universidades o Geoparques- y los artesanos, recolectores o integrantes de una comunidad mediante la realización de talleres, capacitaciones y charlas informativas sobre lo que es la geología y el patrimonio geológico que se busca proteger.

Para llevar un registro de todos los geositos del país, y proteger a aquellos con mayor vulnerabilidad de ser destruido; instituciones como el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) o la Sociedad Geológica de Chile (SGCh) han realizado un catastro basándose en la conservación de la geodiversidad.

El siguiente estudio se sitúa en la planicie litoral de la Región del Biobío, en las cercanías de Laraquete hacia el sur. Los lugares de interés: Colcura Norte, Colcura Sur, Chivilingo Sur, Río Las Cruces (Laraquete), Cerro forestal (Laraquete) y Cantera del Río Trongol; fueron propuestos por su valor intrínseco, potencial de uso y necesidad de protección, algunos de ellos son reconocidos internacionalmente por su valor científico.

Todos los geositos fueron descritos y valorados según diversos criterios que arrojarán valores ponderados los cuales servirán para compararlos y clasificarlos según su relevancia internacional, nacional, regional o local según la propuesta de Brilha (2005).

Específicamente, el Geosito Colcura Norte es el que obtiene mayor puntuación debido a su reconocimiento científico, buena conservación y fácil acceso. Cuatro de los seis lugares de interés estudiados en este trabajo obtienen el puntaje necesario para ser catalogados como lugares de interés geológico internacional. Sin embargo la vulnerabilidad de cada uno le otorga un carácter urgente a las medidas para su protección y conservación.

1. INTRODUCCIÓN

Las características geomorfológicas y geológicas de Chile nos brindan un escenario inigualable para aportar al conocimiento sobre la formación de nuestro país y de sus recursos. Dicho conocimiento e interés ha permitido el desarrollo de áreas como la minería, sismología y vulcanología. No obstante, existen incipientes campos en donde la Geología tiene mucho que aportar, como es el caso de la Conservación del Patrimonio Geológico. Si a este escenario añadimos las características geográficas, ambientales, culturales y sociales presentes en una región, se hace imprescindible, como profesionales, llevar la geología a la comunidad.

Para que la idea de conservar todo tipo de patrimonio (no solo geológico) surja de las personas, es necesario que ellas se involucren y comprendan la real importancia (educativa y didáctica) que tienen los geositos destacados en una región dada. Una forma de hacer que dicha necesidad provenga de la comunidad es mostrándoles, de manera simple, el tesoro geológico que ellos poseen prácticamente en el patio de sus casas, llevando la geología a términos que cualquier persona podría entender.

Una vez que la comunidad ya es partícipe y protagonista del proceso de Conservación del Patrimonio, podrá entregarle a su entorno un valor agregado puesto que conocerá la proveniencia, formación e inminente agotamiento del material, si no se toman las medidas necesarias.

La Región del Biobío cuenta con innumerables lugares propicios para explicar los procesos geológicos responsables de la formación de recursos como el carbón, materiales de construcción, minerales preciosos y semipreciosos. Específicamente en la zona de Laraquete y sus alrededores, se encuentra el Patrimonio de la Piedra Cruz, muy importante para el desarrollo cultural y económico del sector. Este recurso tiene la condición de no ser renovable, de aquí surge la necesidad de conservarlo como Patrimonio Geológico para que futuras generaciones también puedan conocer y ser parte de la riqueza que otorga la naturaleza.

La idea de considerar los recursos más allá de su valor económico y utilizarlos como bienes de interés científico y cultural ha ido creciendo, materializándose y dando resultados. Como es el caso de empresas turísticas que incorporan en sus *tours* información sobre la formación de dichos recursos. Por ejemplo en la comunidad de Trongol Bajo en el Valle del Río Trongol -reconocido por traer en su cauce cristales de Piedra Cruz- nace el Centro Turístico Le Lagon Bleu, de quienes surge la necesidad de mejorar la ruta turística, recopilar información sobre nuevos afloramientos

del mineral y generar material informativo y de apoyo para la comunidad. Es en este contexto, y en conjunto con la Universidad de Concepción, que surge el proyecto del presente trabajo.

1.1. Presentación del Problema

La continua extracción y destrucción indiscriminada de los afloramientos de quiastolita augura, tarde o temprano, el agotamiento del mineral. Para evitar tal consecuencia, es imprescindible educar y empoderar a la comunidad para que de ellos surja la necesidad de proteger el Patrimonio Geológico de la Piedra Cruz.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Dar a conocer y proponer lugares de importancia geológica que aportarían al conocimiento de la historia geológica y por tanto, a la Conservación del Patrimonio Geológico de la Piedra Cruz.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Reconocer en terreno litología, mineralogía y estructuras presentes.
- Evaluar y analizar, cualitativa y cuantitativamente, cada lugar de interés geológico en función de su valor intrínseco, de uso y de protección. Cuantificarlos y compararlos mediante un Valor Q (o cuantificación de la relevancia del geosítio).
- Elaborar un Mapa Geológico/Divulgación a escala (1:600.000); Mapas de detalle (1:40.000) y un tríptico con información relevante sobre los Geosítios.

1.3. Ubicación y Accesos

El siguiente estudio comprende el área ubicada en la planicie litoral y borde occidental de la Cordillera de la Costa de la Región del Biobío, Chile. Abarca las Provincias de Concepción y Arauco, específicamente las comunas de Lota, Arauco y Los Álamos. Los lugares de interés geológico están cerca o en las localidades Colcura, Chivilingo, Laraquete y Trongol Bajo (Figura 1.1).

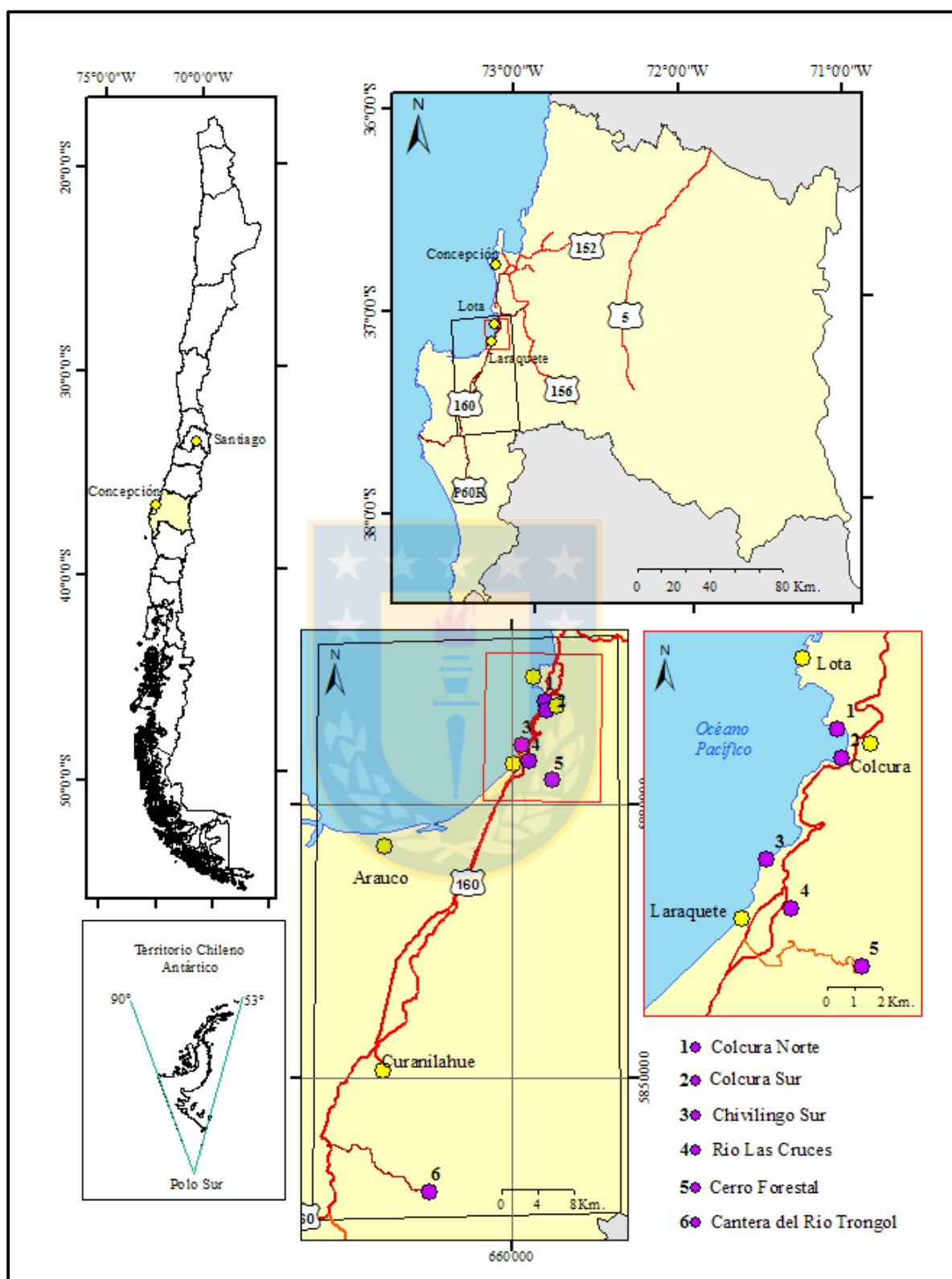


Figura 1.1: Mapa de ubicación del área de estudio y de los Geositos propuestos (círculos morados). Escala 1:500.000.

La zona se sitúa entre las coordenadas geográficas 37°05'-37°40'S y 73°00'-73°30'W; Se encuentra delimitada en su parte oriental por el Plutón de Nahuelbuta; al poniente, por la línea de costa; al extremo norte por la Ciudad de Lota y el límite sur está aproximadamente en la localidad de Los Álamos.

El área cuenta con variados accesos que conectan los centros urbanos con la industria pesquera como es el caso del sector costero, y con otros sectores netamente forestales que abarcan la parte oriental de la zona estudiada.

Los principales caminos corresponden a:

- **Ruta 160:** une Concepción, San Pedro de la Paz, Coronel, Lota, Chivilingo, Laraquete y Lebu. Al sur de Curanilahue, cerca de las localidades de Los Álamos y Tres Pinos se bifurca, continuando hacia la costa hasta Lebu. Hacia el sur, cambia su nombre a Ruta P-60-R (Ruta Arauco-Malleco).
- **Ruta P-60-R:** comienza en la localidad de Tres Pinos, pasando por Cañete y Contulmo hasta el límite con la Región de la Araucanía, donde cambia de nombre a R-60-P.
- **Ruta P-426:** ruta interior de ripio que comienza en la Ruta 160 y une las localidades de Los Ríos y Caupolicán, al sur de Curanilahue. Se bifurca hacia el sur tomando el nombre P-432.
- **Ruta P-432:** ruta interior de ripio que sigue el curso del Río Trongol, finaliza en la cordillera de Nahuelbuta.
- **Caminos forestales:** interiores y ripiados en buen estado.

1.4. Clima

De acuerdo a la información proporcionada por el Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, mediante su página web Cartografía Interactiva de los climas de Chile (http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/cartografiainteractiva) basada en la Clasificación Climática de Köppen (1884), la Región del Biobío es la zona de transición de los climas cálidos y secos de la zona central del país y los climas más lluviosos de la zona sur.

El área de estudio está caracterizada por la transición del régimen de lluvias invernales a lluvias todo el año, reflejado en los climas templado cálido con lluvias invernales y gran humedad atmosférica (*Csbn's*) y templado lluvioso cálido sin estación seca (*Cfb*) (Figura 1.2).

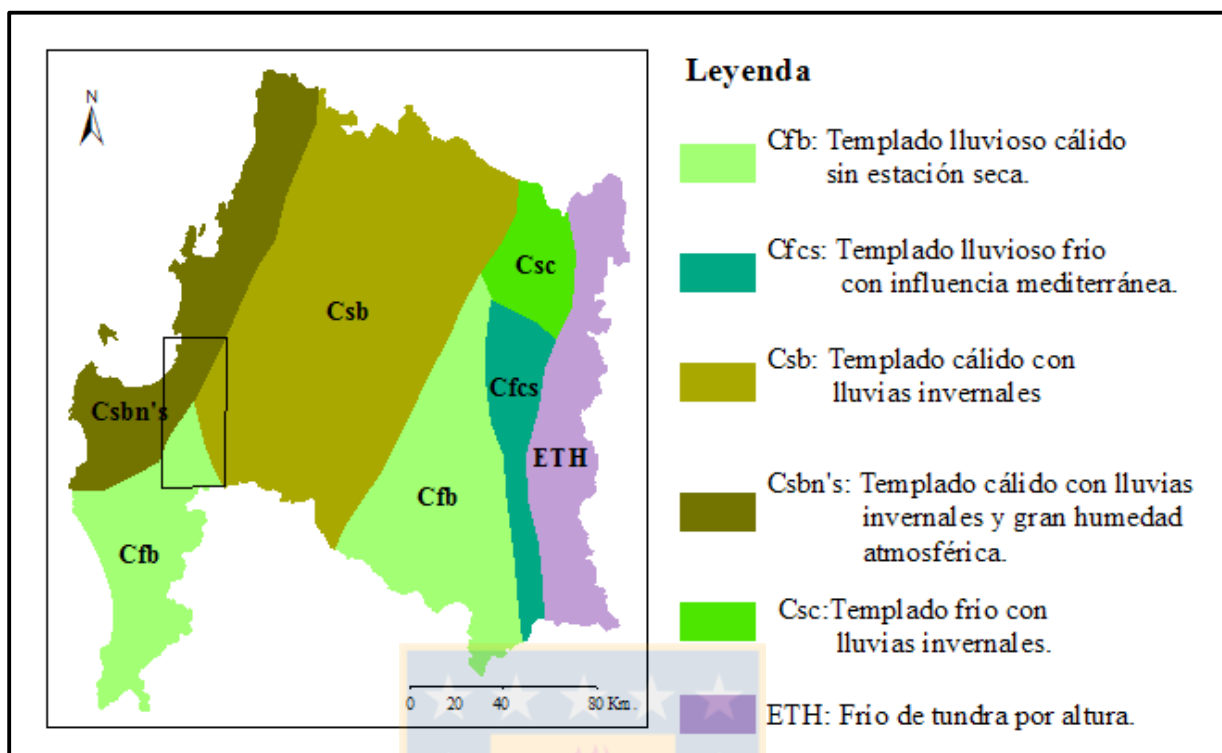


Figura 1.2: Climas de la Región del Biobío. El área de estudio se caracteriza por la transición del clima de tipo *Csbns* (Templado cálido con lluvias invernales y gran humedad atmosférica) y *Cfb* (Templado lluvioso cálido sin estación seca). Modificado de Cartografía Interactiva de los climas de Chile [http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/cartografiainteractiva].

En aquellos sectores donde la estación seca se hace presente, ésta dura 4 a 5 meses, que se identifica por un régimen térmico suavizado por la acción moderadora que ejerce el mar en la zona. En base a lo anterior, las temperaturas sólo registran pequeñas fluctuaciones durante el año.

Por otro lado, y según la información entregada por el Ministerio de Obras Públicas mediante la Dirección General de Aguas (DGA), las precipitaciones medias de los últimos 5 años (Figura 1.3) alcanzan el mayor valor acumulado en el mes de Julio, aproximadamente 200 mm; seguido por el mes de Junio con 152 mm. De esta manera entre los meses de Abril y Septiembre las precipitaciones equivalen a un 82% del total anual, mientras que en los seis meses restantes sólo corresponden al 18% de las precipitaciones totales anuales.

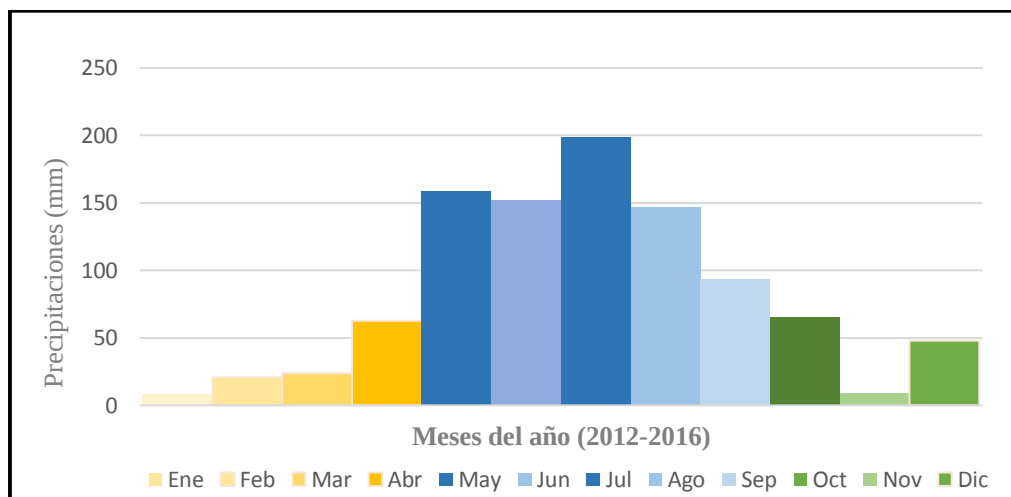


Figura 1.3: Gráfico Precipitaciones Medias Anuales entre los años 2012 y 2016.
El mes con mayores precipitaciones (199 mm) es Julio y el de menores, alcanzando una media de 8,4 mm, es Enero. Entre los meses de Abril y Septiembre se concentra el 82% de las precipitaciones totales anuales. Dirección General de Aguas, Estación Carampangue.

1.5. Flora y Fauna

Como consecuencia del clima templado cálido con estación invernal lluviosa y alta humedad atmosférica, y al constante efecto termorregulador del mar, se tiene una amplia diversidad de organismos.

Según la información obtenida en los portales en línea Biografía de Chile (<http://www.biografiadechile.cl>) y Chilebosque (<http://www.chilebosque.cl>), el área se enmarca en el hábitat de Bosque Caducifolio, que se extiende ampliamente en nuestro país, desde la Región de Valparaíso hasta la Región de los Lagos. Se caracteriza por la presencia de árboles de hoja caduca, y su composición va cambiando en la medida que se avanza hacia el sur, pudiéndose diferenciar algunas zonas geográficas.

Específicamente en la Región del Biobío se encuentran bosques de roble (*Nothofagus obliqua*) y mañío de hojas largas (*Podocarpus salignus*). En este tipo de bosques es común encontrar: copihues (*Lapageria rosea*), Boldo (*Peumus boldus*), Peumo (*Cryptocarya alba*), Araucaria (*Araucaria araucana*) (Figura 1.4).

Al mismo tiempo, las condiciones climáticas favorecen la gestación de innumerables comunidades de vertebrados e invertebrados. Algunos ejemplos de mamíferos nativos como roedores, entre ellos el Ratón de cola larga (*Oligoryzomys longicaudatus*). Especies endémicas vulnerables como el

Pudú (*Pudu pudu*), o en peligro de extinción como el Huemul (*Hippocamelus bisulcus*) (Celis-Diez y otros, 2011).



Figura 1.4: Especies vegetales en el área de estudio. (a): *Podocarpus salignus* (Mañío de hojas largas ©Chilebosque); (b): *Lapageria rosea* (Copihue ©Chilebosque); (c): Bosque de *Araucaria araucana* en la Reserva Natural San Alfonso, Cordillera de Nahuelbuta.

Según el sitio en línea Aves de Chile (<http://www.avesdechile.cl>) algunos ejemplos de aves nativas en peligro como la Torcaza (*Patagioenas araucana*) y Carpintero negro (*Campephilus magellanicus*). Jote de cabeza negra (*Coragyps atratus*), Jote de cabeza colorada (*Cathartes aura*), entre otros. Reptiles nativos en estado de conservación vulnerable como la Lagartija esbelta (*Liolaemus tenuis*) y Lagarto de corbata (*Pristidactylus torquatus*) -especie endémica en peligro de extinción-. La figura 1.5 muestra cuatro especies de anfibios endémicos de la Cordillera de Nahuelbuta: Sapo de Barros (*Alsodes barrioi*), Sapo de Vanzolini (*Alsodes Vanzolinii*), Sapo de Bullock (*Telmatobufo bullocki*) y Sapo de Nahuelbuta (*Eupsophus nahuelbutensis*) (Celis-Diez y otros, 2011).



Figura 1.5: Especies de anfibios endémicos de la Cordillera de Nahuelbuta. (a): *Alsodes barrioii* (Sapo de Barros); (b): *Alsodes Vanzolinii* (Sapo de Vanzolini); (c): *Telmatobufo bullocki* Sapo de Bullock y (d) *Eupsophus nahuelbutensis* Sapo de Nahuelbuta. Imágenes modificadas de Celis-Díez y otros, 2011.

1.6. Geomorfología

El relieve chileno se caracteriza por presentar cinco dominios morfoestructurales que condicionan el territorio nacional, de este a oeste éstas son:

- Cordillera de Los Andes: es una cordillera joven en actual alzamiento tectónico, debido a la compresión generada por la subducción activa.
- Precordillera: ubicada al pie de la Cordillera de Los Andes. Su desarrollo se encuentra ligado a la depositación de morrenas glaciares.
- Depresión Central: denominada también como Llano Central, se caracteriza por presentar cuencas de origen tectónico, con posterior relleno sedimentario.
- Cordillera de la Costa: conformada principalmente por rocas metamórficas e intrusivas, muy meteorizadas y con alturas relativamente bajas.
- Planicies Litorales: generadas por los procesos recientes de abrasión y sedimentación marina o fluvio-marina, asociados a eventos de regresión y transgresión.

Dichos dominios se disponen orientados en dirección norte-sur; y han sido agrupados en base a distintas características morfológicas, tipos de materiales y procesos de formación (Börgel, 1983). El área de estudio se ubica en la cuarta división; Región central lacustre y llano glaciovolcánico. Esta zona se caracteriza por el descenso topográfico hacia occidente del Llano Central y la Cordillera de la Costa, que, según la fisiografía propuesta por el mismo autor, cuenta con la presencia de Planicie marina y fluviomarina y Cordillera de Nahuelbuta –nombre que recibe la Cordillera de la Costa desde el Río Biobío hacia el sur- (Figura 1.6).

1.6.1. Planicie Marina y Fluviomarina

La sedimentación posee un carácter marino y se manifiesta, en general, como una llanura de menor extensión, especialmente en el área de Lota y Coronel (Vásquez, 2001).

El llano fluvio-deltaico está conformado por el curso inferior de los ríos Las Cruces y Carampangue.

1.6.2. Cordillera de Nahuelbuta

Es el nombre que recibe la Cordillera de la Costa desde el Río Biobío hasta el límite con la Región de la Araucanía. Su altura máxima es cercana a los 1.400 m s.n.m. que corresponde al mirador Piedra del Águila en el Parque Nacional Nahuelbuta. Dadas sus dimensiones es considerada un elemento orográfico importante: constituye una barrera climática y actúa como dispersor de aguas con un drenaje radial, régimen pluvial y crecidas invernales. Hacia el poniente del área estudiada, se canaliza a través de dos sistemas hidrográficos principales que desembocan en el Océano Pacífico: Río Las Cruces y Carampangue. Y en otros ríos como el Curanilahue y Trongol; y a algunos lagos ubicados en depresiones litorales (ejemplo: Lago Lleu-lleu, Lanalhue) (Vásquez, 2001).

1.7. Agradecimientos

El proyecto de esta memoria de título nace gracias a la colaboración y financiamiento de la Universidad de Concepción; Centro Turístico Le Lagon Bleu, mediante su dueña Paula Fernández y SERCOTEC.

Igualmente se agradece al Director de Geoparque Minero Litoral del Biobío, Sr. Francesc Ferraro, por su buena disposición a clarificar dudas sobre el procedimiento, al Señor Luis Vásquez del

departamento de Geomática, por compartir sus conocimientos y optimismo. A los profesores y auxiliares del Departamento de Ciencias de la Tierra por su paciencia, dedicación y por hacer de los terrenos las mejores experiencias de esta hermosa carrera.

Agradezco a Matías Barrera, Enrique Crisóstomo, Nadia Jara, Claudia Oñate y Juan Carlos Tralcal, alumnos de la Carrera de Geología de la Universidad de Concepción y Andrés Bello, por su motivación y trabajo en terreno.

Este trabajo no podría haberse realizado sin el amor y comprensión de mis padres y toda mi familia. Sin el apoyo incondicional de Hugo y sin la compañía de los grandes amigos que hice en este camino: David, Claudia, Andrea e Isabel y su hermosa familia.

Gracias a todas aquellas personas que de alguna u otra manera colaboraron con información, ánimo, paciencia, comida, buena energía y cariño.



2. PATRIMONIO GEOLÓGICO

2.1. Conceptos Generales

En los últimos años, el concepto de patrimonio geológico ha ido ganando importancia y figura entre las materias más recientemente incorporadas a la Geología.

La idea fundamental considera que los elementos geológicos forman parte del patrimonio natural y deben ser gestionados para asegurar su conservación y promover su aprovechamiento, porque constituyen un recurso en sí mismo. Dicho de esta manera, surgen preguntas acerca de su contenido real y la forma de trabajar para conocerlo y protegerlo. No sólo por su interés científico, sino que también por su potencial como poderoso recurso educativo y de concienciación social (Carcavilla, 2014).

