



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

PATRIMONIO GEOLÓGICO DE LA COMUNA DE PUCHUNCAVÍ, PARA LA
CREACIÓN DEL GEOPARQUE PUCHUNCAVÍ, V REGIÓN DE
VALPARAÍSO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

NICOLÁS PATRICIO LÓPEZ CARROZZI

PROFESOR GUÍA:

FRANCISCO HERVÉ ALLAMAND

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

MARÍA VERÓNICA ANDRADE OYARZÚN

LUIS AGUIRRE LE-BERT

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el FONDECYT 1122037

SANTIAGO DE CHILE

2016

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE:** Geólogo
POR: Nicolás Patricio López Carrozzi
FECHA: 6/01/2016
PROFESOR GUÍA: Francisco Hervé Allamand

RESUMEN

En esta memoria se ha realizado una prospección del geopatrimonio de Puchuncaví. El área de estudio se ubica en la comuna de Puchuncaví, V Región de Valparaíso, a los 32°43'S y 71°25'W, donde afloran rocas sedimentarias fosilíferas, volcánicas, intrusivas y depósitos cuaternarios. Se presenta un mapa geológico 1:50.000, columnas estratigráficas e ilustraciones de los procesos que caracterizan la geología de la comuna.

Se han valorado cualitativa y cuantitativamente 5 geositos -sitios que presentan un valor singular desde el punto de vista científico, pedagógico, cultural, turístico u otro-, y se ha descrito la geología de 6 puntos de interés geológico (PIG), con el fin de fomentar el conocimiento científico de la comunidad sobre la geología local y generar una base para la futura creación del Geoparque Puchuncaví.

Adicionalmente se ha realizado un estudio de circones detríticos pertenecientes a la Sucesión Fosilífera de San Antonio de Puchuncaví, determinando la edad máxima posible de depositación en 173,2±1,2 Ma (Aaleniano, Jurásico Medio). La proveniencia de estos circones tiene su origen, probablemente, en el Batolito Costero de edad Pensilvaniana para un grupo de circones del Carbonífero superior y en el arco Jurásico para un grupo de circones de edad Aaleniana (Jurásico Medio).

Este trabajo nace como una iniciativa de protección, valoración y divulgación del geopatrimonio de Puchuncaví, comuna que ha sido testigo de los efectos negativos de la industria termoeléctrica que opera en la localidad de Ventanas desde la década del '50.

*Para esta Tierra,
que sostiene mis pies.*

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, agradecer el financiamiento de los análisis, los cuales se hicieron en la Australian National University bajo la dirección de C.M.Fanning y financiado por el Proyecto FONDECYT 1122037.

A mi familia, por el apoyo totalmente incondicional de mis decisiones y por el hermoso gran regalo de financiar mis estudios en Geología.

A Francisco Hervé por su luz, entusiasmo y apoyo incondicional a este trabajo, a la instancia educativa y al desarrollo del geopatrimonio en Chile.

A Verónica Andrade por su fuerza y ánimos de cambiar el mundo y por darme la valentía necesaria para lograr este trabajo y enfrentar mis propios miedos.

A Luis Aguirre por ser un guía en momentos de oscuridad y darme la fuerza para continuar cuando los ánimos flaquearon.

A Francisco Fuentes por llevar a cabo personalmente los análisis de circones detríticos en Australia y a Katja Deckart por su tutoría en la interpretación de éstos.

A Roberto y Julio de separación de cristales y cortes transparentes por la paciencia, gentileza y buena disposición.

A Ita, por su bella compañía y por no permitir que muera la flor de la libertad. Muchas gracias!.

A los que me acompañaron a terreno Juancho, Marta, Mabri, Paulo, Pia y Agus por ser los ojos de este trabajo.

Un agradecimiento a los cabros de escalada, natación, slack, etc., Jota, Juancho, Edu, Dieguito, Tom, Anto por ser parte de mi autoconocimiento y mantenerme en equilibrio todo este tiempo.

A los cabros LC y LCh, Mauri, Paulo, Juancho, Jota, Edu, Patty, Dieguito, Marta, Paula Red, Mariachi, Nicoso, Venado, Locura Gómez, Pancho Parra, Guajiro, Loco Jose, Fabi, Anto, Vladi, Tom, y tantos otros por las risas, la música, los aliñados y la buena onda que caracteriza a este departamento.

A los almuerzos de Astrid & André, LMDB y los Hare por la alimentación especialmente el último y todos los años de estudio.

Un agradecimiento gigante a todos los funcionarios de Geología, que mantienen cálido y funcionando al Departamento de Geología, Don Carlos y Don Carlos Alvarado, Rosita, Verito, las Tías del aseo, guardias y muy en especial a la Blanquis, por solucionar el 99% de mis problemas y su graaaaaan paciencia y amor a todos sus “niños”.

Finalmente, agradecer a todos los que hicieron posible este trabajo y a todos los que trabajan hoy en día en geopatrimonio y que han devuelto el valor a la Tierra que pisamos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	I
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Presentación	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivos Generales	2
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Metodología de Trabajo.....	3
1.3.1 Geopatrimonio	3
1.3.2 Datación en circones detríticos	4
1.4 Área de Estudio y vías de acceso	4
2 MARCO TEÓRICO	6
2.1 Patrimonio Geológico y Geopatrimonio.....	6
2.2 Conceptos relacionados al Geopatrimonio	7
2.2.1 Patrimonio Paleontológico	7
2.2.2 Patrimonio Geomorfológico	7
2.2.3 Geodiversidad	8
2.2.4 Geositio	8
2.2.5 Geoturismo.....	8
2.2.6 Geoparque.....	9
2.3 Valoración de los geositios	9
2.3.1 Valoración Cualitativa.....	10
2.3.2 Valoración Cuantitativa	10
3 SÍNTESIS GEOLÓGICA	11
3.1 Unidades Estratificadas.....	12
3.2 Unidades Intrusivas.....	15
4 GEOPATRIMONIO	18
4.1 Geomorfología	18
4.2 Mapa Geológico Geoparque Puchuncaví.....	19
4.3 Columnas Estratigráficas.....	21
4.3.1 Fm. Caleta Horcón.....	21

4.3.2	Sucesión Fosilífera de San Antonio de Puchuncaví	23
4.4	Valoración Cualitativa	25
4.4.1	Geositio Yacimiento Paleontológico Los Maitenes de Puchuncaví.....	26
4.4.2	Geositio Acantilados de Quirilluca	30
4.4.3	Geositio Acantilados de Playa Larga de Horcón de Puchuncaví.....	35
4.4.4	Geositio Arco de Roca Las Ventanas de Puchuncaví	41
4.4.5	Geositio Sucesión Fosilífera de San Antonio de Puchuncaví.....	47
4.5	Valoración Cuantitativa	54
4.6	Puntos de Interés Geológico (PIG).....	56
4.6.1	PIG 1: Aureola de contacto La Quebrada	56
4.6.2	PIG 2: Mirador La Canela.....	58
4.6.3	PIG 3: Dique camino La Canela.....	59
4.6.4	PIG 4: Metarrudita de El Rincón.....	60
4.6.5	PIG 5: Vetas en Granitoide Jurásico.....	62
4.6.6	PIG 6: Minas de Chilicauquén Alto y Bajo	63
5	GEOCRONOLOGÍA EN CIRCONES DETRÍTICOS.....	64
5.1	Resultado análisis U-Pb de la muestra SA3	65
5.2	Edad máxima posible de depositación	66
6	DISCUSIÓN.....	68
6.1	San Antonio de Puchuncaví.....	68
6.1.1	Proveniencia de los circones detríticos	70
7	CONCLUSIONES	73
8	BIBLIOGRAFÍA.....	74
8.1	Referencias.....	74
8.2	Documentos en línea	78
	ANEXO A: VALORACIÓN CUALITATIVA DE GEOSITIOS.....	79
	ANEXO B: VALORACIÓN CUANTITATIVA DE GEOSITIOS	82
	ANEXO C: DATOS U-Pb CIRCONES DETRÍTICOS	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados conteo de clastos facies S4 San Antonio de Puchuncaví.	52
Tabla 2. Resultados de la valoración cuantitativa de los geositios.	55
Tabla 3. Puntuación obtenida por cada geositio.	56
Tabla 4. Tabla que detalla los criterios intrínsecos del geositio	83
Tabla 5. Tabla que detalla los criterios relacionados con el uso potencial del lugar.....	84
Tabla 6. Tabla que detalla los criterios relacionados con la necesidad de protección ...	85
Tabla 7. Q: cuantificación final de la relevancia del geositio; A,B,C.....	85
Tabla 8. Datos análisis U-Pb en circones detríticos muestra SA3.	87
Tabla 9. Datos análisis U-Pb en circones detríticos muestra SA3 (continuación).	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Vista panorámica de la comuna de Puchuncaví.....	1
Figura 2. Playa de Ventanas visto desde el Norte.....	2
Figura 3. Acantilados de Horcón, Quirilluca y Maitencillo.....	7
Figura 4. Perfiles de elevación orientación E-W a distintas latitudes.	18
Figura 5. Columna estratigráfica Fm. Caleta Horcón.....	22
Figura 6. Columna estratigráfica de la Sucesión Fosilífera de San Antonio de Puchuncaví.	24
Figura 7. Fm. Caleta Horcón en marrón claro	28
Figura 8. Badlands que disectan la Fm. Caleta Horcón.....	28
Figura 9. Sistema de drenaje dendrítico.	29
Figura 10. Ortoconglomerados de la Facies H3.....	29
Figura 11. Gastrópodo (izquierda) y bivalvo (derecha) de la Fm. Caleta Horcón.	29
Figura 12. Caverna Quirilluca Este.....	32
Figura 13. Vista hacia el sur desde el interior de la caverna Este.	32
Figura 14. Caverna Quirilluca Sur.	33
Figura 15. Acantilados de Quirilluca.	33
Figura 16. Superficie de abrasión del extremo norte del geositio.....	34
Figura 17. Playa Larga de Horcón vista desde el límite sur del geositio	37
Figura 18. Fotointerpretación de Fm. Horcón en Playa Luna.	37
Figura 19. Laminación convoluta en color negro.....	38
Figura 20. Estratificación cruzada planar (facies H3).....	39
Figura 21. Nivel de gravas de la facies H4 de la Fm. Caleta Horcón.	39
Figura 22. (a) Dientes de tiburón (b) Dientes de Carcharodón carcharias (tiburón blanco) (c) Fragmento óseo de foca (d) Vértebra de pez.	40
Figura 23. Vista desde el sur del arco de roca La Ventana.....	43
Figura 24. Fotomicrografía de la Granodiorita de Biotita.	43
Figura 25. Vista en detalle de la Granodiorita de biotita.	44
Figura 26. Fotomicrografía del contacto entre un enclave y la Granodiorita.	45
Figura 27. Superficie de abrasión y arco de roca.	45
Figura 28. Dique aplítico cuarzo-feldespático.	46
Figura 29. Afloramiento Fm. San Antonio de Puchuncaví.....	49
Figura 30. Niveles turbidíticos facies S1.	49
Figura 31. Bandas de liesegang. Invertebrados de la facies S1	50
Figura 32. Fotomicrografías de la facies S1.....	50
Figura 33. Gradación normal de los clastos de la facies S2.	51
Figura 34. Invertebrados y corales deformados de la facies S1.	51
Figura 35. Estratificación cruzada de la facies S3.....	52
Figura 36. Conglomerado de la facies S4.....	52
Figura 37. Conteo de clastos del conglomerado facies S4.....	53
Figura 38. Vista panorámica hacia el este de San Antonio.....	53