2.1.1. Patrimonio Geológico

Existen tantas definiciones como autores lo hayan estudiado, pero todos coinciden en considerar al Patrimonio Geológico como un bien común, pues es parte de la riqueza natural de nuestro planeta. Brilha (2005) define el Patrimonio Geológico como un *“recurso no renovable que, por su valor científico, pedagógico, paisajístico, turístico o cultural, y por su contribución para el reconocimiento e interpretación de procesos geológicos que modelan nuestro planeta, deben ser preservados para las generaciones venideras”*.

La destrucción de los lugares de interés geológico es casi siempre irreversible, puesto que son considerados un recurso en sí mismo, por lo que la prevención, planificación y conservación son fundamentales.

2.1.2. Geodiversidad

La Royal Society for Nature Conservation del Reino Unido define: *“La geodiversidad consiste en la variedad de ambientes geológicos, fenómenos y procesos activos que dan origen a paisajes, rocas, minerales, fósiles, suelos, y otros depósitos superficiales que son el soporte de la vida en la Tierra”*. A estos se podrían agregar evidencias de procesos o estructuras geológicas de diversos orígenes: sedimentario, tectónico, geomorfológico, hidrogeológico y petrológico, entre otros (Rodríguez, 2013).

Esta última definición permite ver la relación simbiótica entre dos términos relativamente nuevos en el estudio de las Ciencias de la Tierra: Geodiversidad y Biodiversidad. La segunda se encuentra

condicionada por la primera dado que son las condiciones abióticas las que garantizan la subsistencia de los distintos organismos (Brilha, 2005).

2.1.3. Geoconservación

“La Geoconservación tiene como objetivo la preservación de la geodiversidad, de significativos aspectos y procesos geológicos (sustrato), geomorfológicos (formas del paisaje) y del suelo, manteniendo la evolución natural (velocidad e intensidad) de dichos aspectos y procesos” (Sharples, 2002 en Brilha, 2005).

Según Brilha (2005), el principal objetivo de la geoconservación es la preservación de geositos, como unidades básicas del patrimonio geológico, a través de la implementación de inventarios, métodos de evaluación, conservación, valoración y monitoreo de la gestión.

Para complementar la definición anterior, se puede entender la geoconservación, en un sentido más amplio, cuyo objetivo es la utilización y gestión sustentable de la geodiversidad, englobando todo tipo de recurso geológico.

2.1.4. Geositos

Son lugares con algún interés geológico destacable, desde el punto de vista científico, didáctico, cultural, turístico, etc. Corresponde a un sitio donde se puede presentar uno o más elementos de geodiversidad, geográficamente bien delimitado y que presenta un singular valor desde un punto de vista científico, pedagógico, cultural, turístico u otro. Y también ser representativo de un contexto geológico relevante ya sea a escala local, regional o nacional (Brilha, 2005).

2.1.5. Geo-Rutas

Es un sistema de interpretación y orientación diseñado para que el visitante recorra un sendero previamente definido, que incluye dos o más sitios de interés geológico. El objetivo es entregar, a quien lo visita, conocimiento científico de la zona (Rivera, 2014).

2.1.6. Geoturismo

Consiste en la apreciación y realce de las características geológicas, geomorfológicas y geográficas de un lugar. Prioriza el desarrollo sostenible de las comunidades locales y busca de que su interpretación (basada en el conocimiento científico) se explique de manera simple, clara y de fácil

comprensión para todo tipo de público. Ello tiene la finalidad de ser una experiencia enriquecedora tanto turística como intelectualmente, de manera de motivar la educación científica (Rodríguez, 2013; Rivera, 2014).

2.1.7. Geoparque

El año 2016 la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura propone los Geoparques Mundiales de la UNESCO, que son territorios con límites claramente definidos y una superficie condicionada para un verdadero desarrollo socio-económico sustentable. Su objetivo es investigar, desarrollar y conectar el Patrimonio Geológico con aspectos patrimoniales, culturales e intangibles.

Además de realzar la belleza natural de una zona y ofrecer nuevas investigaciones para contribuir con la educación medio ambiental de la comunidad, un Parque Geológico debe estimular el desenvolvimiento socio-económico de una comunidad, de una forma cultural, social y ambientalmente sustentable, mejorando las condiciones de vida y valorizando la identidad local. Como por ejemplo, ofreciendo capacitaciones, talleres, generando nuevas posibilidades de trabajo vinculadas con su tema en específico (Geoturismo, Artesanías o Geoproductos, Servicios de Alojamiento y/o transporte, etc) (Rivera, 2014).

2.2. Antecedentes Internacionales

El Patrimonio Geológico es una nueva forma de ver la Geología y la utilización de los recursos geológicos como bienes con interés científico y cultural; es por ello que desde la segunda mitad del Siglo XX, en Europa y por motivación de los propios geocientíficos, se ponen en marcha iniciativas puntuales para la geoconservación de afloramientos emblemáticos. Cada nación diseñó sus estrategias de protección, basándose en las características geológicas presentes en su territorio, por ejemplo países con alta geodiversidad distinguen del orden de diez categorías (Estratigrafía, Paleontología, Petrología, Tectónica, Hidrogeología, etc). Por el contrario, países geológicamente menos diversos, realzan criterios más específicos (erupciones holocenas o procesos geomorfológicos recientes) (Carcavilla y otros, 2013). Los resultados de dichos mecanismos de protección fueron dispares y en función del interés de las administraciones gubernamentales y los recursos disponibles. Las estrategias más eficaces, y que podrían servir de ejemplo en Chile, son las instauradas por el Reino Unido, Portugal y España.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través de su programa Geoparques Mundiales cuenta con una red de 127 Geoparques en 35 países. En América latina se hallan los Geoparques: Mixtepa Alta (México), Comarca Minera (México), Araripe (Brasil) y Grutas del Palacio (Uruguay).

Sin duda se han logrado avances, sin embargo aún existen deficiencias en el protocolo, desarrollo metodológico y estudio sistemático (Carcavilla y otros, 2013).

2.3. Antecedentes Nacionales

En Chile se han instaurado distintas iniciativas de geoconservación. Sin embargo, por tratarse de un tema incipiente, sólo existen inventarios de geositos que han surgido de proyectos puntuales como: el Inventario de Geositos de la Comuna de Lonquimay (Partarrieu, 2013) para el Geoparque Kütralkura (Región de la Araucanía), el inventario del Geoparque Minero Litoral (Región del Biobío) o el del Geoparque Valle de Petorca (Región de Valparaíso). Por lo tanto tampoco se cuenta con un marco legal para la protección de los lugares, ni tampoco un protocolo o criterio unificado para clasificarlos.

Es así como en el año 2008 se crea la Red Nacional de Geoparques (GeaChile) cuyo objetivo es promover en el país el establecimiento de Geoparques. En este contexto surge el primer proyecto de parque geológico en la Región de la Araucanía, Geoparque Kütralkura que se extiende en la zona sur de la Cordillera de los Andes y abarca cuatro comunas de gran multiculturalidad: Milipeuco, Curacautín, Lonquimay y Vilcún (Martínez y otros, 2015). Próximamente acogerá la propuesta para ser integrado a la Red de Geoparques de América Latina y el Caribe de la UNESCO. Conociendo este escenario, la Sociedad Geológica Chilena (SGCH) crea el Programa de detección de Geopatrimonio en el año 2012, con el fin de generar un catastro a nivel nacional de todos los geositos, buscar protección legal, promover actividades de divulgación y generar redes en torno a éstos. Actualmente cuenta con 88 geositos reconocidos que se pueden ver en la página de la SGCh (<http://www.sociedadgeologica.cl>).

El año 2016 surge el Geoparque Minero Litoral del Biobío que ha sido de importancia en la región puesto que ha llevado la geología a la comunidad a través de charlas, talleres y salidas a terreno. Actualmente hay doce comunas incorporadas al proyecto y a futuro podrían adherirse algunas más.

Más al norte, en la Región de Valparaíso se encuentra Geoparque Valle de Petorca cuyo valor no es tan sólo geológico/minero, sino que también arqueológico. Busca valorizar y activar la pequeña comunidad que quedó en el valle luego que las faenas mineras finalizaran.

En atención a estos antecedentes de proyectos de geoparques, el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) actualmente trabaja en la elaboración de un criterio unificado, con el fin de que todos los geositos sean evaluados bajo los mismos parámetros.

De este modo, en el marco del III Simposio de Geoparques y Geoturismo celebrado en la Ciudad de Concepción, en octubre del año 2017, se logró cimentar las bases de un acuerdo entre Geoparques Mundiales UNESCO, Proyecto de Geoparques Chilenos, SERNAGEOMIN y Sociedad Geológica de Chile, para la constitución del Comité Nacional de Geoparques.



3. METODOLOGÍA

Para conocer la situación de los geositos y proteger aquellos con mayor vulnerabilidad se requiere elaborar estrategias de geoconservación, como la confección de un inventario de puntos de interés. Para ello se delimitó el área de investigación, luego se recopiló información bibliográfica y documentación previa. Se seleccionaron puntos conocidos que, en algunos casos, han sido estudiados en diversas publicaciones científicas y a partir de ellos, se planificaron las rutas para su posterior visita en terreno.

Los seis lugares de interés geológico (LIG) propuestos en este trabajo son parte del inventario de Geoparque Minero Litoral del Biobío. Y para proceder a su cuantificación, se utilizó una metodología combinada basada en las propuestas de Brilha (2005) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) (Carcavilla y otros, 2007). La primera, considera criterios generales y como resultado se obtiene un Valor Q (o ranking) que permite compararlos entre ellos y/o clasificarlos según su interés internacional, nacional, regional o local; y la segunda, enfatiza en aspectos más específicos. Ambas cuantifican cada lugar de interés a través de tres criterios, cada uno de los cuales es cuantificado en base a una escala ascendente de 1 a 5. Una vez obtenidos los resultados parciales ponderados, es posible determinar el valor final de cada sitio, teniendo en cuenta su Valor Intrínseco (**Vi**), Valor de uso (**Vu**) y Valor de protección (**Vp**). Se obtiene un Valor final Q comparativo (media ponderada de los tres criterios o cuantificación de la relevancia del geosito) que permitirá identificar en qué situación se encuentra cada uno de ellos. Cuanto mayor sea el valor de Q, más relevancia tendrá el geosito, por consiguiente será más urgente aplicar estrategias para la geoconservación.

A modo de síntesis, se confecciona un mapa de divulgación y mapas de acceso (1:40.000). Para esta labor se utilizan los softwares de información geográfica ArcGIS 10.1 y Google Earth®.

3.1. Criterios de Evaluación del Patrimonio Geológico

Para realizar el inventario cada geosito es sometido a un proceso de cuantificación que considera tres parámetros de evaluación: Valor Intrínseco (**Vi**), de Uso (**Vu**) y de Protección (**Vp**), para cada uno de los cuales se obtendrá un ranking o valor parcial.

3.1.1. Valor Intrínseco (Vi)

Evalúa las características propias de un lugar, considerando once parámetros de valoración [A1-A11] a los que otorga una ponderación científica, recreativa y de protección (Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Descripción de los parámetros del Valor Intrínseco y su respectiva ponderación científica, recreativa y de protección. Basado en la propuesta del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

PARÁMETRO DE VALORACIÓN	DESCRIPCIÓN	Ponderación Científica	Pond. Recreativa	Pond. Protección
A1 Grado de conocimiento científico del lugar.	Indica que la relevancia geológica e interés científico lo hacen objeto de publicaciones y estudios científicos. Número y tipo de publicaciones disponibles sobre el potencial geosítio, que refleja de alguna manera el grado de importancia que le ha atribuido la comunidad científica.	25	5	0
A2 Rareza o Abundancia Regional.	Informa sobre la escasez de rasgos similares al descrito. Número de ocurrencias semejantes en la región de estudio.	15	5	0
A3 Carácter de localidad tipo o Representatividad.	Informa sobre la cualidad del lugar para ilustrar adecuadamente las características del contexto Geológico. Estratigráfica, paleontológica, mineralógica, etc. Posibilidad del potencial geosítio para ser considerado representativo de un proceso geológico dado	10	0	0
A4 Extensión.	Extensión superficial del potencial geosítio en m ² . Este criterio considera que un geosítio es más importante mientras mayor sea su extensión. Pueden existir excepciones.	5	0	0
A5 Diversidad geológica.	Informa de la existencia de varios tipos de interés geológico en el mismo lugar. Número de elementos de interés geológico que se presentan en el potencial geosítio (Petroológico, Volcanológico, Hidrogeológico, Geoquímico, etc.).	10	0	0
A6 Contenido Didáctico / Divulgativo.	Indica si el rasgo se presta con mayor o menor facilidad a la divulgación o ya se utiliza para este fin. Ilustra contenidos curriculares universitarios. Ilustra contenidos curriculares de cualquier nivel del sistema educativo o está siendo utilizado en actividades didácticas universitarias. Está siendo utilizado habitualmente en actividades didácticas de cualquier nivel del sistema educativo. Indica si el rasgo se presta con mayor o menor facilidad a la divulgación o ya se utiliza para este fin.	5	5	0
A7 Asociación con otros elementos históricos o etnológicos (tradiciones).	Informa si el lugar goza además de otros elementos de interés no geológico, lo cual puede atraer un mayor número de visitantes. Presencia de ocurrencias consideradas patrimonio cultural (hallazgos arqueológicos, históricos, artísticos, etc.).	5	5	0
A8 Asociación con otros elementos del patrimonio natural.	Informa si el lugar goza además de otros elementos de interés no geológico, lo cual puede atraer un mayor número de visitantes. Presencia de ocurrencias de ejemplos particulares de flora y/o fauna.	5	5	0
A9 Estado de conservación.	Informa de la existencia de deterioro físico del rasgo. Condiciones de conservación del potencial geosítio en el momento de ser caracterizado. Indica la mayor o menor facilidad que ofrece el entorno para observar el rasgo.	5	5	0
A10 Vulnerabilidad Natural o Fragilidad.	Susceptibilidad del potencial geosítio a la evolución de los procesos naturales. Indica la facilidad de degradarse del lugar, por sus características intrínsecas (litología, naturaleza o dimensiones).	5	0	0

A11 Espectacularidad o belleza.	Informa de la calidad visual del rasgo. Amplitud de relieve alta o bien cursos fluviales caudalosos/grandes láminas de agua (o hielo) o bien variedad cromática notable. Considerar la singularidad visual de elementos geomorfológicos, calidad panorámica, diversidad de elementos, litología y tonalidades, presencia de vegetación y agua, ausencia de deterioro antrópico, altura y proximidad en relación a los objetos observados.	10	5	0
---------------------------------------	---	----	---	---

Cada parámetro es cuantificado en una escala ascendente de 1 a 5 (Tabla 3.2) para obtener un valor parcial ponderado (V_i).

Tabla 3.2: Valorización de los parámetros del Valor Intrínseco, cada uno es evaluado con un puntaje (1 a 5) según observaciones en terreno. Basado en la propuesta del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

A. Criterios Intrínsecos del Potencial Geosítio		
Parámetros	Puntaje	Opciones
A1 Grado de conocimiento científico	5	Citado en más de una tesis académica, capítulo de libro o artículos de revistas científicas
	4	Citado en tesis u otro tipo de publicación técnico científica
	3	Citado en artículo de revista nacional e informes o plan de manejo
	2	Citado en relatos técnicos o planes de manejo
	1	No existe alguna referencia sobre el lugar seleccionado
A2 Abundancia a nivel regional	5	Solo existe un ejemplo
	4	Existen 2 o 3 mejores ejemplos
	3	Existen entre 4 a 10 ejemplos
	2	Existen entre 11 a 20 ejemplos
	1	Existen más de 20 ejemplos
A3 Lugar tipo Representatividad	5	Reconocido como lugar tipo
	3	Lugar tipo secundario
	1	No es reconocido como lugar tipo
A4 Extensión	5	Superior a 1.000.000 m ²
	4	100.000-1.000.000 m ²
	3	10.000-100.000 m ²
	2	1.000-10.000 m ²
	1	Menor a 1.000 m ²
A5 Diversidad de elementos geológicos	5	Se observan 4 o más elementos geológicos
	4	Se observan 3 elementos geológicos
	3	Se observan 2 elementos geológicos
	2	Solo se observa 1 elemento geológico
	1	No se aprecia ningún elemento geológico
A6 Capacidad Didáctica	5	Muy útil e ilustrativo. Es posible usarlo para fines didácticos para cualquier tipo de público
	4	Buena utilidad pedagógica para persona con conocimientos básicos
	3	Puede ser utilizados para fines didácticos
	2	Baja utilidad pedagógica

	1	Sin interés pedagógico
A7 Asociación con elementos de índole cultural	5	Existe en el lugar o en las inmediaciones evidencias de interés arqueológico o de otro tipo
	4	Existe evidencia arqueológica o de otro tipo
	3	Existen vestigios arqueológicos
	2	Existen elementos de interés no arqueológico
	1	No existen elementos de interés cultural
A8 Asociación con elementos del medio natural	5	Fauna y flora de importancia por su abundancia, o presencia de especies de especial interés
	3	Presencia de flora y fauna de interés moderado
	1	Ausencia de elementos naturales de interés
A9 Estado de conservación	5	No hay daño visible, bien conservada
	4	Deterioro leve, pero aún mantiene las características geológicas esenciales
	3	Dañado, pero preserva las características geológicas esenciales
	2	Dañado como resultado de procesos naturales
	1	Muy deteriorada como resultado de actividades humanas
A10 Estético o Paisajístico	5	Considerar la singularidad visual de elementos geológicos, calidad panorámica, diversidad de elementos, litología y tonalidades, presencia de vegetación y agua, ausencia de deterioro antrópico, altura y proximidad en relación a los objetos observados.
	3	
	1	
A11 Vulnerabilidad natural o Fragilidad	5	La evolución natural del lugar no afecta al potencial geosítio
	3	La evolución natural puede afectar, más sin perder lo importante
	1	La evolución de los procesos naturales causa daños graves

El valor ponderado V_i se obtiene una vez evaluado cada criterio del valor intrínseco, mediante la siguiente fórmula 1:

$$V_i = \frac{1}{50} [25x(A1) + 15x(A2) + 10x(A3 + A5 + A11) + 5x(A4 + A6 + A7 + A8 + A9 + A10)]$$

donde [A1-A11] son los parámetros y los factores corresponden a las ponderaciones mencionadas anteriormente.

3.1.2. Valor Potencial de Uso (V_u)

Evalúa las características potenciales con las que cuenta un lugar para ser visitado por la comunidad en general. Al igual que el criterio anterior, considera diez parámetros de valoración [B1-B10] a los que otorga una ponderación científica, recreativa y de protección (Tabla 3.3).

Tabla 3.3: Descripción de los parámetros del Valor potencial de Uso y su respectiva ponderación Científica, Recreativa y de Protección. Basado en la propuesta del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

PARÁMETRO DE VALORACIÓN	DESCRIPCIÓN	Pond. Científica	Pond. Recreativa	Pond. Protección
B1. Posibilidad de realizar actividades.	Informa sobre si el lugar cumple las condiciones para la realización de actividades de ocio o recreativas, o si ya se utiliza para este fin. Ligado también a la potencialidad de uso. Posibilidad de actividades turísticas y/o recreativas. Existencia de actividades organizadas.	0	15	5
B2. Condiciones de Observación.	Se privilegian los LIG con las mejores condiciones de observación, donde se puedan apreciar las características de interés. Incluso con algún elemento que impida observar el lugar en su integridad. Preferentemente donde sea perfectamente observable en su totalidad y con facilidad.	0	15	5
B3. Accesibilidad.	Prioriza los LIG con mejor disponibilidad de acceso. Este criterio está ligado a una mayor facilidad para la llegada de público, dejándolo propenso a ser destruido por actos vandálicos.	0	10	5
B4. Grado de dificultad del acceso.	Se refiere a los geositos que requieren de alguna exigencia física en la caminata para poder acceder a ellos.	0	5	5
B5. Cercanía o Proximidad a zonas recreativas o de población.	Indica la presencia de zonas de recreo o turísticas cerca del lugar. Ligado tanto al número potencial de visitas y, por contra, a una mayor posibilidad de actos de vandalismo. Lugar situado a menos de 5 Km de áreas recreativas (campings, playas, etc.). Lugar situado a menos de 2 Km de un área recreativa. Lugar situado a menos de 500 m de un área recreativa	0	5	5
B6. Densidad de población.	Ligado al número potencial de visitas pero, por contra, a la mayor posibilidad de actos de vandalismo. Densidad de población (demanda potencial inmediata). Menos de 200.000 habitantes en un radio de 50 Km. Entre 200.000 y 1.000.000 habitantes en un radio de 50 Km. Más de 1.000.000 habitantes en un radio de 50 Km.	0	5	5
B7. Entorno socioeconómico.	Informa sobre las condiciones socioeconómicas de la comarca, que pueden favorecer la utilización del lugar como factor de desarrollo local.	0	5	0
B8. Uso Actual.	Se privilegian aquellos geositos con algún tipo de protección legal.	0	5	0
B9. Riesgo de Tsunami.	Informa de la probabilidad o riesgos en caso de Tsunami.	0	0	5
B10. Posibilidad de recolectar muestras.	Prioriza el lugar que presenta capacidad de colección de muestras, sin comprometer el recurso o integridad del patrimonio geológico identificado. Yacimiento paleontológico o mineralógico con escaso valor. Yacimiento paleontológico o mineralógico de gran valor, con numerosos ejemplares y fácil expolio. Yacimiento paleontológico o mineralógico, con escasos ejemplares y fácil expolio.	0	0	10

Cada parámetro es cuantificado (Tabla 3.4) para obtener un valor parcial ponderado (V_u).

Tabla 3.4: Valorización de los parámetros del Valor potencial de Uso, cada uno es evaluado con un puntaje (1 a 5) según lo observado en terreno. Basado en la propuesta del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

B. Criterios del Potencial Uso del Geosítio		
Parámetros	Puntaje	Opciones
B1 Posibilidad de realizar actividades	5	Es posible realizar actividades científicas y pedagógicas
	3	Es posible realizar actividades científicas o pedagógicas
	1	Es posible realizar otro tipo de actividades
B2 Condiciones de observación	5	Óptimas, pueden ser observadas e identificadas sin dificultad
	4	Buena para todas las características geológicas relevantes
	3	Razonables, buena visibilidad pero hay que moverse alrededor para una observación completa
	2	Limitada por árboles o vegetación
	1	Deficientes
B3 Accesibilidad	5	Acceso por bus en rutas nacionales o locales y a menos de 100 m del camino
	4	Acceso por auto en rutas locales en buen estado y a menos de 500 m del camino
	3	Acceso por 4x4 y a menos de 500 m de camino o huella
	2	Acceso a pie a más de 500 m desde el vehículo
	1	Acceso a pie a más de 1 Km desde el vehículo
B4 Grado de dificultad del acceso	5	Bajo, para cualquier persona
	4	Mediana-Bajo, para personas afines con caminatas
	3	Medio, Personas con buen estado físico y con cierta práctica de montaña
	2	Difícil, Personas con buen estado físico y con experiencias de caminatas de media montaña
	1	Muy difícil, personas con experiencias en caminatas de alta exigencia y/o solo con equipos especiales
B5 Proximidad a centros poblados	5	Existe una población con más de 10000 habitantes y oferta de servicios variada a menos de 1 Km
	4	Existe una población con más de 10000 habitantes y oferta de servicios variada a menos de 3 Km
	3	Existe un población con oferta de servicios entre 3 y 10 Km
	2	Existe un población con oferta de servicios entre 10 y 20 Km
	1	Sólo existe un población con oferta de servicios a más de 30 Km
B6 Número de habitantes de la comuna	5	Más de 100.000 habitantes
	4	Entre 50.000 y 100.000 habitantes
	3	Entre 25.000 y 50.000 habitantes
	2	Entre 10.000 y 25.000 habitantes
	1	Menos de 10.000 habitantes
B7 Condiciones socio-económicas	5	El nivel de rendimiento per cápita y de educación del área son superiores a la media regional
	3	El nivel de rendimiento per cápita y de educación del área es equivalente a la media regional
	1	El nivel de rendimiento per cápita y de educación del área es menor a la media regional
B8 Uso Actual	5	Promovido y usado como lugar de interés geológico
	4	Promovido y usado como lugar de interés natural o cultural
	3	Promovido y usado como lugar de interés paisajístico
	2	Sin divulgación, pero es usado
	1	Sin divulgación ni uso

B9 Peligro Tsunamis	5	Nulo
	4	Bajo
	3	Moderado
	2	Alto
	1	Muy Alto
B10 Posibilidad de recolectar objetos	5	Posible la recolección de rocas, fósiles y minerales sin dañar al lugar seleccionado
	4	Posible la recolección de rocas, fósiles o minerales sin dañar al lugar seleccionado
	3	Posible recolección de alguna muestra, pero con restricciones
	2	Posible recolección de algunas muestras, pero perjudicando al lugar seleccionado
	1	No es posible recolectar muestras

Al igual que en el caso anterior y mediante la fórmula 2:

$$Vu = \frac{1}{50} [15x(B1 + B2) + 10x(B3) + 5x(A1 + A2 + A6 + A7 + A8 + A9 + A11 + B4 + B5 + B6 + B7 + B8)]$$

donde [B1-B10] son los parámetros y los factores, las correspondientes ponderaciones mencionadas anteriormente. Se obtiene el resultado parcial del Valor del Potencial Uso (Vu). Éste último será evaluado, junto con los otros dos criterios, como será explicado en el siguiente apartado.