Figura 39. Fiesta religiosa de San Antonio.	54
Figura 40. Vista panorámica hacia el este del PIG 1.	56
Figura 41. Granito de feldespató alcalino.	57
Figura 42. Aureola de contacto entre el intrusivo microdiorítico y el granito.	57
Figura 43. Xenolitos de la microdiorita.	57
Figura 44. Rocas de la Fm. Ajial, deformadas y brechizadas.	58
Figura 45. Vista Panorámica hacia el este de La Canela.	58
Figura 46. Vista panorámica del PIG 3.	59
Figura 47. Arriba fotografía del dique y abajo tobas de la Fm. Ajial.	59
Figura 48. Vista general de la Metarrudita.	60
Figura 49. Foliación NNE-SSW del conglomerado.	60
Figura 50. Metarrudita de El Rincón.	61
Figura 51. Granitoide Jurásico con enrejado de vetas de cuarzo-feldespató62	62
Figura 52. Red de vetas y vetillas cuarzo-feldespáticas, cortando el granitoide62	62
Figura 53. Mina de extracción a baja escala Chilicauquén Alto..63	63
Figura 54. Mina de extracción a baja escala Chilicauquén Bajo.63	63
Figura 55. Publicaciones por año que reportan o discuten datos geocronológicos de circones detríticos.64	64
Figura 56. Diagramas de Concordia muestra SA3.65	65
Figura 57. Densidad de probabilidad de la muestra SA3.66	66
Figura 58. Densidad de probabilidad de circones pertenecientes al Jurásico.67	67
Figura 59. Modelo paleogeográfico que ilustra la depositación de la Fm. Ajial69	69
Figura 60. Mapa esquemático geológico de Chile Central entre los 30° y los 40°S.70	70
Figura 61. Distribución de los cinturones plutónicos Carbonífero, Jurásico Inferior, Jurásico Medio y Cretácico del batolito costero entre los 31° y 34°S. 71	71
Figura 62. Provincias orogénicas de Sudamérica.72	72
Figura 63. Ficha para la evaluación cualitativa de geositos. 80	80
Figura 64. Ficha para la evaluación cualitativa de geositos. 81	81

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Complejo industrial.	2
Mapa 2. Mapa de ubicación del Geoparque Puchuncaví.	5
Mapa 3. Modificado de Carta Geológica Quillota-Portillo, SERNAGEOMIN, RIVANO et al. (1993).	11
Mapa 4. Unidades litológicas que afloran en el área de estudio.	20
Mapa 5. Ubicación de geositos y puntos de interés geológico (PIG).	25

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación

La conservación del patrimonio geológico es un asunto de suma importancia, no sólo desde el punto de vista de las Ciencias de la Tierra, sino para la sociedad que de él forma parte. Gracias al geopatrimonio –y al patrimonio geológico-, es posible el desarrollo de la investigación geológica, y en él “... se reúnen aspectos científicos, técnicos, culturales, económicos, estratégicos, recreativos, sociales. Incluso éticos y filosóficos, ya que lo relacionado con la conservación de la naturaleza posee un profundo trasfondo ético y un desarrollo filosófico importante cuyo conocimiento se hace fundamental para entender su significado.” (Carcavilla et al., 2007).



Figura 1. Vista panorámica de la comuna de Puchuncaví desde el Cordón de las Placetas.

La comuna de Puchuncaví (del mapudungún ‘*puchiün cahuin*’, Reuniones o fiestas en exceso), ubicada en la V región de Valparaíso, cuenta con diversos de estos aspectos que la hacen merecedora de ser estudiada, protegida y divulgada. Es por esto que, gracias a la iniciativa del Museo de Historia Natural de Puchuncaví -y en especial de Verónica Andrade- la comuna ha sido impulsada a formar parte del proyecto Geoparque Puchuncaví, el que actualmente cuenta con cuatro geositos –o sitios de interés geológico- reconocidos por la Sociedad Geológica de Chile.

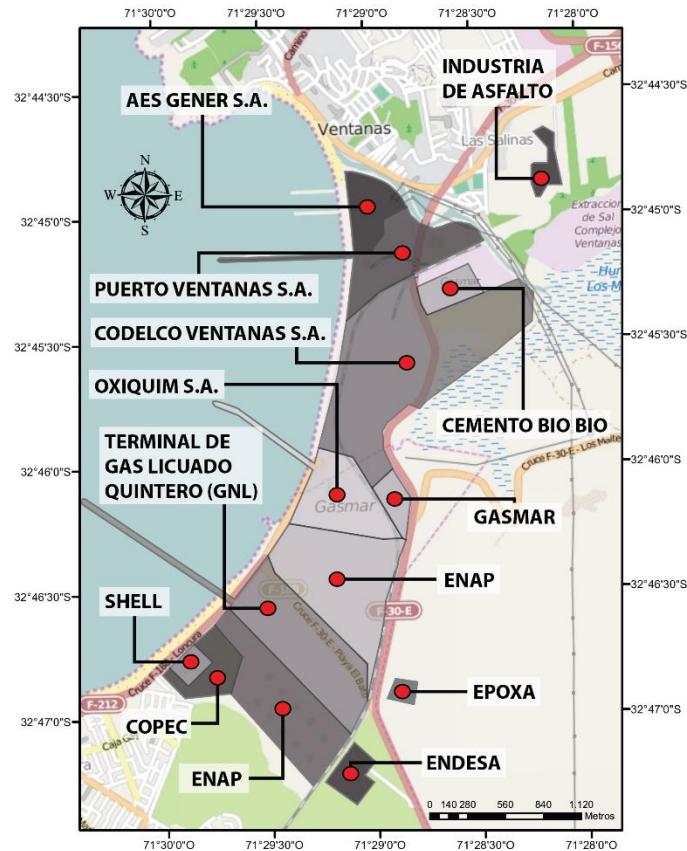
Actualmente, se encuentra en funcionamiento el Geoparque Kütralkura (Piedra de fuego, en mapudungún) ubicado en el sector Andino de la Región de la Araucanía. Este geoparque cuenta con un mapa geológico del geoparque, geositos, rutas geoturísticas, actividades educativas y económicas locales, otorgándole valor a la región y un sentido de comunidad, siendo un modelo que se puede replicar en diversos sectores del país.

Esta memoria nace como una iniciativa de protección, valoración y divulgación del geopatrimonio de Puchuncaví, comuna que ha sido testigo de los efectos negativos de la industria de refinería de cobre, termoeléctrica, portuaria y otras, que se desarrollan en la localidad de Ventanas desde la década del '50, privilegiando los intereses de la región y el país frente a los de esta localidad rural y cambiando, por tanto, un ecosistema en el que se desarrollaba la agricultura y la ganadería, por tierra estéril y sin uso agrícola (pérdida de servicios ecosistémicos).



Figura 2. Playa de Ventanas visto desde el Norte. A la izquierda de la imagen el balneario de Ventanas en contraste con el complejo industrial.

La situación actual de este complejo industrial se resume en el siguiente mapa, frente a la Bahía de Quintero.



Mapa 1. Complejo industrial compuesto mayormente por la industria termoelectrica, ubicado en la localidad de Ventanas, frente a la Bahía de Quintero.