3.1.3. Valor Necesidad de Protección (Vp)

El Valor de Protección evalúa las amenazas o riesgos potenciales que afectan a un geositio. Al igual que en los criterios anteriores, considera cinco parámetros de valoración [C1-C5] a los que otorga una ponderación científica, recreativa y de protección (Tabla 3.5).

Tabla 3.5: Descripción de los parámetros del Valor de Protección y su respectiva ponderación Científica, Recreativa y de Protección. Basado en la propuesta del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

PARÁMETRO DE VALORACIÓN	DESCRIPCIÓN	Pond. Científica	Pond. Recreativa	Pond. Protección
C1 Amenazas actuales o potenciales	Este indicador pretende validar el daño del geositio asociado al desarrollo de expansión poblacional, urbanística, industrial, etc.	0	0	10
B2. Situación legal actual	Se privilegian los LIG que poseen algún tipo de protección legislativa. Lugar situado en parques nacionales o naturales, reservas naturales u otra figura con plan de ordenación y guardería. Lugar con figura de protección no sujeta a plan de ordenación y sin guardería, también bienes de interés cultural en razón a su contenido paleontológico/arqueológico. Lugar situado en suelo rural preservado de su transformación mediante la urbanización, por la ordenación territorial y urbanística. Lugar carente de figura alguna de protección.	0	0	10

C3. Interés por la Extracción	Sustancia con escaso o sin interés, y sin explotaciones en la zona. Sustancia de escaso o moderado interés y de la que ya hay explotaciones en la zona. Sustancia de gran interés y de la que ya hay explotaciones. Sustancia de gran interés y de la que no hay explotaciones en la zona.	0	0	10
C4 Régimen de Propiedad	Informa sobre el dueño de la propiedad del terreno. Se priorizan LIG en suelo público	0	0	10
C5. Fragilidad	Este criterio privilegia los LIG que presentan mayor capacidad de resistencia a la intervención humana o antrópica.	0	0	15

Cada parámetro es cuantificado (Tabla 3.6) para obtener un valor parcial ponderado (V_p).

Tabla 3.6: Valorización de los parámetros del Valor de Protección, cada uno es evaluado con un puntaje (1 a 5) según lo observado en terreno. Basado en la propuesta del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

C. Criterios de Necesidad de Protección del Geosito		
Parámetros	Puntaje	Opciones
C1 Amenazas actuales o potenciales	5	Zona rural, no sujeta a desarrollo urbano o industrial ni a construcción de infraestructuras y sin perspectiva de estar sometidas a tal
	3	Zona de carácter intermedio, no está previsto un desarrollo urbano industrial concreto, pero hay posibilidades en el futuro
	1	Zona incluida en área de expansión urbana e industrial
C2 Situación legal actual	5	Lugar dentro de un área protegida
	3	Lugar incluido en un área de protección legal
	1	Lugar sin ningún tipo de protección legal
C3 Interés por la extracción	5	Zona sin interés por la extracción
	4	Zona con potencial interés por la extracción
	3	Zona con reserva importantes de bajo valor, pero no está prevista su exploración inmediata
	2	Zona con interés para la extracción, en que está prevista la extracción
	1	Zona con gran interés para la extracción, con exploraciones y/o licencias activas
C4 Régimen de propiedad	5	Terreno del Estado
	4	Terreno de propiedad municipal
	3	Terreno parcialmente público y privado
	2	Terreno privado perteneciente a un solo propietario
	1	Terreno privado perteneciente a varios propietarios
C5 Fragilidad	5	Aspecto geomorfológico que por su tamaño es difícilmente afectado de manera importante por actividades humanas
	4	Grandes estructuras geológicas afectadas por actividades humanas pero por su magnitud su destrucción es poco probable
	3	Sitio que puede ser destruido en parte por intervenciones humanas no muy intensivas
	2	Sitio que puede ser fácilmente destruido por intervenciones humanas poco agresivas
	1	Sitios pequeños, afloramiento de minerales o afloramiento fosilífero que pueden ser destruidos por pequeñas intervenciones humanas debido a su fácil depredación

Para conocer la ponderación del Valor de Protección (V_p), se sigue el mismo procedimiento que en los dos criterios anteriores, mediante la fórmula 3:

$$V_p = \frac{1}{50} [15x(C5) + 10x(B10 + C1 + C2 + C3 + C4) + 5x(B1 + B2 + B3 + B4 + B5 + B6 + B9)]$$

donde [C1-C5] corresponden a los parámetros evaluados y los factores, a las correspondientes ponderaciones mencionadas anteriormente. Se obtiene un valor ponderado parcial para los tres criterios de valoración.

Finalmente, y una vez obtenidos los tres resultados para cada criterio, la cuantificación final (Q) corresponde a la sumatoria de los tres criterios mencionados con anterioridad.

$$Q = \sum Vi + Vu + Vp$$

Según la propuesta de Brilha (2005) para conocer la importancia a nivel internacional/nacional se deben ponderar los tres criterios mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{2Vi + Vu + 1,5Vp}{3}$$

En caso que un geosítio no cumpla con ciertas condicionantes, entraría a la categoría de lugar de interés Regional o Local, según:

$$Q = \frac{Vi + Vp + Vc}{3}$$

Donde Q es la cuantificación final de la relevancia del geosítio y Vi , Vp y Vu , los valores parciales de cada uno de sus criterios.

3.2. Caracterización de los geosítios

El trabajo consistió en la revisión de material bibliográfico sobre la zona de estudio, y el reconocimiento y caracterización geológica en terreno de lugares de interés geológico o turístico conocidos por la comunidad. La cuantificación de cada uno de ellos se realizó mediante fichas evaluativas basadas en la propuesta de Brilha (2005) y el IGME (Carcavilla y otros, 2007) para la conservación del patrimonio geológico.

4. MARCO GEOLÓGICO LOCAL

En la zona de estudio se identificaron diferentes unidades (Figura 4.1), como las que conforman el basamento metamórfico paleozoico y las intrusivas de la misma edad (Hervé, 1977), así como también rocas sedimentarias continentales y marinas con edades que van desde el Triásico al Cuaternario (Ferraris, 1981).

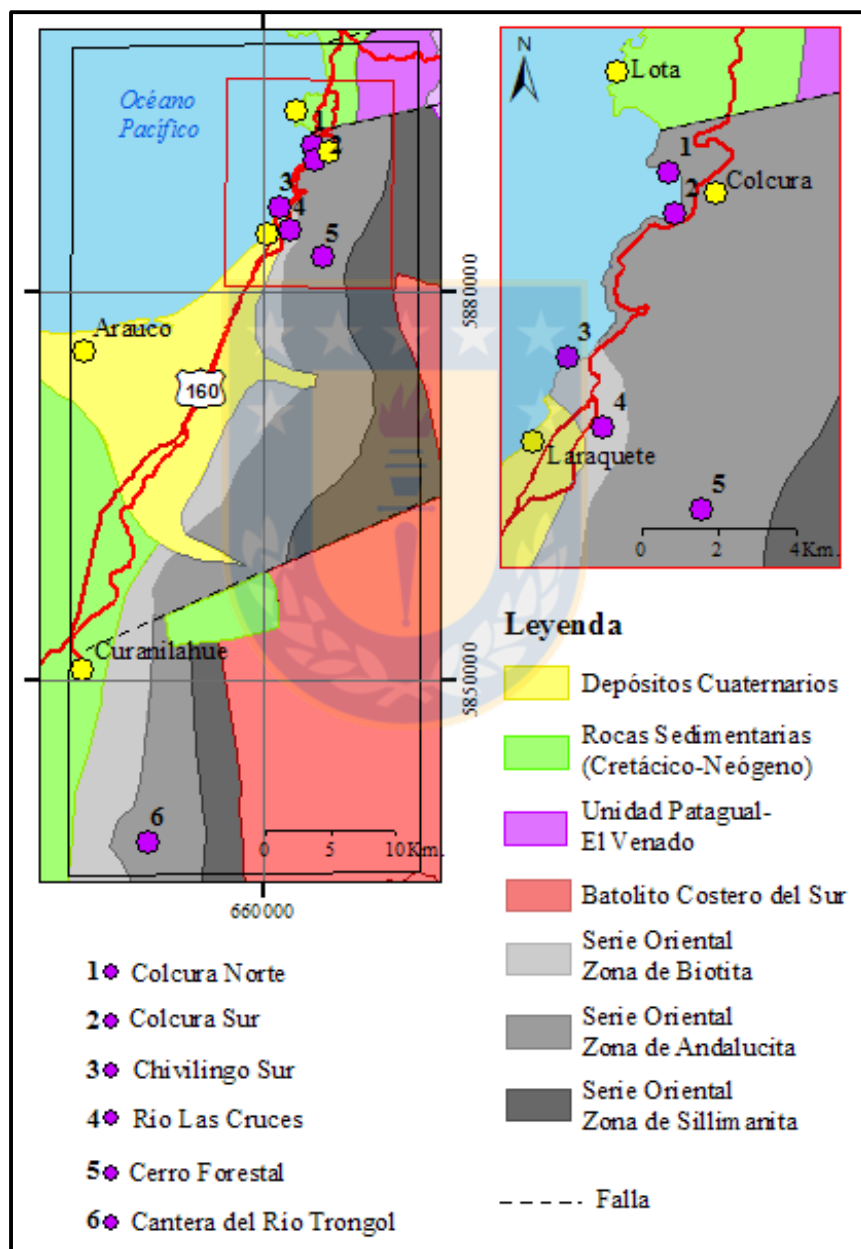


Figura 4.1: Mapa geológico del área y geositos propuestos. Escala 1:600.000. Modificado de Mapa Geológico de Chile, SERNAGEOMIN (2003)

4.1. Basamento Metamórfico

Las rocas metamórficas paleozoicas aparecen de manera discreta en la zona norte de Chile hasta los 34° S, donde esta discontinuidad desaparece casi por completo y es reemplazada por un cinturón con orientación N-S que se presenta prácticamente ininterrumpido desde esta latitud hasta los 42°S (González-Bonorino y Aguirre, 1970). Presentan un metamorfismo regional de contacto generado por la intrusión del Batolito Costero conservando, en algunos sectores, relictos de un metamorfismo previo de tipo regional (Vásquez, 2001).

Godoy (1979) y Aguirre y otros (1972) proponen dividirlo en: Serie Oriental y Serie Occidental, ambas interpretadas como un cinturón metamórfico pareado (Aguirre y otros, 1972; Willner y otros, 2005b) y genéticamente relacionadas. Aunque la edad del complejo ha sido difícil de determinar, dataciones en circones detríticos de ambos protolitos acotan la edad de depositación la S. Oriental a 345 Ma y para la S. Occidental a 307 Ma (Hervé y otros, 2013).

A gran escala, el contacto entre las series se reconoce como una discontinuidad cortical debido a los contrastes litológicos, evidenciado por las metabasitas, metagrauvacas y serpentinitas (entre otros) de la Serie Occidental y las metagrauvacas de la Serie Oriental. A escala local (del orden de kilómetros), es de carácter transicional o por falla (Vásquez 2001). A los 35°30'S, se manifiesta con una línea de tendencia NW-SE delimitada por la isógrada de biotita (Hervé, 1977).

A lo largo de la Cordillera de Nahuelbuta, las rocas metamórficas mantienen hacia el este un contacto migmatizado con los granitoides del Batolito Costero del Sur, por ejemplo al este de la localidad de Caramávida. Hacia el oeste, en el sector de Arauco, finalmente en las rocas metamórficas son cubiertas ampliamente en inconformidad por depósitos terciarios. En los distintos valles que surcan la Cordillera de Nahuelbuta, las rocas metamórficas están cubiertas en discordancia erosiva angular por depósitos fluviales no consolidados de edad Cuaternario (Vásquez, 2001).

4.1.1. Serie Oriental

Está compuesta por secuencias metasedimentarias pelíticas-areníticas, las que presentan estructuras primarias bien preservadas y reconocibles, correspondientes a sucesiones de origen turbidítico; se acompaña de secuencias menores de lentes y venas calcosilicatadas (Hervé y otros, 2007). El protolito de la Serie Oriental representa una secuencia detrítica de origen continental depositada en una plataforma de antearco (Hervé, 1988).

La intrusión del batolito generó metamorfismo regional de contacto y una zonación mineralógica a medida que se aproxima al intrusivo, reconociéndose tres zonas: de biotita, andalucita y silimanita (Hervé, 1988). El grado de metamorfismo, estimado a partir de las asociaciones mineralógicas, llega hasta la facies anfibolita o granulita inferior, con temperaturas de 650°-700°C y presiones de 4 a 6 kbar (Hervé, 1977). Por tanto, la Serie Oriental es considerada como el miembro de bajo P-alto T.

La Zona de Biotita está compuesta por una alternancia de metagrauwacas y filitas con cantidades menores de rocas calcosilicatadas. Las metapelitas poseen porfiroblastos de biotita, con cuarzo, albita, epidota, clorita, mica blanca y cantidades menores de granate; las rocas calcosilicatadas tienen agregados granoblásticos de cuarzo, clorita, granate y actinolita (Hervé, 1977).

En la Zona de Andalucita, se observan filitas y rocas granoblásticas (cuarzo, oligoclasa, mica blanca y biotita) con porfiroblastos que aumentan de tamaño al acercarse al intrusivo (Vásquez, 2001).

Las rocas de la Zona de Silimanita principalmente son gneises con alto contenido de micas, tienden a ser agregados homeoblásticos (los minerales constituyentes de la roca tienen aproximadamente el mismo tamaño) de cuarzo, oligoclasa, feldespato potásico, biotita y mica blanca, además de los cristales de silimanita (Vásquez, 2001).

4.1.2. Serie Occidental

Está compuesta principalmente por esquistos semipelíticos, esquistos de metabasitas, en parte con contenido de hierro y pequeños cuerpos de serpentinita (Hervé, 1988). El protolito de esta serie está representado por una mezcla entre sedimentos siliciclásticos provenientes del continente depositados en el fondo oceánico y secciones desmembradas de la parte superior de la corteza oceánica (Hervé y otros, 2007). Ha sido interpretada como una transición desde depósitos de cuenca de antearco deformados en el este, a un complejo acrecional hacia el oeste (Hervé, 1988; Martin y otros, 1999), con una edad del protolito cercana a los 470 Ma (Hervé y otros, 2013).

Representa el miembro de alto P-bajo T dentro de los cinturones metamórficos pareados, con un incremento del metamorfismo hacia el oeste. La facies predominante es la de esquistos verdes, con un desarrollo local de la facies esquistos azules evidenciado por la presencia de crosita, glaucófano, zusmanita y lawsonita (Hervé y otros, 1984), lo que indica las zonas que sufrieron el mayor peak de presión. Las condiciones de metamorfismo para esta serie van desde los 8-9 Kbar y unos 350°-

420° C, hasta unos 10-14 Kbar (Hervé y otros, 2007); niveles de presión altos necesarios para la formación de los minerales nombrados, representados por la facies esquistos azules.

Dos eventos metamórficos afectan las rocas del basamento metamórfico: el primero un metamorfismo regional de bajo grado y de medio P/T (Vásquez, 2001), en donde se forman filitas y esquistos de micas, con facies desde esquistos verdes a anfibolita, evidenciado por la presencia de porfiroblastos de biotita, granate y estauroлита (Hervé, 1977). Como consecuencia, a nivel regional se produce acortamiento horizontal y deformación en la parte profunda de la cuña lo cual origina foliaciones S_0 , paralela a la estratificación original de la secuencia sedimentaria y S_1 , no reconocido u obliterado (Richter y otros, 2007). Este evento se relaciona con la Acreción Frontal (Glodny y otros, 2005) (Figura 4.2).

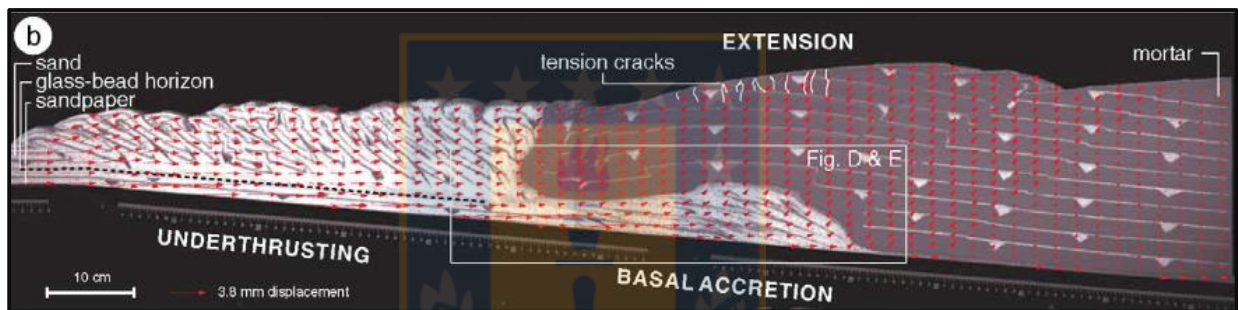


Figura 4.2: Modelo de la caja de arena para acreción frontal y basal. Simula lo ocurrido, durante el metamorfismo regional, con la cuña de acreción. Formación de un dúplex antiform por la Acreción Basal, y el pliegue y repliegue producto de la Acreción Frontal. Extraído de Glodny y otros, 2005.

El segundo, está asociado a la Acreción Basal e intrusión del Batolito Costero Sur, que produce un metamorfismo de contacto de bajo P/T (Vásquez, 2001; Glodny y otros, 2005), que se sobre impone al primero y extiende aproximadamente 20 a 30 Km paralelo al borde del intrusivo, en forma de una aureola de contacto. Durante esta fase de metamorfismo las rocas fueron acrecionadas basalmente bajo la cuña, se produjo acortamiento vertical y el desarrollo de la foliación subhorizontal S_2 -dominante en el área de estudio- debido a la subhorizontabilidad de los pliegues por la intensa deformación y volcamiento (Richter y otros, 2007).

Cambios graduales entre las Acreciones Frontal y Basal, darán como resultado que las foliaciones sean paralelas entre ellas.

4.2. Batolito Costero del Sur (BCS)

Corresponde a una serie de granitoides calcoalcalinos que se emplazaron en un restringido periodo de tiempo 300-320 Ma (Hervé y otros, 2013) de edad Carbonífero tardío (Pensilvaniano) y dimensiones batolíticas que se distribuyen a lo largo de la Cordillera de la Costa entre las latitudes 33°S hasta los 40°S, en una franja NNE-SSW (Hervé, 1977; Deckart y otros, 2014).

Compuesto principalmente por tonalitas, granodioritas y dioritas, con cantidades menores de gabros y granitos, está intruído por diques y stocks andesíticos y dacíticos (Hervé, 1977; Creixell, 2001). Las rocas son de textura de grano grueso y, en menor cantidad, de grano medio. La litología presenta zonación lateral, en la que las granodioritas y tonalitas forman la parte central del batolito y hacia los márgenes dominan las composiciones más diferenciadas, como por ejemplo algunos cuerpos pegmatíticos y granitos de biotita y muscovita. Estos últimos contienen además granate, cordierita y silimanita como minerales accesorios (Hervé, 1977).

En el contacto con la Serie Oriental hay franjas de migmatitas con bandas gneísicas de silimanita, las cuales son paralelas a la estructura regional de la roca caja. Los xenolitos metamórficos (metapelitas y anfibolitas) son también más abundantes hacia los márgenes. La mineralogía esencial de los granitoides es plagioclasa, feldespato alcalino, cuarzo, biotita y hornblenda. La presencia de fenocristales de microclina es una característica común a gran parte de los granitoides del batolito (Hervé, 1977).

El BCS intruye a la Serie Oriental del Basamento Metamórfico, generando tres zonas de metamorfismo de contacto, mencionadas en la sección 4.1.1. Evidencias texturales y geocronológicas sugieren que la intrusión fue aproximadamente contemporánea al segundo episodio de deformación que sufrieron las rocas de la Serie Oriental (Hervé, 1977; Hervé y otros, 1987).

Con respecto a las relaciones con unidades estratificadas, en el sector norte del área estudiada, el BCS está cubierto inconformemente por rocas sedimentarias de edad Triásico Superior de la Formación Santa Juana (Cucurella, 1978); y hacia el sur, por rocas sedimentarias terciarias y depósitos fluviales cuaternarios.

4.3. Unidad Patagual – El Venado

Las rocas de los Estratos Patagual corresponden a una secuencia de rocas siliciclásticas de grano fino que se caracterizan por la intercalación de fangolitas de color gris claro a gris verdoso en roca fresca y areniscas de grano medio a fino de colores similares a las fangolitas, con colores de alteración pardo amarillento a pardo rojizo.

Se define como una cuenca de retro cuña, que actúa durante la acreción basal de la Serie Occidental bajo la Serie Oriental. Este mecanismo de apilamiento tectónico provoca acumulación de material en la base del prisma. Lo anterior provoca el alzamiento de las rocas sobreyacentes formando una superficie elevada, la que genera a su vez una carga tras de ella, causando subsidencia flexural. Así se forma una depresión (Cuenca Patagual), por lo que se supone que su edad máxima es post Pérmico Inferior (comienzo de la acreción basal) y su edad mínima pre Nórico, debido a la relación de contacto discordante con Formación Santa Juana (Mardonez y otros, 2012).

4.4. Secuencias sedimentarias del Triásico

4.4.1. Formación Santa Juana

Observada por Tavera (1960), quien definió tres miembros al este del Río Biobío, las cuales de base a techo son: Miembro continental Quilacoya con mantos de carbón, abundantes plantas y excepcionalmente fauna tipo *Unio* sp.; Miembro marino Unihue de litología arcillosa con intercalaciones de arenisca, en la cual el autor menciona la presencia de contenido faunístico junto con impresiones de plantas; y finalmente una sección límnic superior, el Miembro Talcamávida-Gomero, caracterizada por arcillas arenosas y areniscas finas, con contenido fosilífero de flora. De acuerdo al contenido faunístico de las rocas, este autor, le asigna una edad Cárnico inferior a Rético. Posteriormente, Cucurella (1978), en un estudio geológico radiométrico del área, agrega un miembro basal y subdivide estas rocas en 4 miembros del Sistema Triásico: miembro 1 continental, compuesto por conglomerados de cuarzo y arcosas con un espesor aproximado de 200 m; miembro 2 continental, constituido por areniscas conglomerádicas, areniscas finas y lutitas, con pequeños niveles de carbón e invertebrados de agua dulce, con espesor estimado de 250 m; miembro 3 marino, formado por areniscas gruesas y arcillolitas con escasos restos vegetales y un espesor de 400 m; y miembro 4 de transición, conformado por lutitas negras, carbonosas, areniscas con intercalaciones conglomerádicas y brechas continentales, su potencia está estimada en 500 m.

Ferraris (1981), retoma la subdivisión de Cucurella (1978) y propone en la Hoja Los Ángeles-Angol, clasificar esta secuencia de rocas como Formación Santa Juana, sin embargo no le asignó localidad tipo y tampoco paratipo.

Finalmente, Nielsen (2005), realiza un estudio sedimentológico y propone un nuevo modelo de facies en la que toma en consideración las variaciones laterales en la cuenca, definiendo 8 facies: Facies 1, detritos de granitoide; Facies 2, conglomerados y arcosas; Facies 3, areniscas y limolitas; Facies 4, limonitas y fangolitas; Facies 5, lutitas negras; Facies 6, areniscas y limolitas; Facies 7, areniscas masivas y Facies 8, limolitas marinas. En base al contenido florístico le asigna una edad probable Cárnico.

4.5. Secuencias sedimentarias del Cretácico al Neógeno

4.5.1. Formación Quiriquina

Definida por Lajos Biró (1982), con localidad tipo en Bahía Las Tablas, al noroeste de la Isla Quiriquina y paratipo en Caleta Cocholgüe. Los principales afloramientos de esta unidad están en la Isla Quiriquina, aunque también aflora en el sector de Concepción, en Tomé, Dichato, Talcahuano y en el puerto de San Vicente (Salazar, 2004).

Estratigráficamente, corresponde a una secuencia sedimentaria marina, conformada por un conglomerado basal y areniscas verdes fosilíferas (*Cardium* sp., *Pacitrignia* sp.) con concreciones calcáreas con ammonites (*Baculites* sp.) (Salazar y otros, 2003). El ambiente de depositación sugiere estadios típicos de una secuencia siliciclástica transgresiva con influencia de tormentas, desde el Intertidal hasta el Subtidal relativamente profundo. El espesor ha sido medido en su localidad tipo y paratipo 65 m y 45 m respectivamente (Salazar, 2004).

La Formación Quiriquina tiene un contacto por inconformidad sobre las rocas ígneas y metamórficas paleozoicas (Biró, 1982) y en discordancia con las capas arenosas del terciario (Gajardo, 1981).

4.5.2. Formación Curanilahue

Esta formación fue definida por Muñoz-Cristi (1946) dando como localidad tipo la zona de Curanilahue en la parte oriental de la meseta de Arauco. Define la unidad como una secuencia de sedimentos continentales, con intercalaciones marinas. Su potencia alcanza los 400 m y es dividida en tres miembros: Miembro Lota, basal continental, compuesto por areniscas, conglomerados

finos, lutitas y nueve mantos de carbón; Miembro Intercalación, formado por areniscas verdes fosilíferas depositadas en un ambiente marino costero; y Miembro Colico, secuencia superior de origen continental, también con presencia de mantos de carbón.

Los estratos están en inconformidad sobre las rocas metamórficas del Paleozoico y en pseudoconcordancia sobre las capas cretácicas de la Formación Quiriquina, concordante sobre la Formación Pilpilco y subyace o engrana, lateralmente, a las formaciones Boca Lebu y Trihueco (Martínez, 1968). A esta formación le fue asignada una edad Eoceno inferior, en base a la presencia de abundante flora en los miembros Lota y Colico (Muñoz-Cristi, 1968).

4.5.3. Formación Boca-Lebu

La Formación Boca Lebu fue definida por Muñoz-Cristi (1946), con su localidad tipo en la costa al oeste de Lebu. Está constituida por bancos de limolita arcillosa, limolita algo calcárea y niveles de concreciones calcáreas planas, con secciones de lutitas e intercalaciones arenosas. La estimación del espesor de la formación es de 650 metros y edad Eoceno inferior (García, 1968).

Las relaciones de contacto de esta formación son variables: en la parte este sobreyace de manera concordante a la Formación Curanilahue e infrayace de la misma manera a la Formación Trihueco.

4.5.4. Formación Millongue

La localidad tipo de esta formación está ubicada en la costa, al norte de Lebu, en la Punta Millongue, en donde afloran 270 metros de espesor, sin techo conocido. Definida por Muñoz-Cristi (1946), su litología está conformada por bancos de limolita arcillosa gris de 0,2 a 2 m de espesor, que se alternan con bancos más arcillosos y en parte calcáreos. Son bastante frecuentes en los sedimentos los restos vegetales carbonosos y niveles con trozos de madera carbonizada (García, 1968).

Esta formación es concordante con la Formación Trihueco. En lo que respecta a su edad, se le asigna un rango Eoceno medio - Eoceno superior en un ambiente marino.

4.5.5. Formación Ranquil

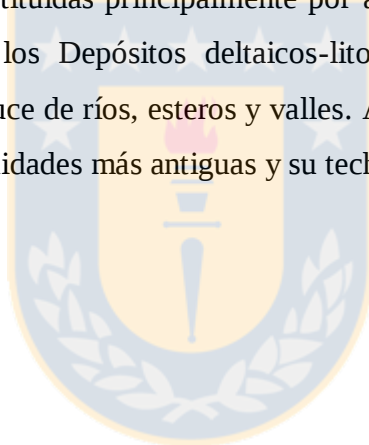
Fue definida por García (1968), a partir del “Piso de Ranquil” establecido previamente por Tavera (1942). La localidad tipo de esta formación está localizada en la costa de Arauco, en los alrededores de Caleta Ranquil, 11 kilómetros al norte de Lebu. Aflora en la costa desde Punta Millongue por

el sur, hasta el sector de Playa El Fraile por el norte. Su base no está expuesta, está conformada de una intercalación de niveles arcillolíticos y limolíticos centimétricos. En los sectores inferiores es reconocido un paraconglomerado con intraclastos de limolitas y areniscas finas, cercano a la playa El Cuco. Hacia el techo dominan las lutitas y areniscas finas grises, masivas, con presencia de fósiles traza y escapes de fluidos, intercaladas con capas de areniscas finas calcáreas de color claro, finamente laminadas con abundante materia vegetal entre sus láminas.

Según Nielsen y otros (2003) muestra una similitud entre las principales especies de foraminíferos en las Formaciones Navidad y Ranquil lo que sugiere una edad Tortoniano temprano.

4.6. Depósitos Cuaternarios

En el área estudiada se distinguen dos tipos de depósitos: Depósitos litorales que corresponden a terrazas marinas y playas constituidas principalmente por arenas y gravas de composición lítica con escasa compactación; y los Depósitos deltaicos-litorales que consisten en material no consolidado que rellenan el cauce de ríos, esteros y valles. Ambos de edad Pleistoceno-Holoceno cubren en discordancia a las unidades más antiguas y su techo es la actual superficie de erosión.



5. HISTORIA GEOLÓGICA

5.1. Historia Geológica

Desde el Cámbrico la Tierra, ésta ha tenido varias colisiones de *terrains* o bloques continentales. Dichos eventos se han clasificado como ciclos, por ejemplo desde fines del Cámbrico hasta el Devónico temprano (485-420 Ma), se desarrolla el Ciclo Tectónico Famatiniano, que se caracteriza por la colisión de Laurentia (*terrain* alóctono proveniente del norte con Gondwana, actual Sudamérica). Luego, desde fines del Devónico hasta el Pérmico temprano (370-300 Ma) se produce el Ciclo Gondwánico caracterizado por la colisión del bloque continental *Chilenia* según Ramos y otros (1986) y la formación de un arco magmático paralelo a la alta cordillera actual, producto de la subducción imperante en el borde occidental del supercontinente Gondwana (Charrier y otros, 2007).

Los productos de la erosión de estas cordilleras antiguas fueron depositados en un ambiente de plataforma de antearco (Hervé, 1977) a marino profundo (Cartes, 2004) originando sucesiones de tipo turbidítico que serán el protolito de la Serie Oriental -conformada principalmente por metapelitas y metarenitas-. Otros sedimentos continentales fueron depositados en el fondo oceánico junto con secciones de la parte superior de la corteza oceánica los cuales dan origen a la Serie Occidental (Hervé y otros, 2007). Las edades de depositación de los protolitos fueron determinadas mediante dataciones en circones detríticos y nos remontan hacia 345 millones de años para la Serie Oriental y 307 Ma. para la Serie Occidental (Hervé y otros, 2013).

Las rocas formadas (hace 305 Ma.) durante la subducción, sufrieron procesos metamórficos que se explican en el modelo esquemático de evolución del metamorfismo expuesto en la figura 5.1. Dichos procesos, como la Acreción Frontal, se tradujo en un metamorfismo regional de bajo grado, de temperaturas y presiones medias, responsable de la foliación subvertical S_1 y de orientación NNE-SSW en las secuencias metaturbidíticas. Los cambios en la presión y temperatura dieron origen a minerales metamórficos característicos de rocas pelíticas como el granate, biotita y estauroлита (Hervé y otros, 2013).

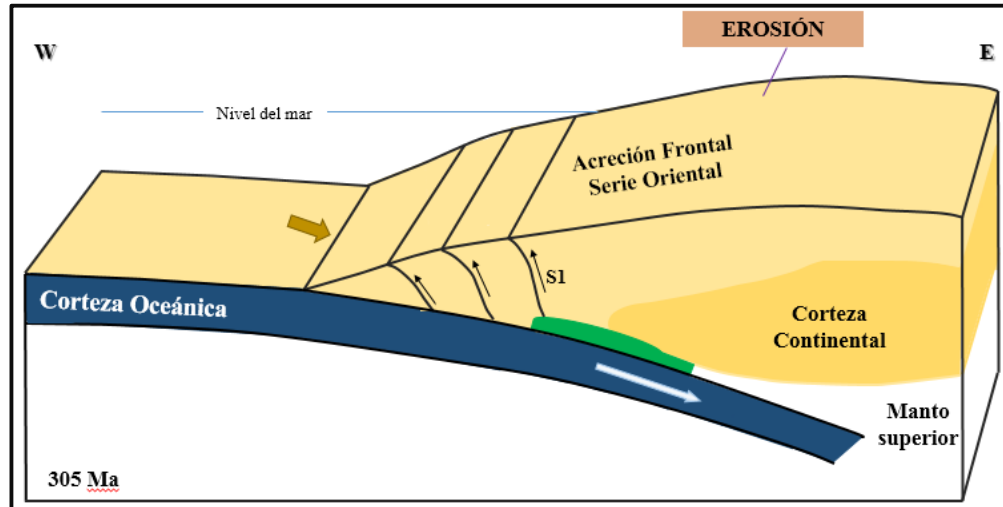


Figura 5.1: Modelo esquemático: después del inicio de la subducción. Formación de la Serie Oriental por empuje y Acreción Frontal de los sedimentos turbidíticos. Formación incipiente del complejo acrecionario basal (Serie Occidental), por el retorno del flujo desde el canal de subducción. Modificado de Glodny y otros (2008).

Posteriormente, la placa oceánica, que estaba pegada a la continental, empezó a incorporar parte de su material a la base de la corteza continental, de tal manera que por el empuje éste asciende dentro de la corteza. Dicho empuje provoca un nuevo plegamiento en las turbiditas, desarrollando en ellas líneas horizontales (Figura 5.2). Este segundo evento metamórfico, corresponde a la Acreción Basal responsable de la foliación S_2 subhorizontal que oblitera parcial o totalmente la foliación S_1 .

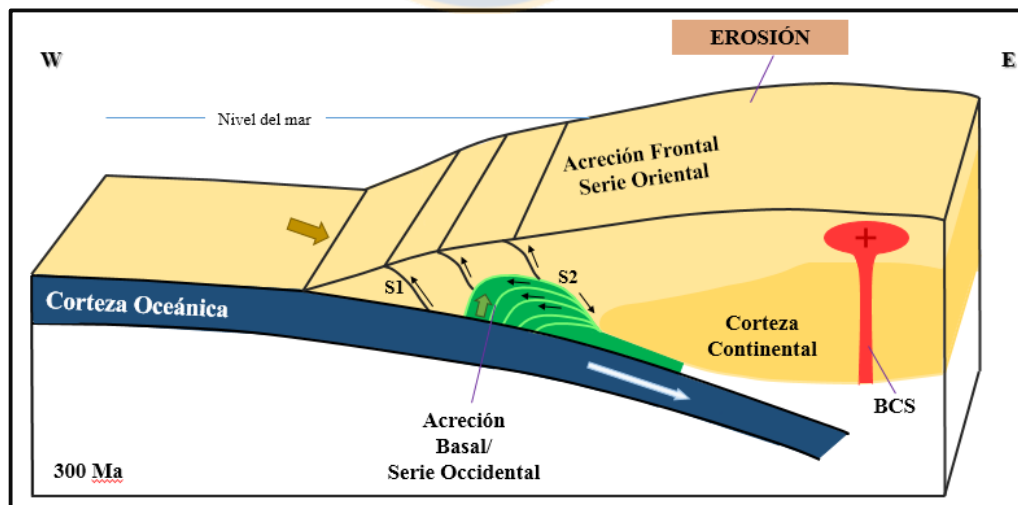


Figura 5.2: Modelo esquemático: crecimiento basal de la Serie Occidental contemporáneo a la intrusión del Batolito Costero del Sur. Continúa la deformación de la Serie Oriental. Modificado de Glodny y otros (2008).

Contemporáneo ocurre el emplazamiento del Batolito Costero del Sur durante el Carbonífero medio 300-320 Ma que produce un metamorfismo de contacto de baja presión y altas temperaturas (Hervé y otros, 2013). Este cuerpo magmático intruye a las rocas de la Serie Oriental, generando una aureola de contacto de alrededor de 30 Km en la que el grado metamórfico aumenta al acercarse al intrusivo, es decir desde el oeste hacia la cordillera (Figura 5.3). En dicha aureola se ubican tres zonas mineralógicas caracterizadas por Biotita, Andalcita y Silimanita (Hervé, 1977).

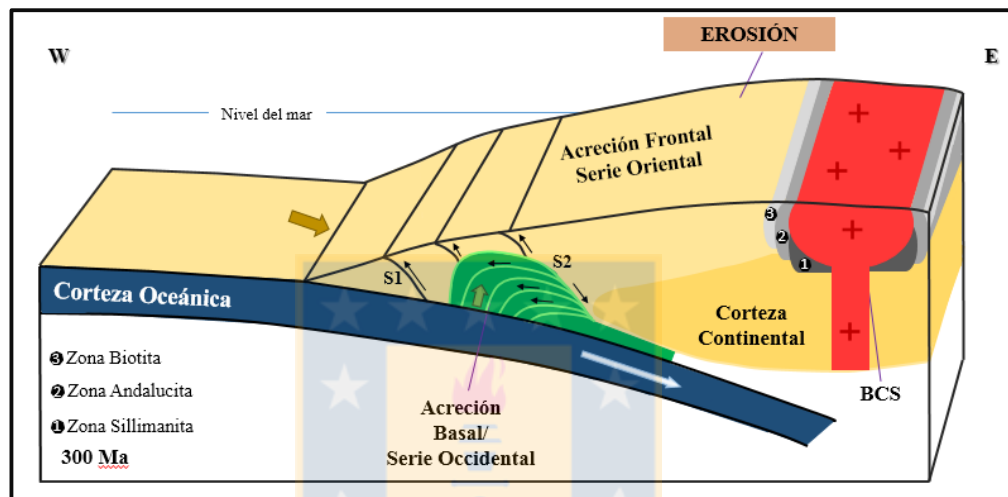


Figura 5.3: Modelo esquemático: batolito expuesto en superficie. Origina una aureola de contacto provocando zonación mineralógica. Continúa el crecimiento y erosión de la S. Oriental. Modificado de Glodny y otros (2008).

La Zona de Andalcita cobra un interés especial, puesto que es en ella donde se albergan -en su mayoría- los cristales de Quiastolita o Piedra Cruz. El patrón en forma de cruz observado en un corte transversal del cristal, se debe a impurezas carbonosas alojadas en el cristal cuando éste aún está en formación (Sección 5.2).

Cabe destacar que todas las rocas que afloran en este sector representan la retro-cuña del prisma de acreción (Willner, 2005) del Cinturón Metamórfico Pareado del Paleozoico tardío.

5.2. Formación de la Piedra Cruz

Su formación comenzó como un embrión microscópico, el que fue aumentando de tamaño con el incremento de la temperatura; como se observa en terreno, desde cristales microscópicos hacia la costa, hasta centimétricos hacia el intrusivo. La Andalcita corresponde a un nesosilicato de fórmula Al_2SiO_5 , polimorfo de la Silimanita y Cianita. Clasifica dentro del sistema Ortorrómbico,

en forma de cristales prismáticos de hábito sencillo de base cuadrada y de dimensiones centimétricas. En la escala de Mohs tiene una dureza 7.5 (Klein y Hurlbut, 1997), lo que lo hace un mineral muy resistente a la erosión. La Andalucita se formó dentro de las metapelitas durante el recalentamiento que éstas sufrieron por la acción del cuerpo intrusivo, siendo liberadas de la roca por la erosión.

La Quiastolita, es una variedad de la Andalucita que contiene partículas carbonosas ordenadas en direcciones particulares según la cristalografía del mineral hospedante. Este tipo de crecimiento se conoce como Inclusiones Controladas Cristalográficamente, debido a que la absorción de impurezas, por ciertas caras de los minerales, se realiza mediante los planos preferenciales de dicho mineral (Shelley, 2003). Las inclusiones se concentran en las cuatro zonas diagonales del prisma, ya que ahí hay más material para su crecimiento, incorporando con ello abundantes impurezas como por ejemplo el grafito, que es el material negro de la cruz. En las partes laterales el crecimiento fue más lento y por lo tanto el mineral tuvo tiempo para expulsar las impurezas de grafito (Figura 5.4a). A medida que se produce el crecimiento, las partículas se disponen en las interfaces del prisma. El resultado, puede ser un patrón en forma de cruz vista en una sección transversal del cristal (Figura 5.4b) (Shelley, 1993). En terreno, se encuentran en afloramientos de esquistos o micaesquistos y disgregada en placeres.

Posteriormente la erosión a la que estas rocas han estado expuestas durante millones de años, liberó las Quiastolitas contenidas en las metapelitas, ya que la piedra cruz es más resistente que la roca que las contiene, la cual se disgrega más fácilmente y por ende las libera.

5.3. Historia Geológica de Divulgación

La historia de un lugar puede ser reconstruida a partir de los elementos presentes en él. Como los ríos, montañas y rocas –que son los registros de las memorias de la Tierra-. Cuando hablamos de nuestro planeta tenemos que hacerlo en una escala de tiempo acorde a la larga historia que éste nos relata, incluso mucho antes que los humanos la habitáramos. Es así como nos remontamos hace millones de años, cuando Latinoamérica aún no adoptaba la posición y la forma en que hoy conocemos y la Cordillera de los Andes estaba en pleno proceso de formación.

El borde de nuestro continente, desde estos tiempos, ha tenido un carácter activo (es decir la placa oceánica se acomoda debajo de la continental) en un proceso que llamamos subducción, que ha jugado un rol importante en su configuración. El desarrollo de la cordillera y la erosión, por acción

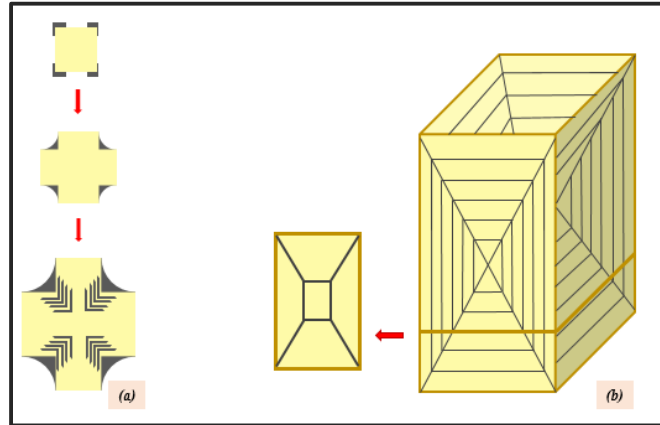


Figura 5.4: Esquema de la formación de la Quiastolita. (a) Impurezas carbonosas concentradas en los bordes y las esquinas formando el patrón típico de la Piedra Cruz. (b) Vista tridimensional de los planos ricos en impurezas. La sección de la cruz intersecta ocho planos para generar el patrón de la Quiastolita. Modificado de Shelley (2003).

del viento y agua, provocó que restos o sedimentos de esta estructura fueran transportados y depositados en el fondo del mar hace 345 millones de años. Una vez allí fueron sometidos a cambios de temperatura y presión, resultando las rocas que hoy observamos a lo largo de la costa, específicamente en la latitud de las playas de Colcura, Chivilingo y Laraquete (37°S). Allí afloran rocas con alternancia de bandas claras y oscuras; las primeras son ricas en cuarzo y las oscuras, en grafito y micas.

Después de la depositación, el choque de las placas tectónicas oceánica y continental provoca una fuerte compresión provocando el proceso llamado Metamorfismo Regional, que se traduce en el plegamiento de las rocas, colocándolas verticales cuando en un comienzo se depositaron de manera horizontal. Luego, la placa oceánica, incorpora parte de su material a la base de la placa continental haciendo que la mezcla de rocas suba dentro de la corteza por empuje, el cual vuelve a plegar las rocas que desarrollan líneas horizontales. Esto se puede apreciar claramente en el extremo norte de la Playa Colcura (Figura 5.5) donde se observan pliegues, sus ejes y estructuras características, algunas verticales y otras horizontales.

Al mismo tiempo que las rocas están plegándose y replegándose por la acción de los procesos metamórficos, se produce la intrusión de un cuerpo magmático de grandes dimensiones el cual causará un calentamiento en las rocas generando distintas zonas que pueden ser caracterizadas por

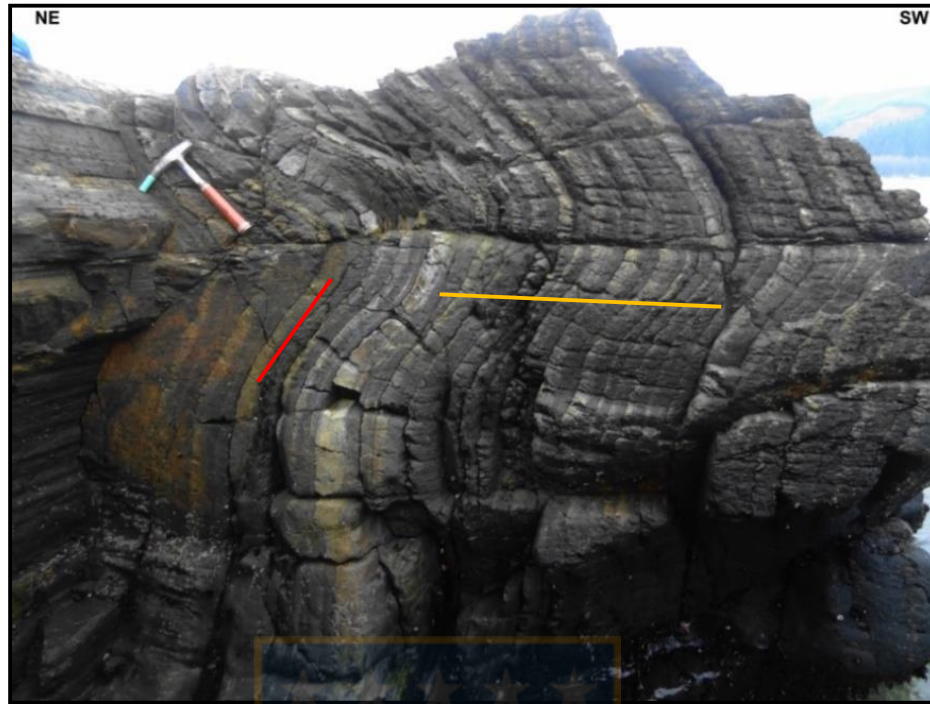


Figura 5.5: Colcura Norte: litología y estructuras. Alternancia de metapelitas (color oscuro) y metarenitas (color claro). Se observa foliación, en rojo, S_0/S_1 (subvertical) y obliterada por S_2 dominante (amarillo), paralelo a eje del pliegue y perpendicular a la estratificación.

minerales específicos. Se distingue la zona de Biotita, Andalucita y Silimanita. Es precisamente en la Zona de Andalucita donde se encuentran los cristales de Quiastolita, variedad de la Andalucita conocida como Piedra Cruz.

En las cercanías de la localidad de Laraquete, es posible recorrer lugares donde la tradición y recolección de la Piedra Cruz tiene un significado cultural y económico.

6. DESCRIPCIÓN DE LOS GEOSITIOS

En el área de estudio se consideraron seis Geositios, estos son: Colcura Norte, Colcura Sur, Chivilingo Norte, Río Las Cruces, Cerro forestal en Laraquete y Cantera del Río Trongol (Figura 4.1). A continuación se dará una breve descripción de ellos y se presentará la valorización y clasificación de los seis lugares propuestos mediante dos metodologías complementarias. La primera da mayor importancia a aspectos generales (Brilha, 2005); y la segunda, basada en la propuesta del IGME (Instituto Geológico y Minero de España), a criterios específicos. Ambas arrojan como resultado un Valor Q (o ranking) que permite comparar los Geositios entre ellos y/o clasificarlos según su interés internacional, nacional, regional o local.

6.1. Geosito 1: Colcura Norte

Aproximadamente 2 Km al sur de Lota y bordeando la costa por la Ruta 160 se encuentra la localidad costera de Colcura (Figura 6.1; Tabla 6.1), cuya playa con el mismo nombre es un centro de reunión y descanso con servicios básicos, gastronomía local y alojamiento. En época estival son comunes los festivales y actividades enfocadas en el turismo y reactivación económica de la comunidad dedicada principalmente a la pesca, al secado de algas artesanal y al turismo en época estival.

El buen estado de preservación de los rasgos litológicos, mineralógicos y estructurales le ha conferido a Colcura Norte el reconocimiento y descripción detallada en variadas publicaciones de documentos científicos. Si bien, el conocimiento de la edad y ambiente de formación de las rocas ha sido resultado de estudios petrológico-geoquímicos tanto en la zona como en otros sectores, las características de Colcura Norte la hacen destacable en relación a otros afloramientos, al poder observarse mejor, y la mayoría a escala de afloramiento, las evidencias de los procesos metamórficos y tectónicos que imperaban. Por ello, resulta un sitio muy ilustrativo y pedagógico. Por este motivo ha dado lugar a Colecciones docentes de cortes transparentes y muestras de mano en el Museo Geológico del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción.

Su acceso puede realizarse en locomoción colectiva o en vehículo particular, por la Ruta 160. Para llegar al geosito se debe tomar la Avenida Marihueño hasta el final. Este recorrido se debe hacer caminando por un sendero no recomendado para personas con algún tipo de problemas para



Figura 6.1: Mapa de acceso al Geosito Colcura Norte y Sur. Escala 1:40.000.

Tabla 6.1: Localización Colcura Norte.