Este trabajo también comprende un interés científico, especialmente de la era Paleozoica, el cual ha sido financiado por el proyecto Fondecyt 1122037, gracias al entusiasmo e interés de Francisco Hervé A.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

1. Valoración cualitativa y cuantitativa del patrimonio geológico de la comuna de Puchuncaví.

2. Poner la información generada en este estudio a disposición de la comunidad local con el fin de facilitar el diseño de políticas de conservación y gestión del geopatrimonio, tales como la creación de rutas geoturísticas y el desarrollo de programas educativos.

1.2.2 Objetivos Específicos

1.2.2.1 Con respecto al objetivo general 1

- I. Estudio petrográfico de las rocas que componen los geositios, a través de muestras de mano y/o cortes transparentes.
- II. Elaborar columnas estratigráficas en los geositios.
- III. Elaborar un mapa geológico 1:50.000 del Geoparque Puchuncaví.

1.2.2.2 Con respecto al objetivo general 2

- I. Elaborar ilustraciones mediante una recolección fotográfica con el fin de ilustrar procesos geológicos a público no especializado en el tema.
- II. Elaborar un documento (este trabajo) que indique los sitios de interés geológico de la comuna de Puchuncaví.

1.3 Metodología de Trabajo

1.3.1 Geopatrimonio

1. Elaboración de columnas estratigráficas y estudio de la petrografía de las rocas que componen los geositios a través de muestras de mano y/o cortes transparentes, con el fin de ilustrar los procesos geológicos que los modelaron. Las columnas estratigráficas fueron elaboradas con SedLog 3.0 y modificadas en Adobe Illustrator CS6 y las ilustraciones fueron diseñadas con Adobe Illustrator CS6 sobre fotografías tomadas en terreno.
2. Elaboración de un mapa geológico 1:50.000 del área comprendida por los límites administrativos de la comuna de Puchuncaví, basado en la Carta Geológica de Quillota-Portillo de RIVANO et al., (1993). El mapa fue elaborado con ArcMap de ArcGis sobre coordenadas geográficas UTM, sistema WGS84, zona 19. Se trabajó sobre una imagen ráster de topografía, z19.
3. Valoración cualitativa y cuantitativa de los geositios mediante la metodología que entrega MARTINEZ (2010) (Ver sección 2.3). Según esta metodología, aplican como geositio los sitios de interés con alto valor científico o con alto valor intrínseco

o de uso. Los sitios que no cumplen con este criterio fueron descritos como Punto de Interés Geológico (PIG) y se describen en menor detalle en la sección 4.6.

1.3.2 Datación en circones detríticos

1. Análisis U-Pb en circones detríticos de la muestra SA3 de la secuencia fosilífera de San Antonio de Puchuncaví en Australian National University bajo la dirección de C.M.Fanning y financiado por el Proyecto FONDECYT 1122037.
2. Determinación de la edad máxima de depositación y proveniencia de los circones mediante diagramas de probabilidad de densidad (PDP).

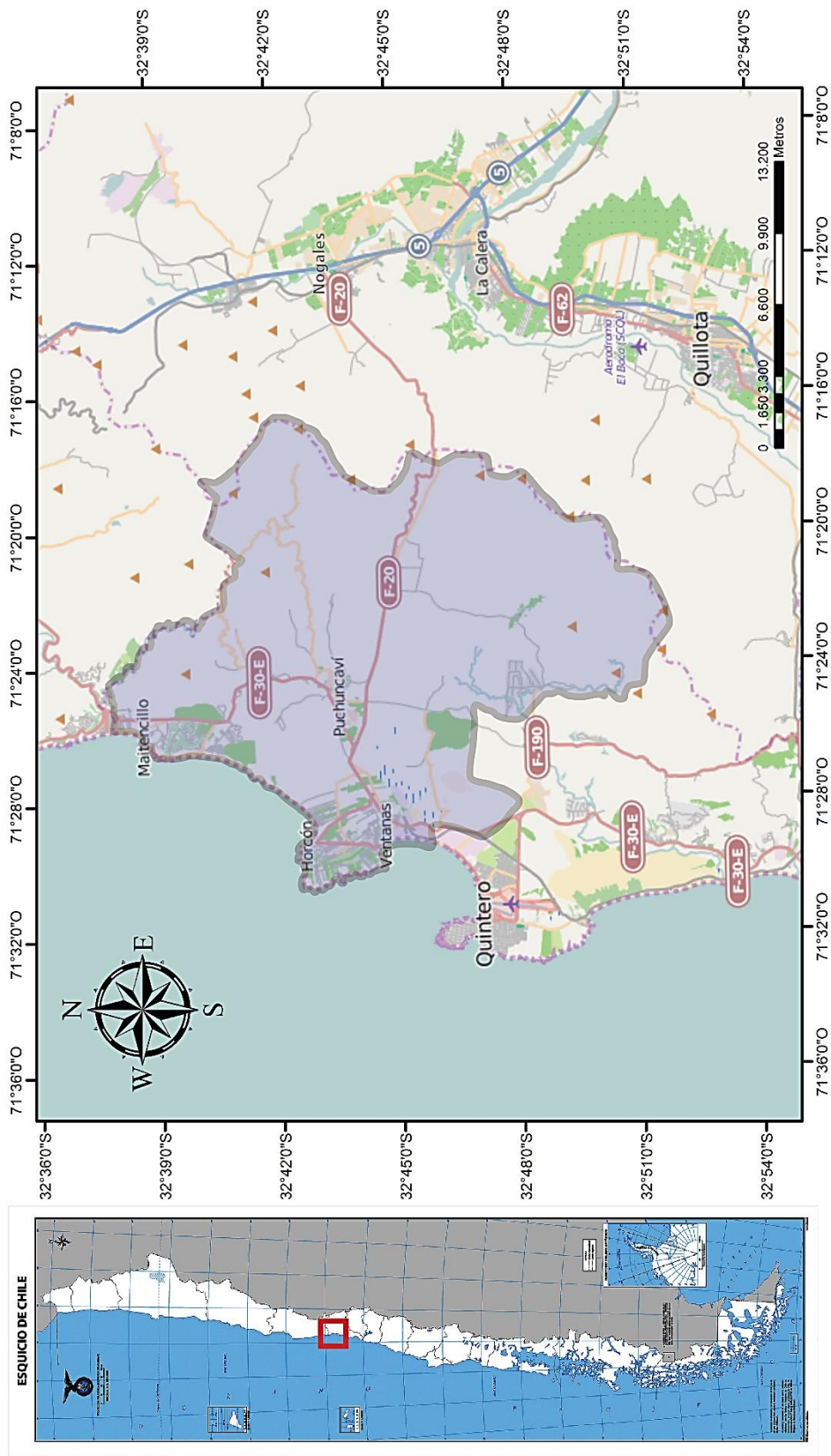
1.4 Área de Estudio y vías de acceso

El territorio definido para el Geoparque Puchuncaví corresponde al área encerrada por los límites administrativos de la comuna de Puchuncaví, V Región de Valparaíso, entre las latitudes $32^{\circ}37'52''$ y $32^{\circ}51'47''$ S y las longitudes $71^{\circ}30'32''$ y $71^{\circ}16'46''$ W (**Mapa 2**).

La comuna cuenta con 12.956 habitantes (Censo, 2002) y 22 localidades en una superficie de 301 Km². Limita al norte con la comuna de Zapallar, al sur con las comunas de Quillota y Quintero, al este con las comunas de Nogales y La Cruz y al oeste con el Océano Pacífico.

El acceso a la comuna se puede realizar a través de tres vías principales:

1. Desde el sur por la Ruta F-30-E, pasando por Viña del Mar, Concón y Quintero.
2. Desde el norte por la Ruta F-30-E, pasando por Catapilco y Maitencillo.
3. Desde el este por la Ruta F-20, pasando por Nogales.



Mapa 2. Mapa de ubicación del territorio definido para el Geoparque Puchuncaví, en color azul, . Esta área coincide con los límites administrativos de la comuna de Puchuncaví.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Patrimonio Geológico y Geopatrimonio

Existen numerosas definiciones de Patrimonio Geológico. La más extendida es la de CENDRERO (1996), quien lo define como: “el conjunto de recursos naturales, no renovables, ya sean formaciones rocosas, estructuras geológicas, acumulaciones sedimentarias, formas del terreno, o yacimientos minerales, petrológicos o paleontológicos, que permiten reconocer, estudiar e interpretar la evolución de la historia de la Tierra y de los procesos que la han modelado, con su correspondiente valor científico, cultural, educativo, paisajístico o recreativo”.

Otra definición bastante similar es que proporcionan GALLEGO Y GARCÍA CORTÉS (1996): “*el conjunto de recursos naturales no renovables de carácter científico, cultural o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, yacimientos paleontológicos y minerales, que permitan reconocer, estudiar, e interpretar la evolución de la historia geológica de La Tierra y los procesos que la han modelado*”.

Siendo, las anteriores, definiciones de referencia que suelen utilizarse, existen otras que han propuesto diferentes autores. Una definición algo más general la proporciona LAGO ET AL. (2001), que a partir de una revisión crítica de las anteriores, define al Patrimonio Geológico como “*el conjunto de los recursos naturales de la Gea, no renovables, caracterizados por una composición y unos procesos constitutivos que, operantes en la escala de tiempo geológica, poseen un interés singular para el conocimiento científico y cultural de la historia de la Tierra*”.