UTM X: 663773	UTM Y: 5891491	Huso: 18 H
Geográficas Longitud: 73°16'W	Geográficas Latitud: 37°11'S	Datum: WGS 84

desplazarse. Desde ahí, hacia el extremo norte y después de atravesar la línea del tren se llega hasta la Población Los Aromos o también conocida como El Túnel, allí se baja hasta la playa por una pequeña senda que lleva hasta el afloramiento de una sucesión de metapelitas grises en alternancia con metarenitas amarillo grisáceo afectadas por metamorfismo regional de bajo grado y metamorfismo de contacto sobreimpuesto. Las rocas conservan sus planos de estratificación (S_0) en capas centimétricas subverticales (rumbo y manteo generalizado N50E/75SE). También presentan plegamiento a escala de afloramiento con diferente orden de magnitud.

Se distingue una estructura foliada de orientación subhorizontal, paralela a los ejes de pliegues, que es determinada como S_2 (Figura 6.2) y se reconoce otra foliación inferida como S_1 , la cual es paralela a la estratificación S_0 y es obliterada por la foliación S_2 (Hervé, 1977). S_1 sólo es inferida en algunos pliegues y con menor grado de certeza.



Figura 6.2: Alternancia de metapelitas de estaurolita grises y metarenitas amarillo grisáceo en el sector norte de la Playa Colcura. La geodiversidad consta de elementos como estratificación inicial (S_0), foliación S_1 (en rojo), foliación dominante S_2 (en amarillo), plegamiento, minerales indicadores del grado metamórfico como Estaurolita, Andalcita y Cuarzo de segregación.

Las metapelitas presentan predominantemente micas y las metarenitas, cuarzo. Además, la mineralogía consiste en porfiroblastos de estaurolita (1 cm de largo aprox.) alojadas preferentemente en las metapelitas. Su disposición al azar y la foliación más notoria rodeando a los cristales indicarían una relación tectónica post S_1 y pre S_2 . Existe también evidencia de andalucitas de hábito prismático de hasta 5 cm de largo con alto grado de alteración a sericita, cuya relación con las estructuras de deformación sugieren su formación post S_2 .

Las rocas expuestas en Colcura Norte y Colcura Sur constituyen parte de la Serie Oriental del Cinturón Metamórfico Pareado del Paleozoico tardío y representan la retro-cuña del prisma de acreción de Chile (Willner, 2005). La edad de depositación es 345 Ma, según Hervé y otros (2013). Y el rango de edad de los rasgos geológicos –Acreción basal y frontal- va desde el límite inferior 340 Ma. (Hervé, 1977) hasta >300 Ma. (Richter y otros, 2007). Las características litológicas indicadoras de metamorfismo regional, presencia de estructuras de deformación dúctil de primer orden y minerales típicos de metamorfismo de contacto constituyen un sitio de interés para las áreas escogidas.

Colcura Norte cuenta con varios intereses geológicos, el principal para este trabajo es el aporte que hace a la historia de la geología, además de los otros rasgos ya conocidos como: tectónico, mineralógico, petrológico-geoquímico, geocultural y paisajístico.

El primer criterio evaluado considera el Valor Intrínseco de Colcura Norte, la Tabla 6.2 muestra dicha evaluación.

Tabla 6.2: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Colcura Norte para el Valor Intrínseco.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
A1-Grado de conocimiento científico					X
A2-Rareza o Abundancia Regional					X
A3-Lugar tipo o representatividad					X
A4-Extensión	X				
A5-Diversidad de elementos geológicos					X
A6-Contenido Didáctico/Divulgativo					X
A7-Asociación con elementos culturales		X			
A8-Asociación con elementos naturales			X		
A9-Estado de Conservación					X
A10-Estético y paisajístico					X
A11-Vulnerabilidad o natural o Fragilidad			X		

El interés didáctico y pedagógico de Colcura Norte es reconocido por la comunidad, como ya se mencionó; el afloramiento ha sido objeto de estudio en diversos trabajos anteriores (Hervé, 1977; Vásquez, 2001). Es utilizado con fines pedagógicos en la asignatura de Petrología y Petrografía Metamórfica que se imparte en la Carrera de Geología de la Universidad de Concepción y es parte de la Ruta Geo-científica de Lota.

Es un lugar apto para grupos debido a que es de fácil acceso; se encuentra a 0,3 Km de la carretera asfaltada con estacionamiento de autobuses y turismo. La duración aproximada del recorrido, desde Concepción, es de una hora. Y cuenta con alojamiento y restaurantes con capacidad hasta 20 personas a menos de 25 Km.

Colcura Norte también es reconocido por su interés no geológico, desde él se puede observar la Bahía Colcura y está la posibilidad de avistar aves marinas. Una de las formaciones rocosas llamada “Piedra del León” forma parte de una leyenda lotina y se encuentra ubicada en este sector. El Fuerte de Colcura, Monumento Nacional, se encuentra a menos de 1 Km del Geositio

La evaluación de las características del Valor Potencial de Uso de Colcura Norte, se muestra en la Tabla 6.3 a continuación.

Tabla 6.3: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Colcura Norte para el Valor potencial de Uso.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
B1-Posibilidad de realizar actividades					X
B2-Condiciones de observación					X
B3-Accesibilidad					X
B4-Grado de dificultad de acceso					X
B5-Proximidad a centros poblados					X
B6-Número de habitantes de la comuna más cercana			X		
B7-Condiciones socio económicas			X		
B8-Uso actual					X
B9-Peligro de Tsunami	X				
B10-Posibilidad de recolección de muestras				X	

El Geosítio Colcura Norte se encuentra ubicado en un terreno público, urbano y carente de todo tipo de protección. Las características que enfatizan en el Valor Necesidad de Protección de dicho lugar se presentan en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Colcura Norte para el Valor de Protección.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
C1-Amenazas actuales o Potenciales			X		
C2-Situación legal actual			X		
C3-Interés por la extracción Minera					X
C4-Régimen de Propiedad					X
C5-Fragilidad o Vulnerabilidad				X	

Los datos obtenidos en terreno fueron los relacionados con mineralogía, litología y estructuras. Por bibliografía se adquirieron las edades e información de las estructuras. El Geosítio Colcura Norte es propuesto por el Dr. Oscar Figueroa, docente de la Universidad de Concepción.

A continuación se presentan algunos de los rasgos que se pueden observar en Colcura Norte. La Figura 6.3 muestra metapelitas con porfidoblastos de estauroлита Post S₁ y Pre S₂.



Figura 6.3: Porfiroblastos de estaurolita en metapelitas dispuestas al azar rodeadas por foliación S_2 en amarillo.

La Figura 6.4 muestra las estaurolitas en macla en forma de cruz en las metapelitas.

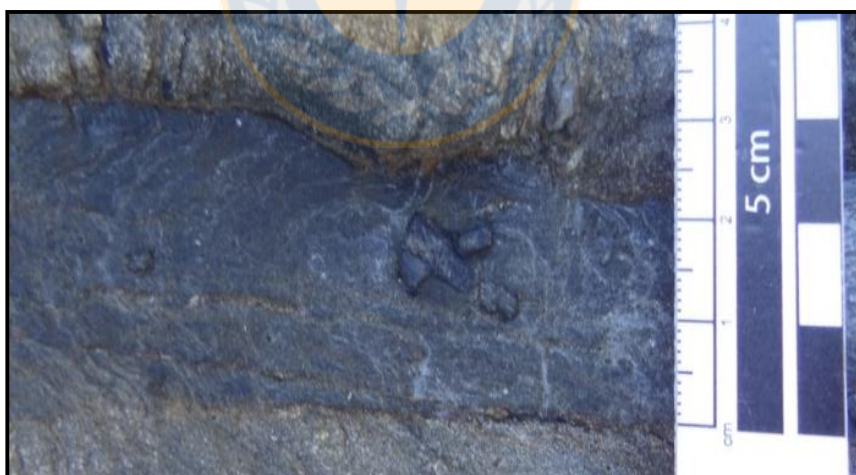


Figura 6.4: Estaurolita con macla en forma de cruz en capa de metapelite.

En la Figura 6.5a se observan Andalucitas dispuestas al azar con relación tectónica post S_2 y estaurolitas post S_1 y pre S_2 . Y la figura 6.5b muestra un rodado con alternancia de metapelitas y metarenitas plegadas con foliación S_2 predominante.

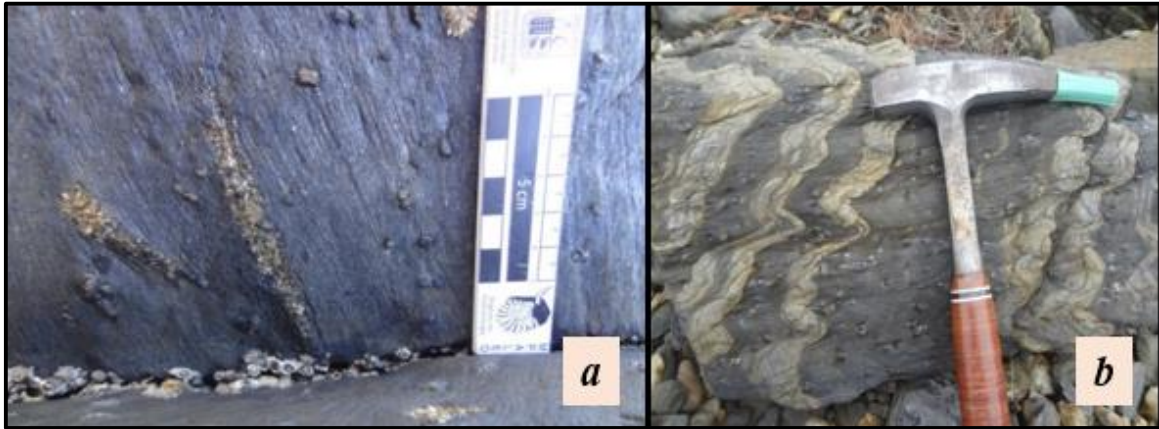


Figura 6.5: Rasgos de Colcura Norte: (a) Andalucitas post S_2 (disposición al azar y cortando las estructuras foliadas) y estaurolitas post- S_1 y pre- S_2 (cristales envueltos por foliación S_2). (b) Rodado con alternancias de metapelita (bandas oscuras) y metarenita plegadas (bandas claras), en que se observa la foliación S_2 dominante. Los porfiroblastos de estaurolita son predominantes en metapelitas.

6.2. Geosítio 2: Colcura Sur

En el extremo sur de la Playa de Colcura (Figura 6.1; Tabla 6.5) afloran metapelitas grises y metarenitas amarillo grisáceo, afectadas por metamorfismo regional de bajo grado y metamorfismo de contacto sobreimpuesto.

Tabla 6.5: Localización Colcura Sur.

UTM X: 663925	UTM Y: 5890368	Huso: 18 H
Geográficas Longitud: 73°15'W	Geográficas Latitud: 37°12'S	Datum: WGS 84

La litología es la misma que en Colcura Norte, aunque existe mayor proporción de metarenitas y no se ven indicios de alternancia entre ambas litologías (Figura 6.6). La mineralogía consiste en porfiroblastos de estaurolita que exhiben maclas en forma de cruz, dispuestos al azar en relación a las capas (relación tectónica post S_1) y alojados preferentemente en las metapelitas. Hacia el SW, la presencia de estaurolita decrece considerablemente junto con las metapelitas. La andalucita persiste y se encuentra cortando la estructura foliada (post S_2), pero no es abundante. Los minerales que conforma la matriz de las metapelitas son micas y cuarzo mayoritariamente. Este último, el mineral más abundante de las metarenitas.

Si bien las rocas aún conservan la estratificación, presentan un plegamiento más complejo que en Colcura Norte. Las rocas contienen cuarzo de segregación más abundante, cuyo plegamiento forma

ejes axiales concordantes con la foliación subhorizontal (S_2) o mostrando vetillas paralelas a la estratificación. No es posible distinguir la foliación S_1 .



Figura 6.6: Afloramiento de metarenitas en Colcura Sur. De color amarillo grisáceo con metapelitas grises (localmente), pero sin mayores indicios de alternancia entre ellos. Las rocas que afloran en este lugar aún conservan la estratificación y exhiben un plegamiento más complejo que en Colcura Norte.

Al igual que en el punto anterior, el buen estado de conservación de los rasgos litológicos, mineralógicos y estructurales; junto con los ligeros cambios que presenta en relación a elementos existentes en Colcura Norte, hacen de Colcura Sur un geositio que complementa y aporta información importante para reconstruir la historia geológica del Basamento Metamórfico.

Las características litológicas indicadoras de metamorfismo regional, presencia de estructuras de deformación dúctil de primer orden y minerales típicos de metamorfismo de contacto constituyen a Colcura Sur como un sitio de interés. Además, se observan formas de erosión típicas de procesos litorales (marmitas de gigantes). El cuarzo de segregación es abundante y evidencia plegamiento,

indicando una relación tectónica post S_1 y pre S_2 . Existe un punto en el cual la estauroлита ya no aparece (posible punto dentro de la isógrada de estauroлита).

De este modo el principal interés geológico de Colcura Sur, para efectos de este trabajo, radica en su aporte a la Historia de la Geología, además de los otros rasgos ya conocidos como: tectónico, mineralógico, petrológico-geoquímico, geocultural y paisajístico.

El primer criterio evaluado considera el Valor Intrínseco de Colcura Sur, la Tabla 6.6 muestra dicha evaluación.

Tabla 6.6: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Colcura Sur para el Valor Intrínseco.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
A1-Grado de conocimiento científico					X
A2-Rareza o Abundancia Regional				X	
A3-Lugar tipo o representatividad			X		
A4-Extensión	X				
A5-Diversidad de elementos geológicos					X
A6-Contenido Didáctico/Divulgativo					X
A7-Asociación con elementos culturales		X			
A8-Asociación con elementos naturales			X		
A9-Estado de Conservación					X
A10-Estético y paisajístico					X
A11-Vulnerabilidad o natural o Fragilidad			X		

El Valor de Uso Potencial de Colcura Sur considera rasgos distintos a los geológicos, por ejemplo el valor Excursionístico o Paisajístico/Naturalístico (Tabla 6.7) que hace de este geosítio un lugar apto para recibir grupos de estudiantes o turistas. Es un buen panorama para recreación y excursión, aunque las condiciones de aseo de la playa son mínimas debido al poco cuidado de los visitantes. También es posible avistar aves marinas.

Tabla 6.7: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Colcura Sur para el Valor potencial de Uso.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
B1-Posibilidad de realizar actividades					X
B2-Condiciones de observación					X
B3-Accesibilidad					X
B4-Grado de dificultad de acceso					X
B5-Proximidad a centros poblados					X

B6-Número de habitantes de la comuna más cercana			X		
B7-Condiciones socio económicas			X		
B8-Uso actual					X
B9-Peligro de Tsunami	X				
B10-Posibilidad de recolección de muestras				X	

Al igual que el Geositio Colcura Norte, cuenta con servicios básicos, alojamiento y gastronómicos para grupos máximo de 20 personas a menos de 25 Km de distancia y se puede acceder a él a menos de 200 m de la carretera asfaltada.

El Geositio Colcura Sur se encuentra ubicado en un terreno público, urbano y carente de todo tipo de protección. Las características que enfatizan en el Valor de Necesidad de Protección de dicho lugar se presentan en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Colcura Sur para el Valor de Protección.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
C1-Amenazas actuales o Potenciales			X		
C2-Situación legal actual			X		
C3-Interés por la extracción minera					X
C4-Régimen de Propiedad					X
C5-Fragilidad o Vulnerabilidad				X	

Los datos obtenidos en terreno fueron los relacionados con mineralogía, litología y estructuras. Por bibliografía se adquirieron las edades e información de las estructuras. El Geositio Colcura Norte es propuesto por el Dr. Oscar Figueroa, docente de la Universidad de Concepción.

A continuación se presentan algunos de los rasgos que se pueden observar en Colcura Sur. La Figura 6.7a muestra las metapelitas con marmitas de gigante formadas producto de la erosión marina y por otro lado, las metapelitas con porfidoblastos de andalucita con seritización (Figura 6.7b).

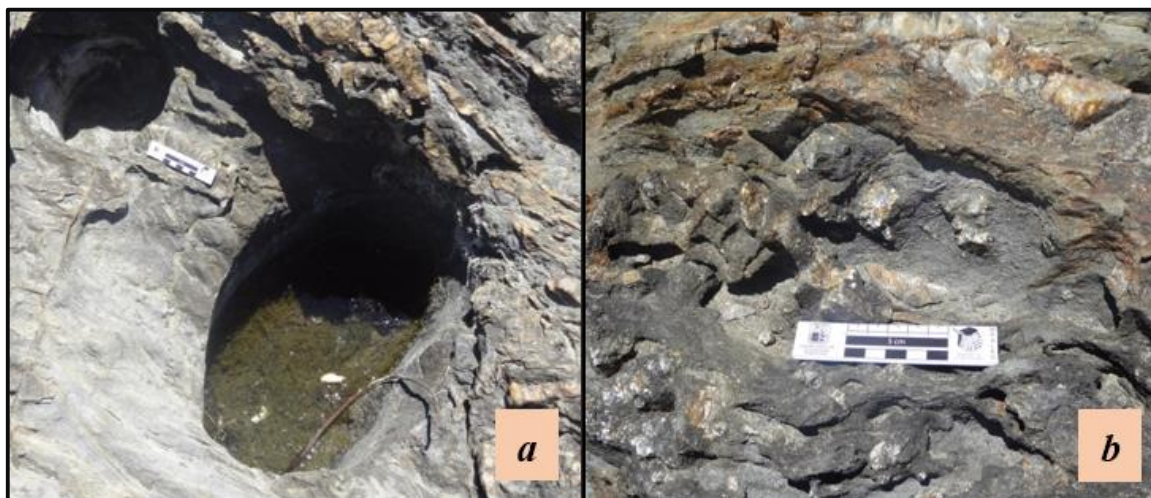


Figura 6.7: Rasgos de Colcura Sur. (a) Marmitas de gigante formadas por abrasión marina. **(b)** Porfiroblastos de andalucita con alto grado de alteración a sericita en capas de metapelitas.

La figura 6.8 muestra porfiroblastos de estaurolita alojados en metapelitas.

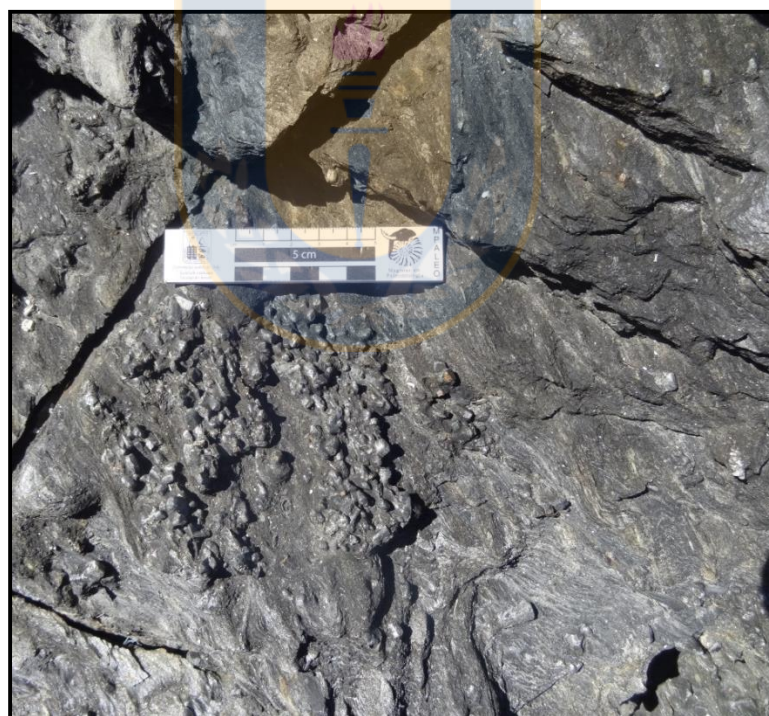


Figura 6.8: Porfiroblastos de estaurolita alojados en metapelitas.

Y en la figura 6.9 se exhiben cuarzos plegados según S_2 .

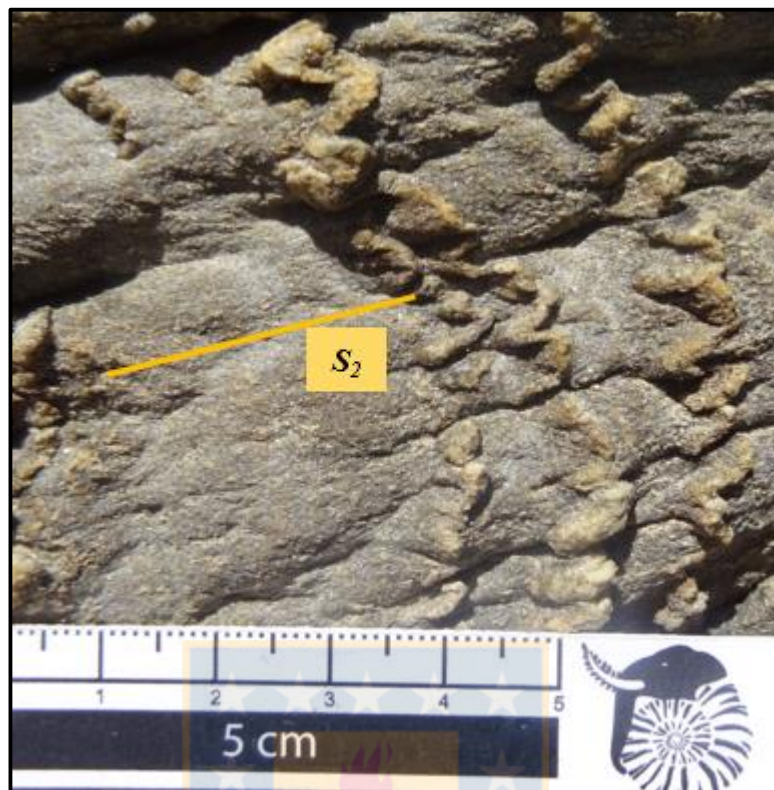


Figura 6.9: Cuarzo de segregación plegado con eje axial describiendo estructura foliada S_2 (línea amarilla).

6.3. Geosítio 3: Chivilingo Sur

Aproximadamente 6 Km al sur de Lota se ubica el sector de Chivilingo (Figura 6.10; Tabla 6.9), que antes fue el motor del progreso nacional por construirse aquí, la primera central hidroeléctrica de Chile para proporcionar energía eléctrica a las faenas mineras del carbón y al mismo pueblo de Lota.

Por la Ruta 160, 1 Km al sur de la Plaza de Peaje Chivilingo, en el sector conocido como Rinconada de la playa Chivilingo, afloran filitas moteadas compuestas de porfiroblastos de biotita (hasta 2 mm) que constituye una de las tres zonas de metamorfismo regional de contacto, con alto grado de alteración a clorita, señal de metamorfismo retrógrado (Vásquez, 2001).

El Geosítio Chivilingo Sur se encuentra en la Rinconada de Playa Chivilingo y resulta interesante porque aporta más información sobre los esfuerzos sufridos por las rocas, observados en Colcura Norte y Sur. Destaca también por el buen estado de conservación de los rasgos litológicos, mineralógicos y estructurales.



Figura 6.10: Mapa de acceso al Geosítio Chivilingo Sur. Escala 1:40.000

Tabla 6.9: Localización Chivilingo Sur.

UTM X: 661153	UTM Y: 5886667	Huso: 18 H
Geográficas Longitud: 73°19'W	Geográficas Latitud: 37°15'S	Datum: WGS 84

No es tan evidente la presencia de una alternancia entre dos litologías, como en lo observado más al norte en Playa Colcura. La mineralogía consiste principalmente en cuarzo, albita y mica (esta última formando parte de porfiroblastos). La textura de las rocas es porfiroblástica y su matriz lepidogranoblástica (Vásquez, 2001). Las rocas evidencian metamorfismo regional de bajo grado y metamorfismo de contacto sobreimpuesto. En cuanto a las estructuras, las capas muestran fuerte plegamiento y foliación. Las micas están mayoritariamente orientadas, distinguiéndose la foliación más dominante (S_2). No se observa estauroлита ni andalucita. El cuarzo de segregación presenta plegamiento y estructura en *boudinage* de gran dimensión (Figura 6.11).

Según la zonación mineralógica generada por el metamorfismo de contacto, representa la Zona de Biotita, de menor temperatura y junto con las observaciones realizadas en Colcura Sur, se puede interpretar la existencia de la isógrada de la andalucita en algún punto entre ambos geosítios.



Figura 6.11: Cuarzo de segregación en *boudinage* alojado en filitas. Indica extensión a lo largo y compresión perpendicular a ella.

También cuenta con rasgos litológicos indicadores de metamorfismo regional, presencia de estructuras de deformación dúctil, esfuerzos de tipo extensional y minerales típicos de metamorfismo de contacto, lo que es un aporte a diversos intereses secundarios como tectónicos, mineralógicos, petrológico-geoquímico y geoculturales.

Estas características hacen de Chivilingo Sur un aporte para la reconstrucción de la historia geológica del Basamento Metamórfico, y es en ello donde radica su Valor Intrínseco (Tabla 6.10).