En palabras de RUBILAR (2008), “en Chile la palabra ‘geopatrimonio’ se ha utilizado en especial como sinónimo de ‘patrimonio geológico’, aunque también es definida como ‘patrimonio de la Tierra’. En ambos casos se refiere fundamentalmente a sitios o localidades donde se encuentran componentes significativos (materiales o del paisaje) para la Geología y las Ciencias de la Tierra en su conjunto, y las acciones involucradas se centran en la gestión patrimonial y turística de tales áreas. En tal sentido, UNESCO (2007) promueve la definición de ‘Geoparques’ en un plano integrador y como una forma de consolidar la protección de áreas geográficas con sitios de importancia no sólo para la Geología (en sentido amplio), sino que también para la Ecología, Arqueología, Historia y la Cultura.

2.2 Conceptos relacionados al Geopatrimonio

2.2.1 Patrimonio Paleontológico



El patrimonio Paleontológico puede ser definido como “el conjunto de restos o partes de organismos, impresiones y huellas de actividad vital de los mismos que se han conservado en el registro geológico, y cuya singularidad, excepcionalidad, representatividad, interés científico, didáctico o cultural los hace destacar y permiten reconstruir la evolución geológica de un lugar, las formas de vida que habitaron ese lugar en un momento determinado, su evolución biológica y el ambiente en que vivieron. Está formado por un patrimonio inmueble, constituido por yacimientos y secciones fosilíferas y por un patrimonio mueble, constituido por los ejemplares singulares ex-situ, como ejemplares concretos o colecciones paleontológicas, ejemplares-tipo, museos paleontológicos y exposiciones de fósiles, fundamentalmente. El interés científico de los restos paleontológicos puede venir dado por el tipo de fósiles, la edad del yacimiento, el estado de conservación, la diversidad, la asociación con restos arqueológicos, el hecho de ser localidades tipo, o por criterios geológicos, tafonómicos o bioestratigráficos (MORALES, 1996)”.

En el caso de Puchuncaví, los fósiles ex-situ pertenecientes a su patrimonio paleontológico son conservados y archivados en el Museo de Historia Natural de Puchuncaví, con fines educativos, de divulgación y protección.

2.2.2 Patrimonio Geomorfológico



Figura 3. Acantilados de Horcón, Quirilluca y Maitencillo vistos desde el balneario de Maitencillo.

Otro aspecto de patrimonio geológico es el patrimonio geomorfológico. CABALLERO (2003), haciendo una correspondencia con la definición de patrimonio geológico de CENDRERO (1996), afirma que el patrimonio geomorfológico “*incluye todos aquellos recursos naturales no renovables de valor científico, cultural o educativo que permitan reconocer, estudiar o interpretar la configuración de la superficie de la Tierra y los*

procesos que la han modelado. Esta definición incluye por lo tanto a los elementos geomorfológicos unitarios (escarpes, terrazas, crestas, etc.), como a aquellos espacios fisiográficos que configuran el medio natural (desde cañones fluviales, cavidades kársticas, relieves de origen volcánico, etc.) o la percepción que el ser humano tiene de todos ellos, esto es: el paisaje”.

Una definición más simplificada la realiza PANIZZA (1999): “aquella forma del terreno a la que se le puede asignar un valor, que será escénico, socioeconómico, cultural o científico”.

2.2.3 Geodiversidad

DIXON (1996A), EBERHARD (1997), SHARPLES (2002A) Y LA AUSTRALIAN HERITAGE COMMISSION (2002) han definido geodiversidad como “el rango o la diversidad de características geológicas (basamento), geomorfológicas (accidente geográfico) y del suelo, arreglos, sistemas y procesos”.

Stanley (2001), intentando responder a la pregunta, “¿Qué es la geodiversidad?”, propone que “es el vínculo entre personas, paisajes y cultura; es la variedad de ambientes geológicos, fenómenos y procesos que producen esos paisajes, rocas, minerales, fósiles y suelos que proveen el sustento para la vida en la Tierra”.

El Consejo Nórdico de Ministros introdujo el término “geodiversidad” en la conservación medioambiental de sus países en 1996. JOHANSSON (2000) ha publicado un libro de la geodiversidad de los países nórdicos, y en 2003 fue publicado un resumen (CONSEJO NÓRDICO DE MINISTROS, 2003). Este ve geodiversidad como: “la compleja variación de basamento, depósitos no consolidados, accidentes geográficos y procesos que forman paisajes (...)”. “Geodiversidad puede ser descrito como la diversidad de fenómenos geológicos y geomorfológicos en un área definida” (JOHANSSON, 2000, P. 13).

Habiendo considerado estas definiciones, la Royal Society for Nature Conservation, del Reino Unido, proporciona la siguiente: “Geodiversidad: el rango natural (diversidad) de características geológicas (rocas, minerales, fósiles), geomorfológicas (accidente geográfico, procesos) y de suelo. Incluye sus arreglos, relaciones, propiedades, interpretaciones y sistemas”.

2.2.4 Geositio

BRILHA (2005) lo ha definido como la ocurrencia de uno o más elementos de la geodiversidad, bien delimitado geográficamente y que presenta un valor singular desde el punto de vista científico, pedagógico, cultural, turístico u otro.

2.2.5 Geoturismo

Según la definición de geoturismo que proveen DOWLING Y NEWSOME (2006), el prefijo “geo” hace referencia a la geología y geomorfología y los recursos naturales,

geoformas, capas fosilíferas, rocas y minerales, con énfasis en los procesos que crean y han creado tales características. Geoturismo, entonces, puede ser conceptualizado según tres ámbitos: las **formas**, que representan el paisaje, sus características y materiales, fósiles, sedimentos, rocas, etc., el **proceso**, que incluye la actividad geológica y geomorfológica, vale decir, la serie de acciones que modelan las formas, incluyendo erupciones volcánicas, la acción erosiva del agua en curso, etc., y el **turismo** desarrollado, en forma de tours o visitas guiadas, en bus, mediante automóvil, etc.

2.2.6 Geoparque

La UNESCO define “geoparque” como un área nacional protegida que contiene un determinado número de sitios del patrimonio geológico de importancia particular según criterios de unicidad y estética.

Estos sitios son parte de un concepto integrado de protección, educación y desarrollo sustentable, que cumple sus objetivos mediante un enfoque de conservación, educación y geoturismo.

Si bien un Geoparque debe acreditar un patrimonio geológico de importancia internacional, su objetivo es explorar, desarrollar y exponer la relación de su patrimonio geológico con todos los otros aspectos de su patrimonio natural, cultural e inmaterial.

Se trata de vincular la sociedad humana, a todo nivel, con nuestro planeta; y de poner en evidencia como la Tierra, y su historia de 4.600 millones de años, ha dado forma a todos los aspectos de nuestras vidas y nuestras sociedades.

Un Geoparque global es una zona protegida que cuenta con un patrimonio geológico de importancia internacional, y que cumple asimismo con criterios de unidad y estética. Este patrimonio es utilizado para promover el desarrollo sostenible de las comunidades locales establecidas en el lugar.

Geoparque Global es una designación de calidad adoptada en forma voluntaria, y, si bien no es una designación legislativa, los sitios de mayor importancia dentro de Geoparque deben ser protegidos, según corresponda, por la legislación local, regional o nacional.

La UNESCO sostiene individualmente las iniciativas de los Geoparques solicitadas por los Estados Miembros. No existen restricciones en cuanto a las actividades económicas que se pueden desarrollar dentro de los Geoparques en la medida que cumplen con la legislación local, regional o nacional.

2.3 Valoración de los geositos

Para este aspecto se ha utilizado la metodología que provee MARTINEZ (2010), donde la valoración de los geositos se realiza mediante una valoración cualitativa y una cuantitativa.

2.3.1 Valoración Cualitativa

En esta se evalúan las dimensiones no cuantitativas del geositio a través de tres aspectos principales (más detallado en **Anexo A**):

- A. El **valor intrínseco**, que abarca el valor *científico*, el *interés geológico* (geomorfológico, paleontológico, mineralógico, petrológico, etc.) y los valores *ecológico, cultural, estético, didáctico, económico* y la *influencia local o internacional* que posee el geositio.
- B. El **potencial de uso**, que mide la *accesibilidad* al geositio, la *visibilidad*, otros valores *naturales o culturales, obstáculos* y el *peligro volcánico*.
- C. La **necesidad de protección**, a través del *deterioro* del geositio, la *vulnerabilidad*, el tipo de *protección* que posee y la *situación administrativa*.

Luego se entregan las características principales e imágenes más representativas del geositio y, finalmente, una descripción detallada con ilustraciones aptas para público no especializado en geología.

2.3.2 Valoración Cuantitativa

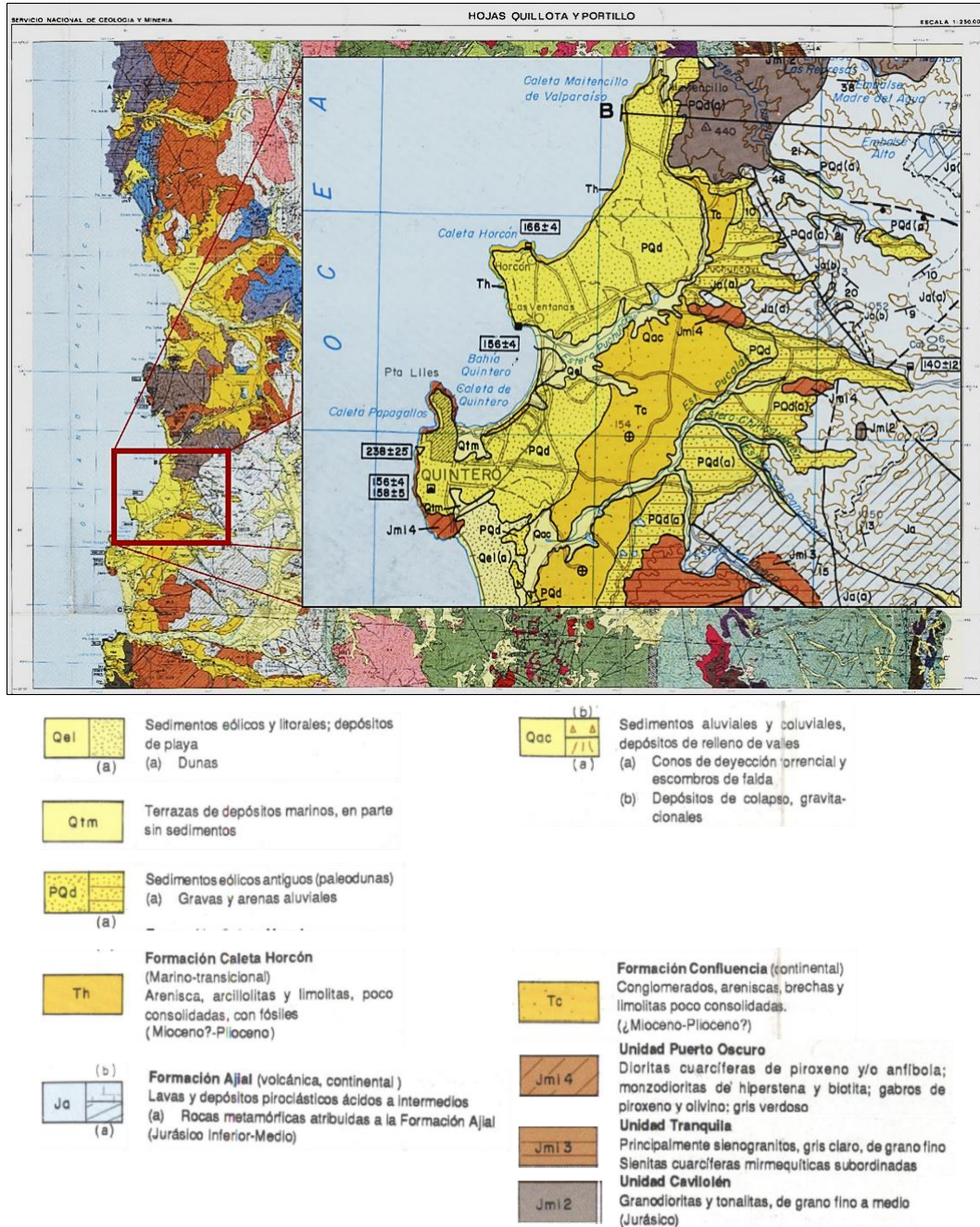
Esta valoración incluye tres aspectos que son evaluados con un puntaje de 1 a 5, que luego de sumados, son ponderados de dos formas distintas para obtener una puntuación regional o local y otra puntuación nacional o internacional (ver **Tabla 7, Anexo B**).

Los criterios utilizados en esta valoración son (más detallado en **Anexo B**):

- A. **Criterios intrínsecos del geositio**, que evalúa el estado actual del geositio, incluyendo la *abundancia regional*, el *grado de conocimiento científico*, la *extensión superficial*, la *diversidad de elementos geológicos*, entre otros.
- B. **Criterios relacionados con las necesidades de protección del geositio**, que incluye las *amenazas actuales o potenciales*, la *situación legal actual*, el *interés por la extracción minera*, el *régimen de propiedad* y la *fragilidad*.
- C. **Criterios relacionados con el uso potencial del lugar**, que incluye criterios como la *posibilidad de realizar actividades*, las *condiciones de observación*, la *posibilidad de recolección de objetos*, la *accesibilidad*, el *grado de dificultad del acceso al geositio*, *proximidad a algún centro poblado*, entre otros.

3 SÍNTESIS GEOLÓGICA

En el área de estudio afloran rocas intrusivas, sedimentarias marinas, transicionales y continentales, depósitos eólicos y depósitos cuaternarios. Estas litologías se presentan en el **Mapa 3**, extraído de RIVANO et al. (1993), Carta Geológica Quillota-Portillo, SERNAGEOMIN.



Mapa 3. Modificado de Carta Geológica Quillota-Portillo, SERNAGEOMIN, RIVANO et al. (1993). En rojo, detalle del área de estudio.

3.1 Unidades Estratificadas

FM. QUEBRADA DEL POBRE (Jqp) (Jurásico Inferior)

En la localidad tipo, consiste, principalmente, en 1251 m. de areniscas más o menos finas, lutitas fisibles, lentes de caliza y algunas intercalaciones de conglomerados; sin embargo, hay participación de cierta importancia de elementos volcánicos (THOMAS, 1958). La parte inferior de esta formación consiste en 20 a 30 m. de arcosas cuarcíferas gruesas, de color blanco, las que llevan lentes de conglomerados de cuarzo. Estas arcosas constituyen el conglomerado basal de la transgresión marina del Jurásico inferior y, probablemente, representan el residuo retrabajado de los minerales resistentes a la meteorización, que se habían acumulado sobre la peniplanicie que cortaba los pliegues suaves del Triásico Superior continental. El límite superior consiste en una zona de transición a los queratófiros de la Formación Ajial (THOMAS, 1958).

Esta formación es clástico-marina compuesta por conglomerados, areniscas, fangolitas fosilíferas y tobas, pertenecientes al Jurásico Inferior (RIVANO ET AL., 1993), aunque no afloran en el área de interés, aparecen al norte, frente a la Caleta de Papudo.

FM. AJIAL (Ja) (Jurásico Inferior – Medio)

Correspondiente al Grupo Melón (definido por RIVANO et al., 1993), THOMAS (1958) la define como una secuencia de lavas queratófíricas con intercalaciones de tobas y brechas; en ciertas áreas presenta intercalaciones sedimentarias, por lo general de arenisca, aunque también de lutitas y algunas de calizas. El límite inferior de la formación está marcado por la transición de los sedimentos marinos de la formación Quebrada del Pobre a las rocas volcánicas y es subyacente a una “gruesa serie de brechas y tobas con intercalaciones de areniscas”, atribuidas a los niveles inferiores de la Formación Melón.

Posteriormente CARTER Y ALISTE (1962) incluyeron en la Formación Ajial a las “brechas y tobas con intercalaciones de areniscas” de Thomas (Formación Melón). Igualmente lo hicieron PIRACES (1976) Y PIRACES Y MAKSAEV (1977). Según estos trabajos el techo de la formación son las sedimentitas marinas de la Formación Cerro Calera (nueva unidad que reemplaza a parte de la Formación Melón), de edad Bajociano medio y superior.

La Formación Ajial está compuesta por tobas, brechas volcánicas, y lavas andesítico-dacíticos, y escasas intercalaciones sedimentarias de conglomerados, areniscas y pelitas calcáreas, apareciendo como una franja elongada Norte-Sur. Los niveles sedimentarios muestran a menudo pliegues sinsedimentarios con orientación irregular, figuras de carga y estratificación cruzada (RIVANO et al., 1993). Extensiones considerables de la Fm. Ajial se encuentran afectadas por un fuerte metamorfismo dinámico y termal que en algunos sectores oblitera totalmente las estructuras y fábrica originales de las rocas volcánicas. Estas rocas metamorfoseadas se simbolizan como la facies a de la Fm. Ajial.

El espesor de la Fm. Ajial en el sector del cerro Piedra Trepada fue estimado por PIRACES (1976) en 705m, reconociendo en dicho sector como Fm. Ajial sólo las rocas no

metamorfoseadas; CANCINO (1992), incluyendo las metavolcanitas en la base de la Fm. Ajial, ha medido en el mismo sector un espesor de 1405m.

La edad de la Fm. Ajial está comprendida entre el Pliensbachiano y el Bajociano, de acuerdo a antecedentes paleontológicos (COVACEVICH, 1976; SEPÚLVEDA, 1988)

Estas rocas afloran al E del área de estudio.

FM. CALETA HORCÓN (Th) (Mioceno?-Plioceno)

THOMAS (1958) la definió como un conjunto de rocas integrada por areniscas, arcillolitas y limolitas de color gris a café, que en posición prácticamente horizontal aparece formando un acantilado en la costa entre Maitencillo y Horcón, con una potencia mínima de 80-90 m. Esta formación se extiende hasta el pie de los cerros ubicados al este de Puchuncaví (THOMAS, 1958).

Estas rocas también se encuentran en una situación similar entre las localidades de La Laguna y Cachagua al norte de la localidad tipo. Probablemente también deben incluirse en esta formación los sedimentos litorales que forman parte del acantilado costero entre Viña del Mar y Concón los que son especialmente visibles en el sector de Las Salinas y Reñaca. ESPÍÑEIRA (1989) ha reconocido extensamente esta formación en los cortes de esteros y quebradas en la planicie litoral que se extiende entre el valle del río Aconcagua y Catapilco. (RIVANO ET AL., 1993).