Tabla 6.10: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Chivilingo Sur para el Valor Intrínseco.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
A1-Grado de conocimiento científico					X
A2-Rareza o Abundancia Regional				X	
A3-Lugar tipo o representatividad			X		
A4-Extensión		X			
A5-Diversidad de elementos geológicos				X	
A6-Contenido Didáctico/Divulgativo					X
A7-Asociación con elementos culturales	X				
A8-Asociación con elementos naturales			X		
A9-Estado de Conservación					X

A10-Estético y paisajístico					X
A11-Vulnerabilidad o natural o Fragilidad			X		

Chivilingo Sur es un lugar apto para grupos sin embargo, el tamaño y posición del geosítio lo hacen de acceso moderado, sobre todo para personas con problemas para desplazarse. Luego de terminar de recorrer la playa, hacia el extremo sur se avanza aproximadamente 200 metros por las rocas hasta el punto de interés. Es un afloramiento utilizado con fines pedagógicos en la asignatura de Petrología y Petrografía Metamórfica que se imparte en la Carrera de Geología de la Universidad de Concepción, es el docente de dicha institución, el Dr. Oscar Figueroa, quien propone este lugar como Geosítio.

Se puede llegar a él en vehículo particular o en autobuses interurbanos, se encuentra aproximadamente a 1 Km de la carretera asfaltada. La duración aproximada del recorrido, desde Concepción, es de una hora treinta minutos. Y cuenta con alojamiento y restaurantes con capacidad hasta 30 personas a 14 Km, lo que actualmente constituye el Complejo Turístico Chivilingo a orillas del Río Chivilingo en las instalaciones de la Hidroeléctrica Chivilingo, considerada Monumento Nacional.

El geosítio es muy ilustrativo y útil para asociar la información de los dos puntos anteriores y representa un buen panorama como actividad de caminata, es posible el avistamiento de aves y especies marinas.

La evaluación de las características del Valor Potencial de Uso de Chivilingo Sur, se muestra en la Tabla 6.11 a continuación.

Tabla 6.11: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Chivilingo Sur para el Valor potencial de Uso.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
B1-Posibilidad de realizar actividades					X
B2-Condiciones de observación					X
B3-Accesibilidad			X		
B4-Grado de dificultad de acceso				X	
B5-Proximidad a centros poblados				X	
B6-Número de habitantes de la comuna más cercana			X		
B7-Condiciones socio económicas			X		
B8-Uso actual					X
B9-Peligro de Tsunami	X				
B10-Posibilidad de recolección de muestras				X	

El Geositio Chivilingo Sur se emplaza en un terreno público, urbano y carente de todo tipo de protección. Las características que enfatizan en el Valor de Necesidad de Protección de dicho lugar se presentan en la Tabla 6.12.

Tabla 6.12: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Chivilingo Sur para el Valor de Protección.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
C1-Amenazas actuales o Potenciales			X		
C2-Situación legal actual			X		
C3-Interés por la extracción Minera					X
C4-Régimen de Propiedad					X
C5-Fragilidad o Vulnerabilidad				X	

En las siguientes imágenes se mostrarán algunos de los rasgos más relevantes de Chivilingo Sur, como la litología predominante conformada por filitas con porfidoblastos de biotita (Figura 6.12).



Figura 6.12: Filitas moteadas con porfidoblastos de biotita, con una fuerte alteración a clorita.

Chivilingo Sur aporta con más información a la compleja historia de plegamiento y formación del área. Así lo muestra la figura 6.13a donde se aprecia cuarzo de segregación plegado según la foliación dominante S_2 alojado en filitas. Y la figura 6.13b, la charnela de un pliegue antiform volcado, que indica eventos compresivos.



Figura 6.13: Plegamientos en Chivilingo Sur. (a) Cuarzo de segregación deformado según S_2 en filitas. **(b)** Charnela de un pliegue antiform volcado.

6.4. Geositio 4: Río Las Cruces (Laraquete)

Ocho kilómetros al Sur de Lota, y continuando por la Ruta 160 se encuentra localidad de Laraquete (Figura 6.14; Tabla 6.13).

La localidad de Laraquete pertenece a la Comuna de Arauco, que cuenta con una población cercana a los 36.000 habitantes según el Censo 2017 (posible de ver en <http://www.censo2017.cl>). La principal actividad económica generadora de empleos es la forestal, cuyas labores intervienen directamente con el valor intrínseco de un lugar de interés geológico. También existe un grupo no menor de artesanos y recolectores de la Piedra Cruz. Según la Secretaría Regional Ministerial de Salud de la Región del Biobío (SEREMI), en su estudio Diagnóstico Arauco (disponible en el sitio web <http://www.seremidesaludbiobio.cl>) los niveles de educación, alfabetismo y desarrollo humano están levemente sobre la media regional. Sin embargo los índices económicos la sitúan en una zona de rezago convirtiéndola en una comuna vulnerable.

Debido a la importancia de la Piedra Cruz en Laraquete, a menos de medio kilómetro de la Ruta 160, hacia el este, existe un sendero habilitado para recorrer un tramo del río. Donde es posible apreciar parte del bosque nativo de Laraquete (Figura 6.15) que permanece en el tiempo, aunque



Figura 6.14: Mapa de acceso a Río Las Cruces, Laraquete. Escala 1:40.000

Tabla 6.13: Localización Río Las Cruces.

UTM X: 662057	UTM Y: 5884863	Huso: 18H
Geográficas Longitud: 73°17'W	Geográficas Latitud: 37°17'S	Datum: WGS 84

rodeado de monocultivos forestales de *Eucalyptus*, y es ideal para actividades recreacionales o excursiones. Aquí son comunes las caminatas de excursión, campamentos familiares y recolección de cristales de Piedra Cruz por turistas, lugareños y artesanos.

En los lugares circundantes al sendero del Río Las Cruces, no se observa quiastolita en afloramiento, sólo es posible encontrar cristales disgregados en el lecho del río y rodados de micaesquistos de quiastolita como el que muestra la figura 6.16. La presencia de este mineral representa la Zona de Andalucita en la aureola de contacto producto de la intrusión del Batolito Costero del Sur.



Figura 6.15: Bosque nativo en Río Las Cruces. *Lapageria rosea* (Copihue). Enredaderas que se encuentran al costado del sendero que recorre el Río Las Cruces.



Figura 6.16: Rodado de micaesquisto de quiastolita en el lecho del Río Las Cruces. Se reconocen cristales de Piedra Cruz dispuestos al azar y de diversas formas.

Culturalmente, es en Laraquete donde la piedra cruz adquiere un real sentido de pertenencia que se arraiga en la comunidad desde generaciones. Ha sido motivo de leyendas y creencias populares, se ha convertido en la fuente de ingreso de varias familias locales y es la atracción turística más conocida de la zona.

Por estos motivos, el Valor Intrínseco del Geositio Río Las Cruces (Tabla 6.14) radica en el reconocimiento por parte de la comunidad como un lugar de recolección y su interés geológico principal es geocultural.

Tabla 6.14: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Río Las Cruces (Laraquete) para el Valor Intrínseco.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
A1-Grado de conocimiento científico				X	
A2-Rareza o Abundancia Regional				X	
A3-Lugar tipo o representatividad	X				
A4-Extensión	X				
A5-Diversidad de elementos geológicos			X		
A6-Contenido Didáctico/Divulgativo					X
A7-Asociación con elementos culturales		X			
A8-Asociación con elementos naturales					X
A9-Estado de Conservación			X		
A10-Estético y paisajístico			X		
A11-Vulnerabilidad natural o Fragilidad			X		

De igual manera ha dado lugar a Colecciones docentes de cortes transparentes y muestras de mano en el Museo Geológico del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción y está relacionado con tradiciones y costumbres del entorno como la cerámica, joyería, ornamentación y leyendas.

El punto propuesto se halla en un terreno de carácter privado que es utilizado para el tratamiento de agua potable. Parte de dicha superficie ha sido habilitada para recibir grupos de personas; se trata de un sector de fácil acceso emplazado a 0,2 Km de la carretera asfaltada con estacionamiento de autobuses y turismo; cuenta con alojamiento y restaurantes con capacidad hasta 20 personas a menos de 25 Km. La duración aproximada del recorrido, desde Concepción, es de aproximadamente dos horas.

La evaluación del potencial valor de uso de este geositio se muestra en la Tabla 6.15.

Tabla 6.15: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Río Las Cruces (Laraquete) para el Valor potencial de Uso.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
B1-Posibilidad de realizar actividades					X
B2-Condiciones de observación					X
B3-Accesibilidad					X
B4-Grado de dificultad de acceso					X
B5-Proximidad a centros poblados				X	
B6-Número de habitantes de la comuna más cercana			X		
B7-Condiciones socio económicas			X		
B8-Uso actual					X
B9-Peligro de Tsunami		X			
B10-Posibilidad de recolección de muestras				X	

La comunidad identifica Laraquete como un lugar de recolección de piedras cruces, basta con acercarse al río para avistar quiastolitas de variadas formas y tamaños. Es habitual encontrar personas recolectando el mineral, muchas de ellas artesanos. Sin embargo existe el problema de la extracción indiscriminada de piedras cruces. El agotamiento del mineral es una consecuencia inminente, lo cual convierte al Río Las Cruces en un potencial geosítio con altos índices de vulnerabilidad.

Sumado a esto, y a pesar de ser un sitio en un terreno privado y poseer protección legal, no cuenta con mantención ni seguridad, lo cual enfatiza en su Valor de Necesidad de Protección (Tabla 6.16).

Tabla 6.16: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Río Las Cruces (Laraquete) para el Valor de Protección.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
C1-Amenazas actuales o Potenciales			X		
C2-Situación legal actual			X		
C3-Interés por la extracción Minera					X
C4-Régimen de Propiedad				X	
C5-Fragilidad o Vulnerabilidad			X		

La comunidad de Laraquete ha postulado al programa de protección Sello de Origen de la Piedra Cruz del Instituto Nacional de Propiedad Industrial (ENAPI), como una forma de proteger legal e intelectualmente el trabajo de los artesanos de la piedra cruz.

de la roca es complejo, debido al alto grado de meteorización que ha provocado la disgregación y deterioro del afloramiento y su textura arcillosa. Por este motivo es difícil obtener muestras, sin

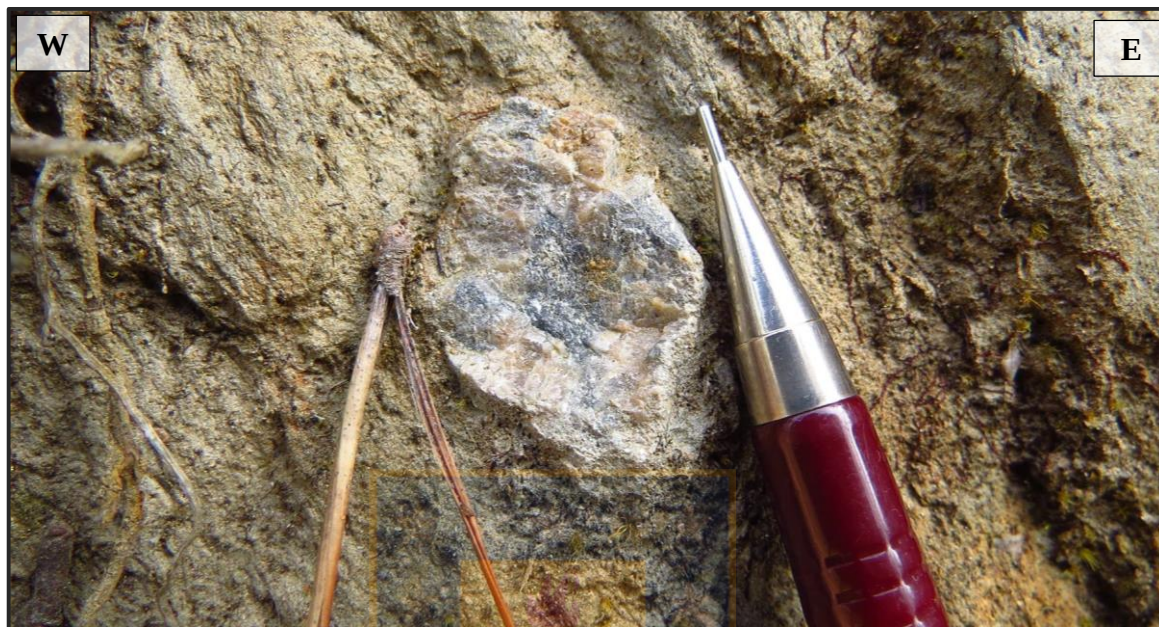


Figura 6.18: Cristal de quastolita alojado en un lente de micaesquisto de aproximadamente 1 cm de diámetro y patrón en forma de cruz, correspondiente al afloramiento en el Cerro forestal de Forestal Arauco en Laraquete.

embargo se observa una foliación incipiente.

Es posible encontrar cristales de piedras cruces disgregados en el suelo, a lo largo de varios caminos interiores, los cuales crecen en tamaño y cantidad a medida que se acercan al río (hacia el este).

Al igual que los geositos anteriores, el afloramiento es parte del proceso de subducción y permite reconstruir la evolución del margen convergente y del prisma de acreción, gracias al reconocimiento de foliaciones. También forma parte de la aureola de contacto generada por la intrusión del batolito, dando origen a minerales característicos, como la quastolita.

El principal interés geológico que muestra el Geosito Cerro forestal es mineralógico, además aporta información en la historia geológica de la zona, en aspectos tectónicos, petrológicos y geoculturales.

La evaluación del valor intrínseco del geosito se muestra en la Tabla 6.19.

Tabla 6.19: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Cerro forestal (Laraquete) para el Valor Intrínseco.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
A1-Grado de conocimiento científico				X	
A2-Rareza o Abundancia Regional				X	
A3-Lugar tipo o representatividad	X				
A4-Extensión	X				
A5-Diversidad de elementos geológicos				X	
A6-Contenido Didáctico/Divulgativo					X
A7-Asociación con elementos culturales	X				
A8-Asociación con elementos naturales					X
A9-Estado de Conservación			X		
A10-Estético y paisajístico			X		
A11-Vulnerabilidad natural o Fragilidad			X		

Debido a su fácil acceso y proximidad al afloramiento desde el transporte, es apto para todo público. El recorrido puede realizarse en buses de transporte colectivo hasta la localidad de Laraquete, desde aquí el trayecto debe hacerse en vehículo particular para terrenos montañosos.

El terreno es cien por ciento utilizado con fines forestales, es de carácter privado y de acceso restringido, lo cual complica la posibilidad de hacer visitas con grandes grupos de personas.

La evaluación del Valor Potencial de Uso del Geosítio Cerro forestal se muestra en la Tabla 6.20 a continuación.

Tabla 6.20: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Cerro forestal (Laraquete) para el Valor potencial de Uso.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
B1-Posibilidad de realizar actividades					X
B2-Condiciones de observación			X		
B3-Accesibilidad				X	
B4-Grado de dificultad de acceso					X
B5-Proximidad a centros poblados				X	
B6-Número de habitantes de la comuna más cercana			X		
B7-Condiciones socio económicas			X		
B8-Uso actual					X
B9-Peligro de Tsunami		X			
B10-Posibilidad de recolección de muestras				X	

Como se mencionó, el geosítio se encuentra ubicado en un terreno privado y aunque cuenta con protección legal, se trata de un afloramiento frágil y en constante deterioro debido a las condiciones climáticas. Las características que enfatizan en el Valor de Necesidad de Protección de dicho lugar se presentan en la Tabla 6.21.

Tabla 6.21: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Río Las Cruces (Laraquete) para el Valor de Protección.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
C1-Amenazas actuales o Potenciales					X
C2-Situación legal actual					X
C3-Interés por la extracción Minera					X
C4-Régimen de Propiedad		X			
C5-Fragilidad o Vulnerabilidad			X		

A continuación se muestran algunas imágenes del geosítio. La figura 6.19 muestra parte del suelo de filitas con un lente de micaesquisto de Quiastolita altamente meteorizado.

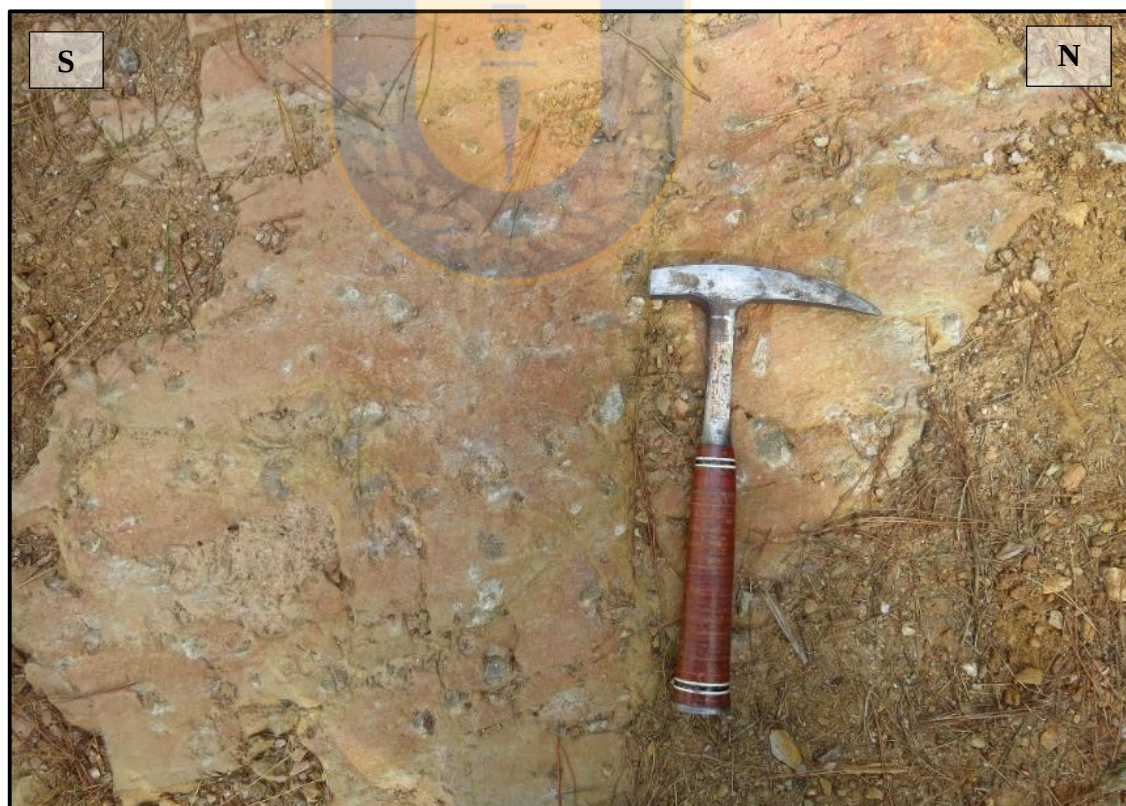


Figura 6.19: Cristales de quiastolita en lente de micaesquisto. La imagen muestra la vista en planta del suelo del camino.

Y la figura 6.20, muestra un cristal de Quiastolita, con patrón en cruz en afloramiento de micaesquisto de quiastolita y filitas.

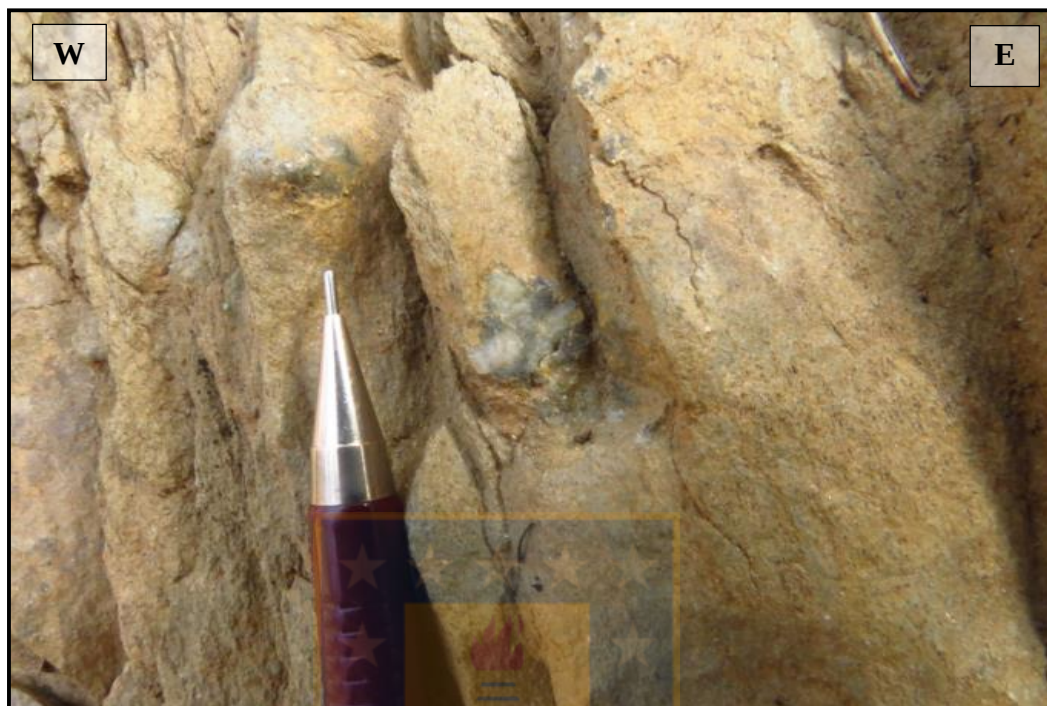


Figura 6.20: Cristales de piedras cruces en afloramiento de micaesquisto de quiastolita, aproximadamente 1 cm de diámetro y 2,5 cm de largo.

Los datos obtenidos en terreno fueron aquellos relacionados con mineralogía, litología y estructuras. Por bibliografía se adquirieron las edades e información de las estructuras. El Geosítio Cerro forestal es propuesto por Paula Fernández y Francisca Parraguez. Debido a la disgregabilidad del afloramiento no es posible la recolección de muestras.

6.6. Geosítio 6: Cantera del Río Trongol (Trongol bajo)

Siguiendo por la Ruta 160, 10 Km al sur de Curanilahue se encuentra el desvío para tomar la ruta P-426 en la localidad de los Ríos. Se continúa hasta la intersección con la Ruta P-432, hasta acceder a la localidad de Trongol Bajo, donde se encuentra el Centro Turístico Le Lagon Bleu (Figura 6.21) que cuenta con gastronomía fusión y actividades recreativas como pesca con mosca, caminatas u otras enfocadas en transmitir el valor de la Piedra Cruz en la comunidad.

El Río Trongol, es el recurso más importante del lugar, de él nacen numerosas lagunas artificiales que son de uso privado o turístico. Sin embargo el valle se ha visto empobrecido debido a actividades económicas que le restan valor paisajístico y degradan la calidad de vida de los vecinos.



Figura 6.21: Mapa de acceso a Cantera del Río Trongol, Trongol Bajo. Escala 1:300.000.

Tabla 6.22: Localización Cantera del Río Trongol.

UTM X: 651072	UTM Y: 5837502	Huso: 18 H
Geográficas Long: 73°29'W	Geográficas Lat: 37°60'S	Datum: WGS84

Es por este motivo que ellos se han organizado y movilizan para detener las faenas de extracción de áridos.

Como resultado de esta actividad y continuando por la Ruta P-432 (Figura 6.22), dentro de un recinto privado existe una cantera de áridos recientemente abandonada. Se orienta en dirección E-W, tiene 12 m de alto por 30 m de largo aproximadamente, es de color pardo anaranjado y está altamente meteorizada en algunas zonas.



Figura 6.22: Cantera del Río Trongol. Antiguamente utilizada para la extracción de áridos. Actualmente abandonada donde aflora filita, esquistos de biotita y esquistos de quistolita. Se encuentra altamente meteorizada.

Corresponde a filita, esquistos de biotita y esquistos de quistolita, esta última con cristales centimétricos a decimétricos de quistolita, orientados aleatoriamente (Figura 6.23). Se puede apreciar foliación incipiente y plegamiento a mediana escala.

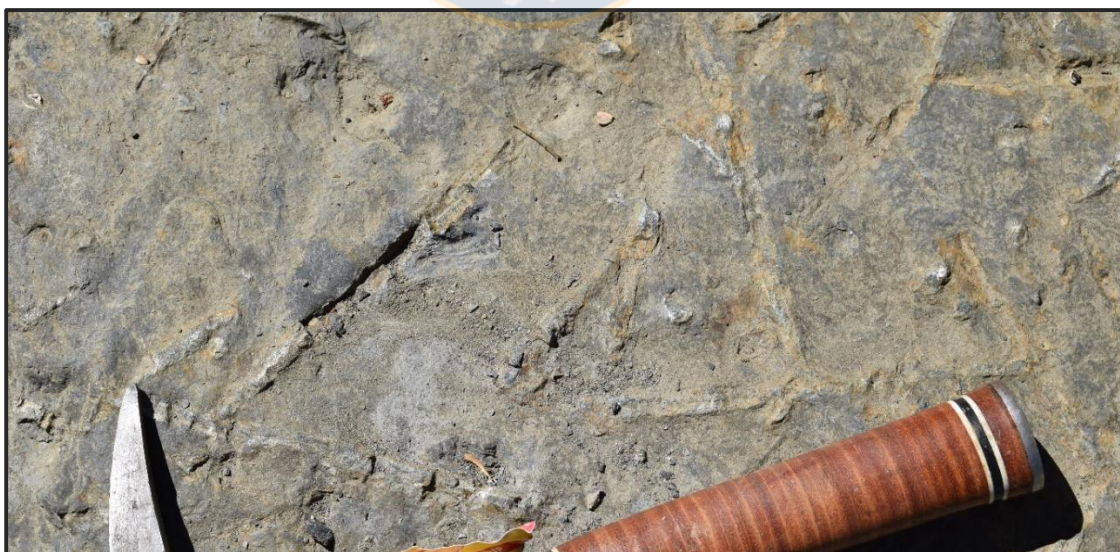


Figura 6.23: Cristales de quistolita en enjambre y dispuestos al azar en Micaesquistos de Quistolita, afloramiento Cantera Río Trongol, en Trongol Bajo.

La localidad rural de Trongol Bajo, pertenece a la comuna de Los Álamos que, al igual que a las localidades anteriores, posee índices de renta per cápita, educación y ocupación inferiores a la media regional lo que la sitúa dentro de las comunas en zona de rezago. La principal actividad económica es en el sector forestal; sin embargo, el Valle del Río Trongol es utilizado para faenas extractoras de áridos lo cual beneficia a algunos habitantes y para otros significa un déficit en calidad de vida además de restarle valor estético y paisajístico al lugar.

El principal interés geológico que muestra el Geosítio Cantera del Río Trongol es mineralógico, además aporta información en la historia geológica de la zona, en aspectos tectónicos, geomorfológicos, petrológicos y geoculturales. La evaluación de los criterios del Valor Intrínseco de este geosítio, se muestran en la Tabla 6.23.

Tabla 6.23: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Cantera del Río Trongol (Trongol bajo) para el Valor Intrínseco.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
A1-Grado de conocimiento científico				X	
A2-Rareza o Abundancia Regional					X
A3-Lugar tipo o representatividad			X		
A4-Extensión		X			
A5-Diversidad de elementos geológicos				X	
A6-Contenido Didáctico/Divulgativo					X
A7-Asociación con elementos culturales		X			
A8-Asociación con elementos naturales					X
A9-Estado de Conservación			X		
A10-Estético y paisajístico					X
A11-Vulnerabilidad o natural o Fragilidad			X		

Este geosítio es representativo del proceso de subducción, permitiendo reconstruir una acreción frontal y basal de un prisma de acreción, el cual en su última etapa por la intrusión del batolito costero, genera una aureola de contacto, representado por una zona de andalucita (abundante en el geosítio, con grandes cristales decimétricos). Se observa también rodados de esquisto de quistolita y cristales de piedra cruz en el lecho del río al norte de la cantera (Figura 6.24).



Figura 6.24: Cristales de piedras cruces en rodado de esquistos de quistolita encontrados en Río Trongol

Debido a su relevancia en la historia geológica del complejo metamórfico, el Geositio Cantera del Río Trongol es de gran interés didáctico. Su fácil acceso, con todo tipo de vehículo y sin necesidad de caminata, lo hace aún más atractivo tanto para el público en general como para los grupos con interés científico. Como ya se mencionó, además de su valor científico la piedra cruz posee valía cultural, puesto que es utilizada actualmente en la zona para joyería, ornamentación y cerámicas resultando ser un mineral de importancia para la comunidad.

La evaluación de las características del Valor Potencial de Uso de Cantera del Río Trongol, se muestra en la Tabla 6.24 a continuación.

Tabla 6.24: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Cantera del Río Trongol (Trongol bajo) para el Valor potencial de Uso.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
B1-Posibilidad de realizar actividades					X
B2-Condiciones de observación				X	
B3-Accesibilidad				X	
B4-Grado de dificultad de acceso					X
B5-Proximidad a centros poblados			X		
B6-Número de habitantes de la comuna más cercana		X			
B7-Condiciones socio económicas			X		
B8-Uso actual					X
B9-Peligro de Tsunami					X
B10-Posibilidad de recolección de muestras				X	

La Cantera del Río Trongol se ubica en un terreno privado, pero de libre acceso al público lo cual permite la posibilidad de hacer visitas con grupos guiados. Si bien cuenta con protección legal, se trata de un afloramiento vulnerable a la acción climática y antrópica.

La evaluación del Valor Necesidades de Protección se muestra en la Tabla 6.25 a continuación

Tabla 6.25: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa Río Las Cruces (Laraquete) para el Valor de Protección.

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
C1-Amenazas actuales o Potenciales					X
C2-Situación legal actual					X
C3-Interés por la extracción Minera					X
C4-Régimen de Propiedad		X			
C5-Fragilidad o Vulnerabilidad				X	

El Río Trongol permite la existencia de una amplia gama de especies nativas. Es importante mencionar que con los cuidados necesarios (fiscalización a empresas extractoras de áridos), generaría un sector recreacional; apto para el baño, campamento, contemplación además del aprendizaje (Figura 6.25).



Figura 6.25: El recurso hídrico del Río Trongol es utilizado por la comunidad campesina para el regadío de cultivos y crianza de animales. También es reconocido como sector recreacional; apto para el baño, vida el aire libre, contemplación del paisaje y aprendizaje.

Sin embargo las faenas de extracción de áridos afectan directamente a los centros turísticos de la zona (Figura 6.26) como Le Lagon Bleu que ha sido pionero en incorporar el Geoturismo en Trongol Bajo.



Figura 6.26: Faenas de extracción de áridos en el valle del Río Trongol, son un problema para la comunidad y una amenaza a la biodiversidad y geodiversidad.

Las visitas y caminatas son guiadas por Paula Fernández, Geóloga de la Universidad de Concepción. Ella explica y muestra la importancia de la quiastolita en la historia geológica de la zona a los turistas.

Los datos obtenidos en terreno fueron los relacionados con mineralogía, litología y estructuras. Por bibliografía se adquirieron las edades e información social/cultural de la comuna. El Geosítio Cantera del Río Trongol es propuesto por la geóloga Paula Fernández.

7. RESULTADOS

Se presentan los resultados de los seis potenciales geositos evaluados según su valor geológico, educativo, accesibilidad, cultural, belleza paisajística entre otros atributos. Dicha evaluación busca cotejar parámetros y/o criterios que no son comparables directamente, mediante un ranking Q (o cuantificación de la relevancia del geosito). Cuanto mayor sea dicho valor el geosito tendrá más relevancia, por consiguiente mayor será su necesidad de aplicar estrategias de geoconservación.

La Tabla 6.26 muestra los parámetros (A1-A11) y resultados de los seis geositos, de izquierda a derecha: Colcura Norte (**CN**), Colcura Sur (**CS**), Chivilingo Sur (**ChS**), Laraquete Río Las Cruces (**LqR**), Laraquete Cerro forestal (**LqC**) y Trongol Cantera (**TrC**); agrupados dentro del criterio de Valor Intrínseco. El lugar que alcanzó mayor valor ponderado **Vi** es Colcura Norte, seguido por Colcura Sur y Chivilingo Sur.

Tabla 6.26: Criterio del Valor Intrínseco para cada geosito. Se muestran los once parámetros evaluados en una escala de 1 a 5, los resultados individuales y el valor ponderado del criterio **Vi**.

Parámetro		CN	CS	ChS	LqR	LqC	TrC	Brilha\05
A1	Grado de conocimiento científico	5	5	5	4	4	4	≥4
A2	Abundancia a nivel regional	5	4	4	4	4	5	≥3
A3	Lugar tipo/representatividad	5	3	3	1	1	3	≥3
A4	Extensión	1	1	2	1	1	2	
A5	Diversidad de elementos geológicos	5	5	4	3	4	4	
A6	Capacidad didáctica	5	5	5	5	5	5	
A7	Asociación con elementos de índole cultural	2	2	1	2	1	2	
A8	Asociación con elementos del medio natural	3	3	3	5	5	5	
A9	Estado de conservación	5	5	5	3	3	3	≥3
A10	Estético o Paisajístico	5	5	5	3	3	5	
A11	Vulnerabilidad natural o Fragilidad	3	3	3	3	3	3	
Vi		8,7	8,0	7,8	6,5	6,6	7,7	$\bar{X}=7,6$

La Tabla 6.27 muestra los parámetros y resultados del criterio de Valor de Uso. El que alcanzó mayor **Vu** es Colcura Norte, seguido de Colcura Sur y Río Las Cruces en Laraquete.

La propuesta de Brilha (2005) otorga mayor relevancia a los parámetros: Grado de Conocimiento Científico (**A1**), Abundancia regional (**A2**), Representatividad (**A3**) y Estado de Conservación (**A9**), Posibilidad de realizar actividades (**B1**), Condiciones de observación (**B2**); de modo que

todos aquellos sitios con un puntaje igual o mayor a 3 (excepto A1 $\geq$ 4) cumplen con el condicionante para ser clasificado como un Lugar de Interés (LIG) a escala Internacional/Nacional. Cuatro de los seis lugares propuestos en este trabajo cumplen con esas condiciones. Las excepciones son Río Las Cruces y Cerro forestal, debido a que no cumplen con el parámetro A3 $\geq$ 3 por no tratarse de lugares representativos. De este modo los puntos que no alcanzan estos valores, se consideran LIG de Interés Nacional o también Regional/Local.

Tabla 6.27: Criterio del Valor de Uso para cada geosítio. Se muestran los diez parámetros evaluados en una escala de 1 a 5, los resultados individuales y el valor ponderado del criterio **Vu**.

Parámetro		CN	CS	ChS	LqR	LqC	TrC	Brilha\05
B1	Posibilidad de realizar actividades	5	5	5	5	5	5	≥ 3
B2	Condiciones de observación	5	5	5	5	3	4	≥ 3
B3	Accesibilidad	5	5	3	5	4	4	$\bar{X}=8,6$
B4	Grado de dificultad del acceso	5	5	4	5	5	5	
B5	Proximidad a centros poblados	5	5	4	4	4	3	
B6	Número de habitantes de la comuna	3	3	3	3	3	2	
B7	Condiciones socioeconómicas	3	3	3	3	3	3	
B8	Uso actual	5	5	5	5	5	5	
B9	Peligro de Tsunamis	1	1	1	2	4	5	
B10	Posibilidad de recolectar objetos	4	4	4	4	4	4	
Vu		8,9	8,8	8,1	8,6	7,7	8,0	$\bar{X}=8,6$

Del mismo modo La Tabla 6.28 muestra los parámetros y resultados del criterio Valor de Protección **Vp**. Los seis geosítios obtienen valores ponderados **Vp** similares, lo cual significa que todos ellos se encuentran en iguales condiciones de vulnerabilidad.

Tabla 6.28: Criterio del Valor de Protección para cada geosítio. Se muestran los cinco parámetros evaluados en una escala de 1 a 5, los resultados individuales y el valor ponderado del criterio **Vp**.

Parámetro		CN	CS	ChS	LqR	LqC	TrC	
C1	Amenazas actuales o potenciales	3	3	3	3	5	5	$\bar{X}=7,9$
C2	Situación legal actual	3	3	3	3	5	5	
C3	Interés por la extracción	5	5	5	5	5	5	
C4	Régimen de propiedad	5	5	5	4	2	2	
C5	Fragilidad	4	4	4	3	3	4	
Vp		8,1	8,1	7,7	7,6	7,9	8,2	$\bar{X}=7,9$

La Tabla 6.29 muestra los resultados de los tres criterios. Colcura Norte es el geosítio de mayor relevancia, ya que obtiene un mayor ranking Q; seguido por Colcura Sur, Cantera del Río Trongol, Chivilingo Sur, Río Las Cruces y Cerro forestal en Laraquete. Dicho ranking corresponde a la sumatoria de los tres criterios, se tomará Colcura Norte como ejemplo.

Tabla 6.29: Resultados de los tres criterios evaluados. Se muestran, para cada Geosítio: Valor Q1 (Ranking), cuantificación del valor QI-N, según el condicionante previo para ser geosítio de interés Internacional y los Valores ponderados V_i , V_u y V_p .

Parámetro	CN	CS	ChS	LqR	LqC	TrC
V_i	8,7	8,0	7,8	6,5	6,6	7,7
V_u	8,9	8,8	8,1	8,6	7,7	8,0
V_p	8,1	8,1	7,7	7,6	7,9	8,2
Q	25,7	24,9	23,6	22,7	22,2	23,9
QI-N	12,8	12,3	11,8	--	--	11,9
QR-L	--	--	--	7,7	7,4	--

Para calcular el ranking de Colcura Norte (Q_{CN}) se realiza la sumatoria de los tres criterios evaluados V_i , V_p , V_u , que para este caso sería:

$$Q_{CN} = \sum 8,7 + 8,9 + 8,0$$

$$Q_{CN} = 25,7$$

Según la metodología de Brilha (2005), para conocer a qué escala (internacional/nacional o regional/local) es relevante cada sitio se incorporan condicionantes -mencionadas anteriormente-. Para el caso de aquellos lugares de interés nacional o internacional, se efectúan los cálculos mediante la ponderación de los tres criterios como muestra la siguiente expresión, siguiendo con Colcura Norte (Q_{CN-I}) como ejemplo:

$$Q_{CN-I} = \frac{2V_i + V_u + 1,5V_p}{3}$$

$$Q_{CN-I} = \frac{2(8,7) + 8,9 + 1,5(8,0)}{3}$$

$$Q_{CN-I} = 12,8$$

Para el caso de los geositos que no cumplen con todas las condicionantes, se efectúan los cálculos para clasificarlos dentro de un orden regional/local, se considera Río Las Cruces como ejemplo.

$$Q_{LqR-R} = \frac{Vi + Vu + Vp}{3}$$

$$Q_{LqR-R} = \frac{6,5 + 8,6 + 8,0}{3}$$

$$Q_{LqR-R} = 7,7$$

La relevancia del geosito Río Las Cruces, según esta metodología, es del orden regional y alcanza un valor $Q_{LqR-R} = 7,7$. Lo mismo ocurre con el geosito Cerro forestal, que llega hasta los 7,4 puntos en el ranking.

Los valores expuestos en la Tabla 6.29 permiten organizar y destacar distintos atributos, desde discriminar qué punto tiene más puntaje para conocer a qué escala posee mayor relevancia (Local, Regional, Nacional o Internacional); hasta enfocar la atención en aquellos que son más vulnerables, a los que se debería prestar mayor atención, como es el caso de los geositos propuestos debido a que todos ellos se encuentran bajo algún riesgo de amenaza que atenta contra la geodiversidad y conservación del patrimonio geológico de la región.

Tal es el caso de Cerro forestal en Laraquete y Cantera del Río Trongol, ambos se ubican en un sector rural sin planes de urbanización y/o industrialización en el corto plazo, lo cual les da un alto puntaje en la evaluación de Amenazas actuales o potenciales (Figura 7.1a). Sin embargo el valle del Río Trongol, los últimos años, ha sido utilizado para la extracción de áridos y esa era, precisamente, la función de la cantera.

De manera análoga, la situación legal actual (Figura 7.1b) de estos dos geositos los deja desprotegidos debido a que si bien están en recintos estatales o municipales, no se encuentran dentro de reservas o áreas que protejan la biodiversidad o geodiversidad. Por ejemplo Cerro forestal en Laraquete obtiene el mayor puntaje por ubicarse en un recinto privado, pero su vulnerabilidad es alta debido a las condiciones climáticas y la construcción continua de caminos forestales interiores que, eventualmente, podrían hacer desaparecer el afloramiento.

En este mismo ítem, los lugares que alcanzaron menor puntuación, son aquellos cercanos a lugares con planes de desarrollo, por lo tanto todos sitios son vulnerables.

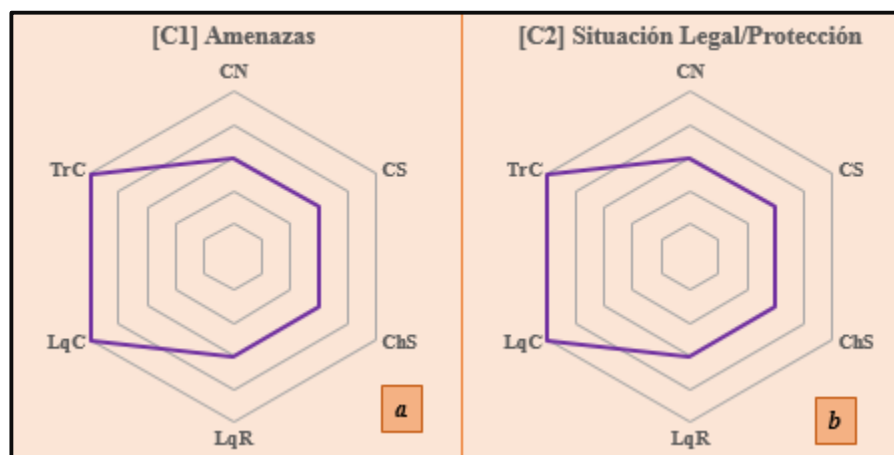


Figura 7.1: Gráfica del criterio Valor de Protección. Se muestran los parámetros de: (a) Amenazas actuales o Potenciales [C1] y (b) Situación Legal actual [C2], evaluados en una escala de 1 a 5; para todos los geositos propuestos.

Los resultados ponderados del Valor Intrínseco (V_i) se muestran en la figura 7.2a. Todos los geositos alcanzan valores similares, sin embargo la curva se desplaza hacia Colcura Norte cuyo V_{iCN} es igual a 8,7 -un punto sobre la media-. La figura 6.2b presenta los resultados del Valor de Uso (V_u), donde obtienen mayor ranking (CN, CS y LqR) aquellos geositos cuyo acceso es más fácil y/o se encuentran cercanos a centros urbanos, por ejemplo.

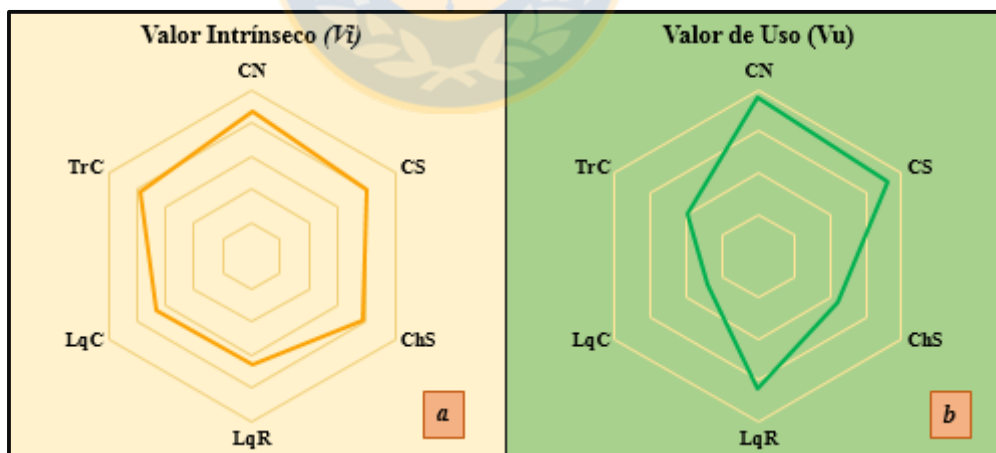


Figura 7.2: Resultados ponderados de los criterios para los seis geositos. (a) Valor Intrínseco: Colcura Norte alcanza el mayor puntaje ($V_{iCN}=8,5$); (b) Valor de Uso, con resultados similares.

El criterio de Valor de Protección (V_p) se grafica en la figura 7.3a, los geositos que presentan una mayor necesidad de protección son aquellos que obtienen mayor puntaje (TrC, CN y CS).

La gráfica comparativa de los tres criterios evaluados se muestra en la Figura 7.3b, en amarillo el Valor Intrínseco, verde para el Valor de Uso y rojo para el de Protección. Las tres curvas coinciden sobre todo para CN, CS, ChS y TrC indicando que estos geositios requieren atención puesto que las características geológicas y didácticas, que les otorgan una ponderación elevada en el ranking, se encuentran bajo amenazas latentes.

Las curvas alejadas de los máximos (LqR y LqC) se deben a que la evaluación otorga mayor ponderación a los sitios más representativos, reconocidos y de grandes dimensiones. Los lugares presentados en este trabajo son afloramientos puntuales y con un alto grado de vulnerabilidad.

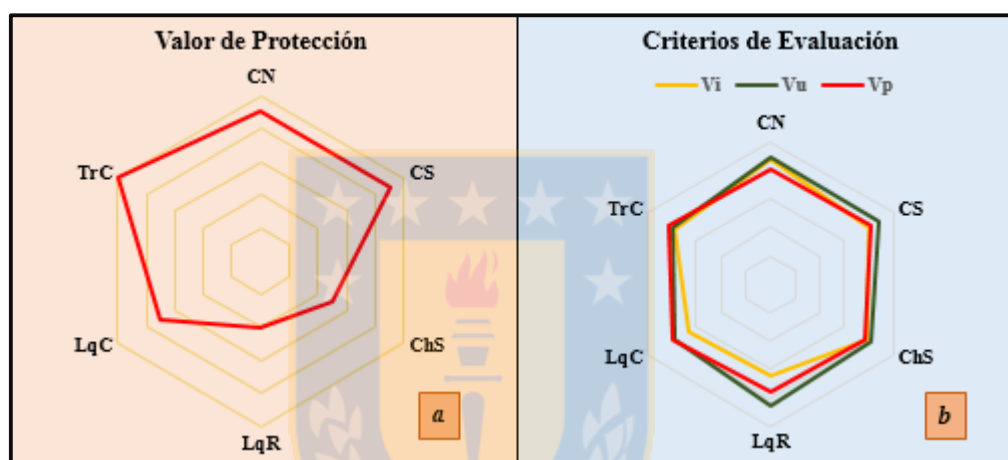


Figura 7.3: Valor de Protección y Criterios de Evaluación. (a) resultados de los valores ponderados para los seis geositios, Colcura Norte, Colcura Sur y Cantera del Río Trongol alcanzan las mayores puntuaciones. (b) comparación de los tres criterios evaluados, donde todas las curvas coinciden parcialmente, indicando que todos los geositios requieren de medidas de protección.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el área de Laraquete y alrededores se distinguieron seis Geositios que son constituyentes del Patrimonio Geológico de la Piedra Cruz los cuales son: Colcura Norte, Colcura Sur, Chivilingo Sur, Río Las Cruces, Cerro forestal y Cantera del Río Trongol.

Los geositios propuestos muestran procesos que ayudan a comprender la historia geológica de la Región del Biobío, los cuales fueron los responsables de modelar el paisaje que hoy conocemos. En específico, la piedra cruz fue originada por un metamorfismo de contacto ocasionado por la intrusión del Batolito Costero del Sur.

La distancia entre los geositios y su cercanía a centros poblados, abre la posibilidad de la creación de Geo-rutas para potenciar el Turismo (Geoturismo). Al respecto se hace necesario involucrar y educar a la comunidad (artesanos, escolares, docentes, apoderados, etc) con la Geología, potenciar talleres, charlas y capacitaciones en escuelas y municipios. Actualmente el Geoparque Minero Litoral del Biobío realiza esta labor en la cual hay universidades, municipios y comunidades indígenas comprometidas. Relacionado con esto, en el marco de esta memoria de Título, se redacta una historia de divulgación, se confecciona un mapa y un tríptico con información relevante para el turista.

Los geositios Colcura Norte, Colcura Sur y Chivilingo Sur (comuna de Lota) constituyen puntos representativos del Complejo Acrecionario del Paleozoico. Estos alcanzan una puntuación alta en la evaluación debido a su buen estado de conservación, a la información que entregan, el reconocimiento de la comunidad científica y su fácil acceso.

El geosítio con un mayor Valor comparativo Q es Colcura Norte, cuyo aporte científico y didáctico ha sido estudiado y valorado por diversos autores (Hervé, 1977; Vásquez, 2001). En dicho lugar se observa claramente la estratificación original (turbiditas) y los procesos tectónicos que originan las foliaciones S_1 y S_2 característicos de Complejo Acrecionario.

Cuatro de los seis geositios (Colcura Norte, Colcura Sur, Chivilingo Sur y Cantera del Río Trongol) cumplen con las condiciones para ser considerados lugar de interés a escala internacional/nacional, según la propuesta de Brilha (2005). Cada uno de ellos permite apreciar su belleza paisajística y aportar a la comprensión de la historia de la Cordillera de Nahuelbuta. Sin embargo tienen un alto grado de vulnerabilidad y se encuentran bajo constante amenaza; por este motivo es necesario protegerlos.

Los geositios Río Las Cruces y Cerro forestal en Laraquete, sólo cumplen con las condicionantes para calificar como un lugar de interés Regional o Local, lo cual realza su importancia al momento de relacionar la historia geológica con el valor cultural de la piedra cruz en la comunidad.

La explotación de recursos para la construcción constituye una amenaza a la geodiversidad. La extracción de áridos en el valle del Río Trongol afecta de modo significativo al valor estético del paisajismo de este sector (Figura 6.26).