Esta formación cubre en clara discordancia depositacional a las unidades más antiguas estratificadas e intrusivas que afloran a lo largo de la Cordillera de la Costa en este sector y está, a su vez, cubierta por depósitos eólicos cuaternarios y/o pleistocenos que enmascaran su distribución tierra adentro. En algunos sectores es posible observar cómo estos depósitos gradan a gravas continentales de origen fluvio-aluvional (RIVANO ET AL., 1993)

Esta formación aflora al W del área de estudio en forma de acantilados y es posible reconocerla en cortes de quebrada al interior del continente

FORMACIÓN CONFLUENCIA (Tc) (¿Mioceno – Plioceno?, Rivano, 1993)

Definida por RIVANO Y SEPÚLVEDA (1991) y previamente descrita por ESPÍÑEIRA (1989) como una secuencia de gravas y ripios con intercalaciones de arenas poco consolidadas que se distribuyen en terrazas altas y con potencias de 50 a 100 m las que muestran una distribución superficial parcialmente concordante con el sistema hidrográfico actual. Estos sedimentos se depositaron discordantemente sobre las unidades de rocas jurásicas que afloran en la costa y engranan lateralmente a la Formación Caleta Horcón. La edad puede suponerse equivalente a la edad supuesta para la Formación Caleta Horcón, fundamentalmente pliocena.

La Formación Confluencia aflora al centro y al sur del área de estudio de esta memoria.

SEDIMENTOS EÓLICOS ANTIGUOS (PQd) (Cuaternario) (Unidad informal)

Los sedimentos eólicos antiguos (Paleodunas) se reconocen a todo lo largo de la costa en lugares discretos, a partir desde el norte del río Quilimarí hasta el límite sur de la hoja Quillota en el sector de Concón. Forman superficies suavemente onduladas que cubren parcialmente las terrazas costeras, depositándose sobre los depósitos de la Fm. Caleta Horcón y sobre unidades más antiguas tales como los granitoides de las superunidades Cochoa (sector Concón) y Mincha (sector entre Quintero y la punta Guallarauco), al norte de ahí, entre punta Molles y Punta Quelén cubren rocas del Triásico y Jurásico, cubriendo áreas más restringidas (RIVANO ET AL., 1993).

Corresponden a arenas poco consolidadas, de colores ocres, muy bien seleccionadas y con evidencias de estratificación entrecruzada frecuente: el espesor puede variar desde unos pocos cm hasta alrededor de 10m. Normalmente la superficie superior es convexa u ondulada y sólo cubierta por suelo actual, siendo quizás estas formas onduladas testimonio de una morfología de barjanas. Su distribución, casi siempre relacionada a áreas o sectores a sotavento de playas o al norte de las puntas, indica que se habrían acumulado según un régimen de vientos muy similar al actual, es decir con una componente predominante de vientos de dirección NNE (RIVANO ET AL., 1993).

Relacionadas a las paleodunas aparecen gravas finas y arenas aluvionales (PQd(a)) en el sector del Estero Pucalán, al este de Quintero; estos depósitos de carácter aluvional se habrían originado por el lavado y erosión del relieve inmediatamente ubicado al E, y, por cubrir a la Fm. Confluencia al igual que las Paleodunas (QPd) se las ubica cercana en el tiempo. La edad de las paleodunas ha sido discutida, más al norte (RIVANO Y SEPÚLVEDA, 1991) asignándoles una edad Plioceno-Pleistoceno (RIVANO ET AL., 1993).

Estos sedimentos se encuentran cubriendo aproximadamente tres cuartas partes del área de estudio de este trabajo.

TERRAZAS DE DEPÓSITOS MARINOS, EN PARTE SIN SEDIMENTOS (QTm) (Unidad Informal)

Esta unidad, que en sentido estricto corresponde a una unidad morfológica, corresponde a unas pequeñas terrazas que aparecen en Cachagua y Quintero. Estas terrazas, de extensión comparativamente reducida, están labradas sobre rocas sedimentarias poco consolidadas marino-litorales que son cubiertos lateralmente por las paleodunas y que probablemente pueden corresponder a la Fm. Caleta Horcón (Mioceno?-Plioceno), además estas formas afectan a las Paleodunas (QPd), por lo cual se habrían generado posteriormente y probablemente favorecidas por su ubicación geográfica (RIVANO ET AL., 1993). PASKOFF (1999) definió estas terrazas (y otras más en la región de Coquimbo) como el “nivel de Cachagua”, las cuales habrían sido labradas por una transgresión marina hace 80.000 años atrás, llamado el estadio de Cachagua.o

3.2 Unidades Intrusivas

UNIDAD PUERTO OSCURO (JURÁSICO)

Pertenciente a la Superunidad Mincha, RIVANO ET AL. (1985) la define como dos cuerpos batolíticos de forma irregular que se extienden entre el río La Ligua, por el norte y el estero La Canela por el sur. El cuerpo de más al norte se ha denominado Plutón Papudo y el de más al sur Plutón La Laguna. Ambos cuerpos están separados por una franja de intrusivos pertenecientes a la Unidad Cavilolén. En ella se han reconocido tres subunidades: las Cuarzodioritas de Cachagua, el Gabro de Las Cujas, ubicadas principalmente en el Plutón Papudo y las Cuarzodioritas de La Laguna que ocupan la totalidad del Plutón La Laguna. Rocas asignadas a esta unidad (ESPIÑEIRA, 1989) afloran también en el acantilado costero entre Caleta Horcón y Ventanas donde son cubiertas por sedimentos Cuaternarios (Pqd) y Mio-Plioceno (Th).

Subunidad Cuarzodioritas de Cachagua (= Unidad Cachagua, ESPIÑEIRA, 1989)

Se ubica principalmente en el plutón de Papudo y a lo largo del acantilado costero entre Caleta Horcón y Ventanas. Corresponde a cuarzodioritas, cuarzomonzodioritas y dioritas de colores gris oscuro a negro; subordinadamente pueden aparecer tonalitas. A lo largo de la costa predominan las cuarzodioritas y las dioritas. Petrográficamente, ESPIÑEIRA(1989) las describe como cuarzodioritas, cuarzomonzodioritas, dioritas y tonalitas de clinopiroxenos, biotita, hornblenda, y en menor proporción, ortopiroxenos. La textura es fanerítica de grano medio a grueso. Es común la presencia de cúmulos máficos, opacos y accesorios. La plagioclasa corresponde a An₃₅₋₄₀ observándose a veces reemplazo parcial por parches de feldespato potásico. El cuarzo aparece como pequeños cristales xenomorfos. La biotita muestra un fuerte pleocroísmo en tonos pardos a rojos. La hornblenda es fuertemente pleocróica en tonos verdes y reemplaza, normalmente a clinopiroxenos.

En algunos sectores se observan inclusiones máficas de formas elipsoidales y subcirculares con bordes definidos cuya composición varía desde cuarzodioritas leucocráticas a dioritas melanocráticas. Las rocas de esta unidad son intruidas por vetillas de granodioritas de hornblenda las que según ESPIÑEIRA (1989) podrían corresponder a fluidos residuales de la cristalización y ricos en álcalis y alúmina.

Las edades obtenidas por métodos Plomo- α (LEVI et al., 1960, DRAKE, MUNIZAGA Y VICENTE, 1982), K-Ar en biotita y en anfíbola (ESPIÑEIRA, 1989), además de una isócrona con 11 muestras (ESPIÑEIRA y PARADA, 1987), dan un rango entre 160 y 167 Ma.

Subunidad Gabro de las Cujas (= Gabro de las Cujas, ESPIÑEIRA, 1989)

Se trata de dos cuerpos pequeños que afloran al norte de Caleta Las Cujas, en donde uno de ellos se pone en contacto con las cuarzodioritas de Cachagua, y el otro en el sector de Santa Rosa de Colmo en la vertiente sur del valle del río Aconcagua, donde es parcialmente cubierto por los depósitos de la Formación Confluencia.

Son gabros de hornblenda de color gris negro de grano grueso a muy grueso.

Subunidad Cuarzodioritas de La Laguna (= Unidad Catapilco, ESPÍÑEIRA, 1989)

Constituye un solo plutón de carácter batolítico, el plutón de La Laguna, el que hacia el E y SE intruye niveles de rocas volcánicas de la Fm. Ajial, las que aparecen suavemente plegadas y afectadas por metamorfismo termal (ESPÍÑEIRA, 1989). Hacia el norte son intruidas por la Unidad Cavilolén, contacto que en gran parte está cubierto por la Fm. Confluencia. Estas rocas corresponden a cuarzodioritas, cuarzomonzodioritas, y subordinadamente, tonalitas y monzonitas cuarcíferas de anfíbolas verdes y clinopiroxeno. Las inclusiones máficas son escasas, oscilando composicionalmente entre cuarzodioritas a dioritas de anfíbola; su textura es porfírica de grano medio.

Al norte del área de estudio, aflora parte del Plutón La Laguna frente a la Caleta Maitencillo, en la localidad La Laguna.

UNIDAD CAVILOLÉN (JURÁSICO, RIVANO ET AL., 1985) (=Unidad Limache de ESPÍÑEIRA, 1989).