La comercialización indiscriminada de la Piedra Cruz es también una amenaza a la Conservación del Patrimonio Geológico.

El escenario futuro es prometedor, en el marco del III Simposio de Geoparques y Geoturismo realizado en octubre del 2017 en la Ciudad de Concepción, Región del Biobío, se establecieron los cimientos para un trabajo conjunto entre la Sociedad Geológica de Chile (SGCh), Asociación de Geoparques y el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). El objetivo es establecer un criterio unificado y un Inventario Nacional de manera de identificar los geositios más vulnerables y comenzar con las medidas legales para su protección.



9. REFERENCIAS

- AGUIRRE, L.; HERVÉ, F. y GODOY, E. 1972: Distribution of metamorphics facies in Chile an outline. *Kristalliniku*. Vol. 9: 7-19.
- BIRÓ, L. 1982: Revisión y redefinición de los Estratos Quiriquina, Campaniano-Maestrichtiano, en su localidad tipo, en la Isla Quiriquina a 36°27'S, Chile, Sudamerica, con un perfil complementario de Cocholgue". III Congreso Geológico Chileno. Vol 1: 29-64. Concepción.
- BÖRGEL, R. 1983: Geomorfología. En Geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar, Santiago. 1.982 pp. Santiago.
- BRILHA, J. 2005. Património Geológico e Geoconservação: A Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica. *Editorial Palimage*: 190 pp. Braga.
- CARCAVILLA, L. 2014. Guía Práctica para entender el Patrimonio Geológico. Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra. Vol. 1: 5-18. Madrid.
- CARCAVILLA, L.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; ERISKAD, L. y GARCÍA-CORTÉS, A. 2013. Valoración del Patrimonio Geológico en Europa. *Boletín Paranaense de Geociencias*. Vol. 70: 28-40. Madrid.
- 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. Cuadernos del Museo Geominero*. Vol. 7: 360. Madrid.
- CARTES, N. 2004. Petrografía y ambiente de deposición de las metapelitas paleozoicas con huellas fósiles, entre Tomé y Lirquén. VIII Región del Biobío, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 115 pp. Concepción.
- CELIS-DIEZ, J.L.; IPPI, S.; CHARRIER, A. y GARÍN, C. 2011. Fauna de los bosques templados de Chile. Guía de campo de los vertebrados terrestres. *Editorial Corporación Chilena de la Madera*: 135 pp. Concepción.
- CHARRIER, R.; PINTO, L. y RODRÍGUEZ, M. P. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. Chapter 2. The Geology of Chile. *Editores Moreno, T. y Gibbons, W. The Geological Society*: 21-114. Londres.
- CREIXELL, C. 2001. Petrología y Geotermobarometría de las rocas intrusivas de la Cordillera de la Costa entre los 36°30' S y 38°00' S. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 149 pp. Concepción.

- CUCURELLA, J., (1978): Estudio geológico y radiométrico del valle interior del Río Biobío, Provincia de Concepción, VIII Región. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 123 pp. Santiago.
- 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. Santiago.
- FERRARIS, F. 1981: Hoja Los Ángeles-Angol. Mapas geológicos preliminares de Chile, escala 1:250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile (Inédito). 56 pp. Santiago.
- GAJARDO, A., 1981: Hoja Concepción-Chillán. Mapas geológicos preliminares de Chile, escala 1:250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile (Inédito). 56 pp. Santiago.
- GARCÍA F. 1968: Estratigrafía del Terciario de Chile Central. *Editorial Andrés Bello*: 25-58p. Santiago.
- GLODNY, J.; ECHTLER, H.; COLLAO, S.; ARDILES, M.; BURÓN, P. y FIGUEROA, O. 2008. Differential Late Paleozoic active margin evolution in South-Central Chile (37°S–40°S) – the Lanalhue Fault Zone. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. **26**: 397-411.
- GLODNY, J.; LOHRMANN, Jo.; ECHTLER, H.; GRÄFE, K.; SEIFERT, W.; COLLAO, S. y FIGUEROA, O. 2005. Internal dynamics of a paleoaccretionary wedge: insights from combined isotope tectonochronology and sandbox modelling of the South-Central Chilean forearc. *Earth and Planetary Science Letters*. Vol. **231**: 23-39.
- GODOY, E. 1979: Metabasitas del basamento metamórfico chileno nuevos datos geoquímicos. II Congreso Geológico Chileno. E133-E144. Arica.
- GONZÁLEZ-BONORINO, O. y AGUIRRE, L. 1970: Metamorphics facies series of the crystalline basement of Chile. *Geologische Rundschau*. Vol. **59**: 979-993.
- HERVÉ, F. 1977: Petrology of crystalline basement of the Nahuelbuta Mountains, south central Chile. In Comparative Studies on the Geology on the Circumpacific Orogenics Belts in Japan-Chile. Editores Ishikawa, T. y Aguirre, L. *Society for the Promotion of Science*: 1-51p.
- HERVÉ, F. 1988. Late Paleozoic subduction and accretion in Southern Chile. *Episodes*. Vol. **11**: 183–188.
- HERVÉ, F.; KAWASHITA, K.; MUNIZAGA, F.; y BASSEI, M. 1984: Rb-Sr isotopic ages from late Paleozoic metamorphic rocks of central Chile. *Journal of Geology Society*. Vol. **141**: 877-884.

- HERVÉ, F.; CALDERÓN, M.; FANNING, C. M.; PANKHURST, R. J. y GODOY, E. 2013. Provenance variations in the Late Paleozoic accretionary complex of central Chile as indicated by detrital zircons. *Gondwana Research*. Vol. **23**: 1122-1135.
- HERVÉ, F.; FAUNDEZ, V.; CALDERÓN, M.; MASSONE, H. y WILLNER, A. 2007. Metamorphic and plutonic basement complexes. Chapter 2. The Geology of Chile. *Editores Moreno, T. y Gibbons, W. The Geological Society*: 5-19. Londres.
- HERVÉ, F.; GODOY, E.; PARADA, M. A.; RAMOS, V.; RAPELA, C.; MPODOZIS, C. y DAVISON, J. 1987: A general view of the Chilean-Argentine Andes, with emphasis on their early history. Circumpacific Orogenic belts and evolutions of the Pacific and Ocean Basin. *Editores Mongeurs y Francheteur. American Geophysical Union. Geodynamic Series*. Vol. **18**: 97-113.
- KLEIN, C. y HURLBULT, C. JR. 1997. Manual de Mineralogía. Cuarta Edición. Basado en la obra de J. Dana. *Reverté S.A.*: 407p. Barcelona.
- MARDONEZ, D.; MERINO, R.; VELÁSQUEZ, R.; BONILLA, R. Y QUINZIO, L.A. 2012. Caracterización y condiciones de metamorfismo de una nueva unidad dentro del Paleozoico de la Cordillera de la Costa (Unidad Patagual - El Venado), Región del Biobío, Chile. XII Congreso Geológico Chileno. Vol. **13**: 371-373. Antofagasta.
- MARTIN, M.; KATO, T.; RODRIGUEZ, C.; GODOY, E.; DUHART, P.; MCDONOUGH, M. y CAMPOS, A. 1999. Evolution of the late Paleozoic accretionary complex and overlying forearc-magmatic arc, south central Chile (38°-41°S): Constraints for the tectonic setting along the southwestern margin of Gondwana. *Tectonics*. Vol. **18**: 582-605.
- MARTÍNEZ, R. 1968. Necesidad de una nueva comprensión de los esquemas clásicos sobre el terciario de Chile Central. IN El Terciario de Chile, Zona Central. *Editorial Andrés Bello*: 280 pp. Santiago.
- MARTÍNEZ, T.; VALENZUELA, D.; HEVIA, F.; SILVA, G.; HERVÉ, F. 2015. Estado actual de reconocimiento y distribución geográfica del Patrimonio Geológico Chileno. XVI Congreso Geológico Chileno. Vol. **4**: 420-423. La Serena.
- MUÑOZ-CRISTI, J. 1946. Estado actual del conocimiento sobre la geología de la Provincia de Arauco. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Vol. **3**: 105-124. Santiago.
- MUNOZ- CRISTI, J. 1968. Contribución al conocimiento geológico de la región situada al sur de Arauco y participación de material volcánico en los sedimentos eocenos en el terciario de Chile Central. *Editorial Andrés Bello*: 280 pp. Santiago.
- NIELSEN, S. 2005. The Triassic Santa Juana Formation at the lower Biobío River, south central Chile. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. **19**: 547-562.

- NIELSEN, S.; DEVRIES, T.; ENCINAS, A.; FINGER, K. y PETERSON, D. 2003. Towards an understanding of the age of the Navidad Formation. X Congreso Geológico Chileno. Concepción.
- PARTARRIEU, 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. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 153 pp. Santiago.
- RAMOS, V.A.; JORDAN, T.E.; ALLMENDINGER, R.W.; MPODOZIS, C.; KAY, S.M.; CORTÉS, J.M. y PALMA, M. 1986. Paleozoic terranes of the Central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*. Vol. 5: 855-880.
- RIVERA, R. 2014. Geología, Geomorfología y Geopatrimonio en el Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Región del Biobío, Chile. Memoria para optar al título de Geóloga. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 226 pp. Concepción.
- RODRIGUEZ, C. 2013. Patrimonio Geológico en la ciudad de Santiago: Caracterización y Valorización de Geositos en torno a un núcleo urbano. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología: (Inédito): 156 pp. Santiago.
- SALAZAR, C. 2004. Ammonites del Maastrichtiano de la Formación Quiriquina, VIII Región del Biobío, Chile. Sistemática, Bioestratigrafía y afinidades paleobiogeográficas. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 155 pp. Concepción.
- SALAZAR, C.; STINNESBECK, W.; QUINZIO, L.A. y BONILLA, R. 2003. Antecedentes de Ammonites el Maastrichtiano, Formación Quiriquina, Chile. X Congreso Geológico chileno. Concepción.
- SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Escala 1:1.000.000. Publicación Geológica Digital N° 4. Santiago.
- SHELLEY, D. 1993. Igneous and metamorphic rocks under the microscope. *Editorial Chapman & Hall*: 166-169p. Londres
- TAVERA, J. 1942. Contribución al estudio de la estratigrafía y paleontología del Terciario de Arauco. I Congreso Panamericano de Ingeniería en Minas y Geología. Vol. 2: 580-632. Santiago.
- TAVERA, J. 1960. El Triásico del valle inferior del Río Biobío. Universidad de Chile, Departamento de Geología, Vol. 18, 27 pp. Santiago.
- UNESCO. 2016. Geoparques Mundiales de la UNESCO. Celebrando el Patrimonio de la Tierra, sosteniendo comunidades locales. Impreso en talleres de la UNESCO: 18 pp. París

- VÁSQUEZ, P. 2001: Petrología y geotermobarometría del basamento metamórfico de la Cordillera de La Costa de Chile entre los 36°30' y 38°00'S. Memoria para optar al título de Geóloga. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 170 pp. Concepción.
- WILLNER, A. 2005. Pressure - Temperature Evolution of a Late Palaeozoic Paired Metamorphic Belt in North - Central Chile (34°-35°30'S). *Journal of Petrology*. Vol. **46** (9): 1805-1833.
- ZAMBRANO, P.; ENCINAS, A. y NIELSEN, S. 2012. Sedimentología e icnología de eventos transgresivos durante el Paleógeno de Chile Central (Península de Arauco). Antecedentes para la aplicación de estratigrafía secuencial en parasecuencias. XII Congreso Geológico Chileno. Vol. **1**: 640-642p. Antofagasta.



ANEXOS

La Quiastolita, también conocida como piedra cruz es un mineral de origen metamórfico muy resistente, por lo cual con la erosión se desprende de la roca. Tiene forma alargada y si uno mira una sección transversal es posible observar un patrón en forma de cruz. La cruz está compuesta de impurezas de grafito que son incorporadas en las esquinas del cristal durante su crecimiento, ya que ahí hay más material disponible.

Esquema de la formación de la cruz en el cristal de Quiastolita: El cristal (amarillo) visto de frente y la incorporación de impurezas carbonosas (grs) en las esquinas.

Piedras cruces de Laraquete

Sección transversal del cristal de Quiastolita: se observa el patrón en forma de cruz. Abotado en microquartz de quiastolita en Laraquete.

Río Tromgol

Sector sur de la Playa de Colcura

Ubicación Geográfica

Visita Laraquete y descubre la maravillosa piedra cruz.

VIII Región, Chile

Francisca Parraguez Jiménez
franparraguez@udec.cl
Departamento de Ciencias de la Tierra
Universidad de Concepción

Patrimonio Geológico

Piedra Cruz

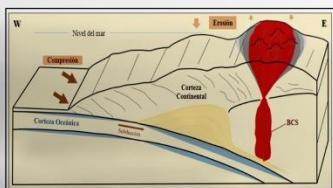
Laraquete - Chile

Datos importantes y sus orígenes geológicos para el Turista sobre la famosa Piedra Cruz y sus orígenes geológicos.

A1: Cara exterior tríptico de información turística.

PATRIMONIO GEOLÓGICO DE LA PIEDRA CRUZ EN.

Las montañas y las rocas son los registros de la memoria de la Tierra y sirven para entender su historia que, en Laraquete comienza hace 350 millones de años, con un planeta muy distinto al que hoy conocemos. La Cordillera de los Andes aún se encontraba en formación, producto del acomodo de la placa oceánica -más pesada- debajo de la placa continental -más liviana- en el proceso conocido como subducción.



Cuando la joven cordillera comienza su alzamiento, se ve sometida a acción del viento y agua que producirán el material que será erosionado y transportado hasta el fondo del océano donde será depositado. Una vez aquí sufrirá cambios de temperatura y presión que compactarán los sedimentos formando las rocas que actualmente observamos en el litoral de la Región del Biobío, específicamente a la latitud de las playas Colcura, Chivilingo y Laraquete (37°S).

Estas rocas se vieron afectadas por la compresión debido al choque de las placas tectónicas (imagen arriba) y sufrieron un proceso llamado Metamorfismo Regional, que se traduce en el plegamiento que se observa en ellas, colocándolas verticales cuando en un comienzo se depositaron de manera horizontal (Imagen Central de Colcura Norte).



En Colcura Norte afloran rocas con alternancia de bandas claras y oscuras; las primeras son ricas en cuarzo y las oscuras, en grafito y micas.



Aforamiento de Lutitas Moteadas de Biotita en Playa Chivilingo, aquí se encuentran las rocas que representan la Zona de Biotita.

La siguiente zona es la de Andalcita y podemos observarla en las rocas de Laraquete y Trongol. En ella encontramos la variedad Quiastolita, que son cristales de Andalcita con forma de cruz que también conocida como Piedra Cruz.

Y la zona más cercana al intrusivo es la de Silimanita, en donde se hallan los minerales que necesitan de mayor temperatura para formarse.



Cristales de Piedra Cruz en afloramiento (a la izquierda) y en rodado (derecha) en Laraquete.



Cristales de Piedras cruces en rodado en el Río Trongol, Trongol bajo.

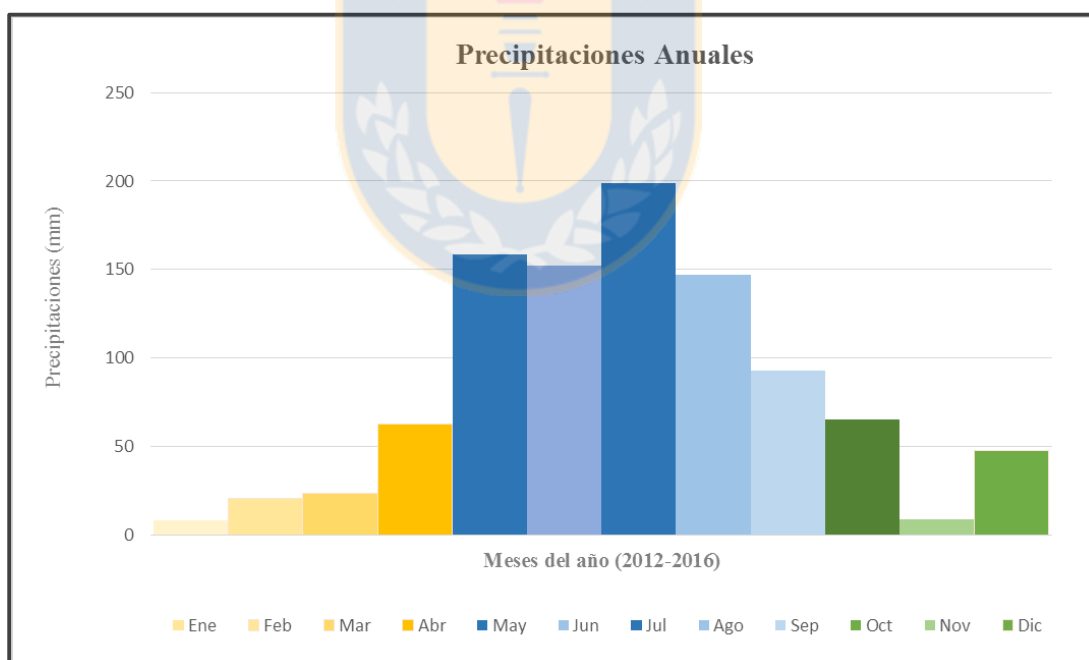
A2: Cara interior del tríptico información turística.

Cuenca:		Río Caranpangue		Altitud (msnm):		10		UTM Norte		5875294		
SubCuenca:				Latitud S:		37° 15' 19"		UTM Este (mts):		655815		
				Longitud W:		73° 14' 35"		Área de Drenaje		0,00		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2010	0	52	45	0	36	285,1	215	200	73	56	38	25
2011	30	25	50	99	55	230	189	209,9	126	38	10	0
2012	0	60	0	55,1	209	218	71	128	48	47	0	184
2013	0	10	25	20	203,9	134,7	130	148	50	30,2	10,1	10
2014	42	25	69	86	108	300	277	110	182,9	45	0	0
2015	0	0	0	51	139,1	108	304,9	215	94,9	129,9	35	45
2016	0	10	25	102	133	0	211,3	133	90	75	0	0
2017	0	13	95	25								

A3: Precipitaciones mensuales de los últimos siete años para la Estación Caranpangue.

	Media	2012	2013	2014	2015	2016
Ene	8,4	0	0	42	0	0
Feb	21	60	10	25	0	10
Mar	23,8	0	25	69	0	25
Abr	62,82	55,1	20	86	51	102
May	158,6	209	203,9	108	139,1	133
Jun	152,14	218	134,7	300	108	0
Jul	198,84	71	130	277	304,9	211,3
Ago	146,8	128	148	110	215	133
Sep	93,16	48	50	182,9	94,9	90
Oct	65,42	47	30,2	45	129,9	75
Nov	9,02	0	10,1	0	35	0
Dic	47,8	184	10	0	45	0
	987,8					
	175,44					
	812,36					

A4: Media de las precipitaciones mensuales de los últimos cinco años para la Estación Caranpangue.



A5: Gráfica de las precipitaciones anuales desde el año 2012 hasta el 2016.

A6: Ficha Evaluación Cuantitativa-Cualitativa. Modificado de Brilha (2005); Carcavilla y otros (2007).

1.-IDENTIFICACIÓN

Breve descripción y fotos:

¿Ha dado lugar a colecciones en Museos o Centros de Investigación? SI NO

¿Dónde se encuentran?

¿Está relacionado con usos, costumbres y conocimientos tradicionales del entorno?

Alfarería y cerámica Tintes y pinturas Arquitectura popular

Cales y yesos Producción salinera Tradición termal

Fiestas / tradiciones populares Leyendas Otros:

2.-LOCALIZACIÓN

UTM X: UTM Y: Huso Datum:

Hoja(s) 1:25.000

Hoja 1:200.000

Paraje(s)

Municipio Isla (en su caso)

Comuna

Región

Descripción del itinerario de acceso

3. FISIOGRAFÍA, CLIMATOLOGÍA Y ENTORNO SOCIOECONÓMICO

Cota Max. Min. Media

Tipo superficie Montañosa Costera Boscosa

Matorral Pastizal Rocosa Otra

Entorno socioeconómico

Comuna con índices de renta *per cápita*, educación y ocupación similares a la media regional pero inferiores a la media nacional

Comuna con índices de renta *per cápita*, educación y ocupación inferiores a la media regional

Comuna con declive socioeconómico (Zonas de rezago)

4. SITUACIÓN GEOLÓGICA

Contextos Geológicos

Edad del Rasgo Límite inferior Límite superior

Edad de las rocas Límite inferior Límite superior

encajantes

Columna geológica (si procede): **Ajuntar imagen jpg (Pueden identificarse los tramos que se desee):**

Litología n Espesor n Edad n Comentario

FICHA EVALUACIÓN CUANTITATIVA-CUALITATIVA

5. VALOR INTRÍNSECO

Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
A1-Grado de conocimiento científico					
A2-Rareza o Abundancia Regional					
Interés geológico principal (uno sólo)					
Estratigráfico	Sedimentológico	Geomorfológico	Paleontológico		
Tectónico	Petrológico-geoquímico	Geotécnico	Minero-metalogénico		
Mineralógico	Hidrogeológico	Historia de la Geología	Otro:		
Kárstico	Geo-cultural	Eólico	Económico		
Litoral	Fluvial	Lacustre	Otro:		
Justificación:					
Interés geológico secundario (puede ser más de uno)					
Estratigráfico	Sedimentológico	Geomorfológico	Paleontológico		
Tectónico	Petrológico-geoquímico	Geotécnico	Minero-metalogénico		
Mineralógico	Hidrogeológico	Historia de la Geología	Otro:		
Kárstico	Geo-cultural	Eólico	Económico		
Litoral	Fluvial	Lacustre	Otro:		
Justificación:					
Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
A3-Lugar tipo o representatividad					
A4-Extensión					
A5-Diversidad de elementos geológicos					
A6-Contenido Didáctico/Divulgativo					
A7-Asociación con elementos culturales					
A8-Asociación con elementos naturales					
A9-Estado de Conservación					
A10-Estético y paisajístico					
A11-Vulnerabilidad natural o Fragilidad					

FICHA EVALUACIÓN CUANTITATIVA-CUALITATIVA					
6. POTENCIAL DE USO					
Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
B1-Posibilidad de realizar actividades					
B2-Condiciones de observación					
B3-Accesibilidad					
B4-Grado de dificultad de acceso					
B5-Proximidad a centros poblados					
B6-Número de habitantes de la comuna más cercana					
B7-Condiciones socio económicas					
B8-Uso actual					
B9-Peligro de Tsunami					
B10-Posibilidad de recolección de muestras					

Interés didáctico (justificación):

Carretera asfaltada con aparcamiento autobús

Carretera asfaltada sin aparcamiento próximo

Pista sin asfaltar acceso todo terreno

Otros:.....

.

Carretera asfaltada aparcamiento turismo

Pista sin asfaltar acceso
turismo

Camino o senda acceso a pie

Accesos adaptados a discapacitados

Distancia del lugar a carretera asfaltada (en Km):

Duración aproximada en horas y minutos del itinerario para un recorrido normal:

Uso actual del suelo Forestal (%) Ganadero (%) Agrícola (%) Urbanizado (%) Otro (especificar) (%)

Infraestructura logística

Alojamiento y restaurante para grupos de hasta 20 personas a menos de 25 Km

Alojamiento y restaurante para grupos de 40 personas a menos de 25 Km

Interés NO geológico del lugar (puede ser más de uno)

Minero-industrial

Excursionístico o Paisajístico

Justificación del interés no geológico:

Naturalístico

Otro:

Arqueológico

Arquitectónico

Etnológico

Histórico o cultural:

FICHA EVALUACIÓN CUANTITATIVA-CUALITATIVA					
7. NECESIDAD DE PROTECCIÓN					
Parámetro	Nulo (1)	Bajo (2)	Medio (3)	Elevado (4)	Muy elevado (5)
C1-Amenazas actuales o Potenciales					
C2-Situación legal actual					
C3-Interés por la extracción Minera					
C4-Régimen de Propiedad					
C5-Fragilidad o Vulnerabilidad					

Propiedad del terreno

Pública (%)

Privada (%)

Calificación urbanística

Rural preservado de su transformación urbanística (%)

Rural no preservado de su transformación urbanística (%)

Urbano (%)

Instrumentos jurídicos de protección existentes

Referencia y fecha:

Enlace

URL:

Protección física o indirecta

Lugar fácilmente accesible pero situado lejos de sendas y camuflado por la vegetación

Lugar fácilmente accesible, solo camuflado por la vegetación

Lugar carente de todo tipo de protección indirecta

8. DOCUMENTOS (los que procedan)

Fotos con comentarios

Croquis con itinerarios, si procede

Mapa Geológico

Plano topográfico de detalle

Plano topográfico de situación a escala adecuada (1:5.000 a 1:200.000)

Adquisición de datos en campo

Adquisición de datos por bibliografía

Autor(es) de la propuesta del lugar:

9. BIBLIOGRAFÍA (indicar referencia al respecto)

Adjúntese pdf texto con la siguientes normativa:

a) Artículos de revistas.

b) Libros

c) Capítulos de libros

d) Actas de congresos

e) Informes y trabajos inéditos

f) Páginas web