Es la más extensa de las unidades intrusivas jurásicas, aflora en grandes plutones batolíticos y cuerpos menores asociados. Los principales plutones son: el plutón de Petorca-Quilimarí, plutón de Guaquén, plutón de La Ligua, plutón de Las Salinas, plutón de El Melón-Catapilco, plutón de Zapallar, plutón Quintero, plutón Santa Teresa y plutón de Limache.

El color predominante es gris claro y es notorio un bandeamiento mineralógico acentuado por la presencia de inclusiones máficas orientadas acorde a dicho bandeamiento. Las rocas de esta unidad intruyen a todas las unidades estratificadas del Triásico-Jurásico. Estas rocas son además intruidas por pequeños cuerpos graníticos y por filones dioríticos. Las rocas de esta unidad corresponden a granodioritas, tonalitas y más raramente, a monzogranitos de biotita, hornblenda y en menor proporción, clinopiroxenos. Tienen textura fanerítica de grano grueso. Son comunes las evidencias de cataclasis, tales como la deformación y/o doblamiento de los cristales en el plutón de Limache, plutón de Santa Teresa y plutón de Quintero.

Las inclusiones máficas, de formas elipsoidales y alargadas, poseen bordes definidos y algunas de ellas presentan una zonación de color con las facies más melanocrática al centro de las inclusiones. Composicionalmente varían desde cuarzodioritas leucocráticas a dioritas melanocráticas. En algunos sectores, como en los balnearios de Ventanas y Quintero, estas inclusiones aparecen con grandes dimensiones (hasta 1,7m de largo) (ESPÍÑEIRA, 1989) y alineadas lo que sugiere que se trata de filones sinplutónicos.

Las edades radiométricas conocidas para esta unidad corresponden a 2 antiguas edades de Pb- α (LEVI ET AL., 1963; MUNIZAGA, 1972), 7 edades K-Ar en biotita (ESPÍÑEIRA, 1989; RIVANO ET AL., 1993), una edad K-Ar en anfíbola (ESPÍÑEIRA, 1989), 2 K-Ar par biotita/anfíbola (ESPÍÑEIRA, 1989) y dos isócronas, una en la Cuesta Zapata y otra en

Quintero. Las edades obtenidas se agrupan entre los 156 y 166 Ma, sin embargo las isócronas dan valores algo mayores 173 ± 28 en la Cuesta Zapata y 168 ± 4 la de Quintero (ESPIÑEIRA, 1989). Estas edades radiométricas dan un rango entre 156 y 170 Ma para esta unidad.

Unidad inferior de la Superunidad Mincha, compuesta por granodioritas y tonalitas de grano fino a medio (RIVANO ET AL., 1993). Aflora al noreste del área de estudio.

4 GEOPATRIMONIO

En este capítulo se desarrolla todo lo referente al geopatrimonio de la comuna de Puchuncaví, incluyendo un mapa geológico 1:50.000, columnas estratigráficas, evaluación y descripción de los geositos y descripción de seis puntos de interés geológico (PIGs).

4.1 Geomorfología

La comuna de Puchuncaví se caracteriza por 3 rasgos geomorfológicos principales: la Cordillera de la Costa con un piedemonte, una terraza marina y acantilados costeros que delimitan a esta última con las playas (**Figura 4**).

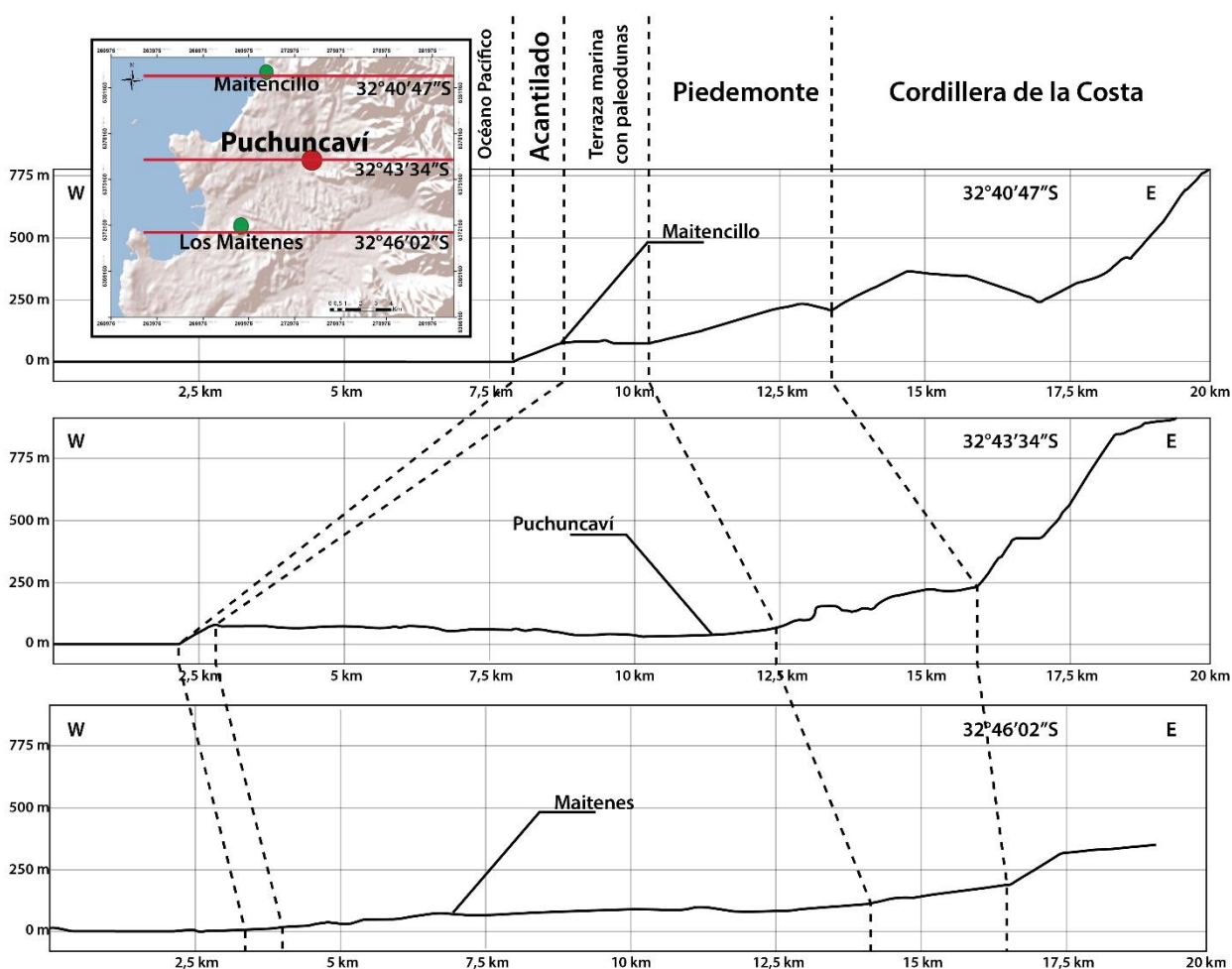


Figura 4. Perfiles de elevación orientación E-W a distintas latitudes. Se han identificado los principales dominios geomorfológicos. La escala vertical está exagerada. Los datos fueron extraídos de Google Earth.

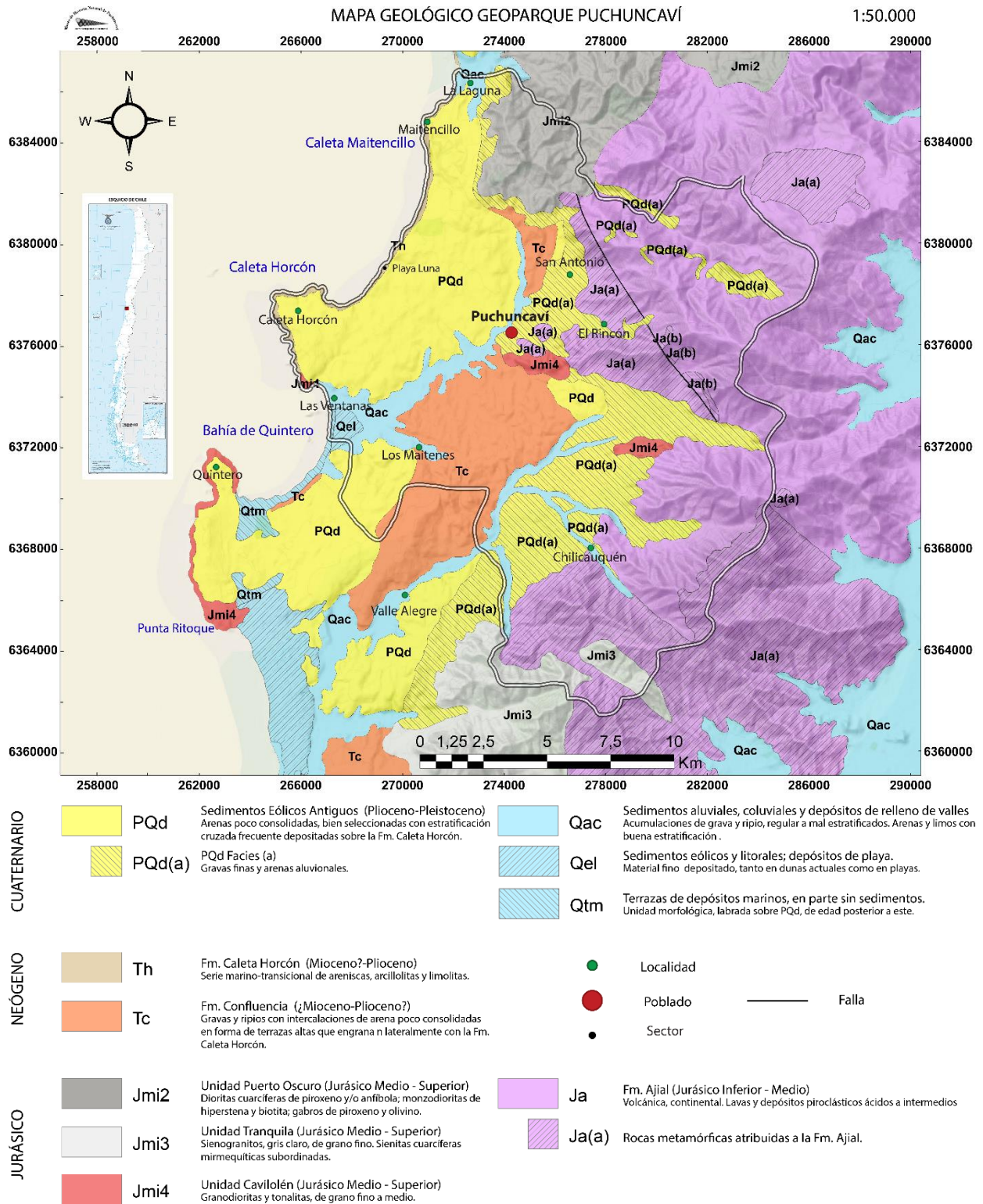
La Cordillera de la Costa tiene una inclinación promedio de 17°, inclinación máxima de 77° y diferencia máxima de elevación de 705m. El Piedemonte tiene inclinación promedio 9°, inclinación máxima de 29° y una diferencia máxima de elevación de 263m. La terraza marina con paleodunas tiene una inclinación promedio 4°, inclinación máxima de 9° y

diferencia máxima de elevación 47m. Los acantilados tienen inclinación promedio de 20°, inclinación máxima de 76° y diferencia máxima de elevación de 65m. Todos estos datos se han generado con Google Earth.

4.2 Mapa Geológico Geoparque Puchuncaví

Se presenta el mapa geológico para el Geoparque Puchuncaví (**Mapa 4**), escala 1:50.000, de dimensiones 60x70 cm aproximadamente, elaborado con ArcMap de ArcGis sobre coordenadas geográficas UTM, WGS84, en la zona 19S. Se trabajó sobre una imagen ráster de topografía, Z19.

El mapa está elaborado a partir de la Carta Geológica de Quillota-Portillo de RIVANO et al. (1993) elaborada para el SERNAGEOMIN y la información recabada en este trabajo. Se han utilizado las abreviaciones entregadas por la Carta Geológica de Quillota-Portillo.



Mapa 4. Unidades litológicas que afloran en el área de estudio. Modificado de RIVANO et al. (1993). Las dimensiones originales del mapa son 60 X 70 cm.

4.3 Columnas Estratigráficas

Se presentan, a continuación, las columnas estratigráficas elaboradas en Playa Luna, en el geosito Acantilados de Playa Larga de Horcón (Fm. Caleta Horcón) y en el geosito Sucesión Fosilífera de San Antonio de Puchuncaví. El espesor total de las columnas es de 34 y 12 metros, respectivamente. Las columnas fueron realizadas con SedLog 3.0 y modificadas con Adobe Illustrator CS6. Los colores que las rellenan representan el color real de los estratos.

Además, fueron definidas en esta memoria 7 facies lito-bioestratigráficas en la Fm. Caleta Horcón y 4 en San Antonio de Puchuncaví.

4.3.1 Fm. Caleta Horcón

Las 7 facies lito-bioestratigráficas definidas para esta formación son:

- H1: arenas finas a medias con presencia de concreciones
- H2: arenas finas a medias, masivas, con bivalvos en su base y laminación convoluta
- H3: arenas medias a gruesas, con lentes de conglomerados matriz-soportados y estratificación cruzada planar
- H4: conglomerado guijarroso clasto-soportado en matriz de arena gruesa
- H5: conglomerado con matriz arenosa y laminación horizontal
- H6: arenas medias a gruesas con laminación horizontal y estratificación cruzada
- C1: arenas medias con estratificación cruzada planar (paleodunas)

En la sección 4.4.3 se describe cada una de estas facies en mayor detalle.

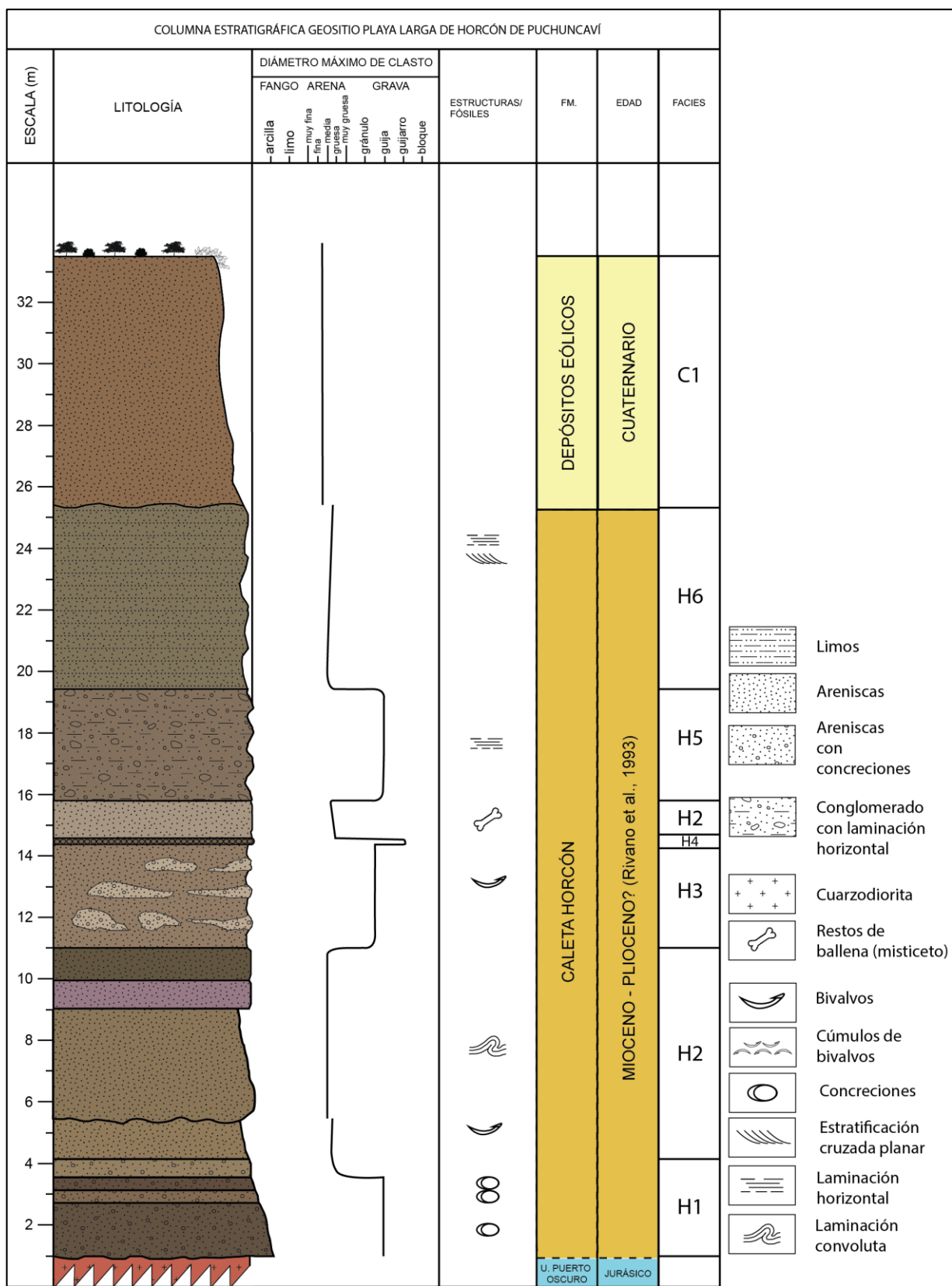


Figura 5. Columna estratigráfica Fm. Caleta Horcón, elaborada en Playa Luna, límite norte del geositio Playa Larga de Horcón de Puchuncaví. En su base limita con los granitoides Jurásicos de la Unidad Puerto Oscuro y en su techo limita con las Paleodunas de los Depósitos Eólicos Antiguos.

4.3.2 Sucesión Fosilífera de San Antonio de Puchuncaví

Las facies lito-bioestratigráficas definidas en este geosítio son:

- S1: turbiditas compuestas de arenisca gruesa en matriz de limo y arcillas, normalmente gradadas e intercaladas con limos y arcillas masivos con contenido de invertebrados.
- S2: areniscas gruesas, medias y conglomerados finos con laminación paralela y cruzada planar.
- S3: areniscas masivas con cuerpos lenticulares de limo, invertebrados y corales coloniales.
- S4: conglomerados clasto y matriz-soportados de matriz limo-arcilla y arena.

En la sección 4.4.5 se describe cada una de estas facies en mayor detalle.

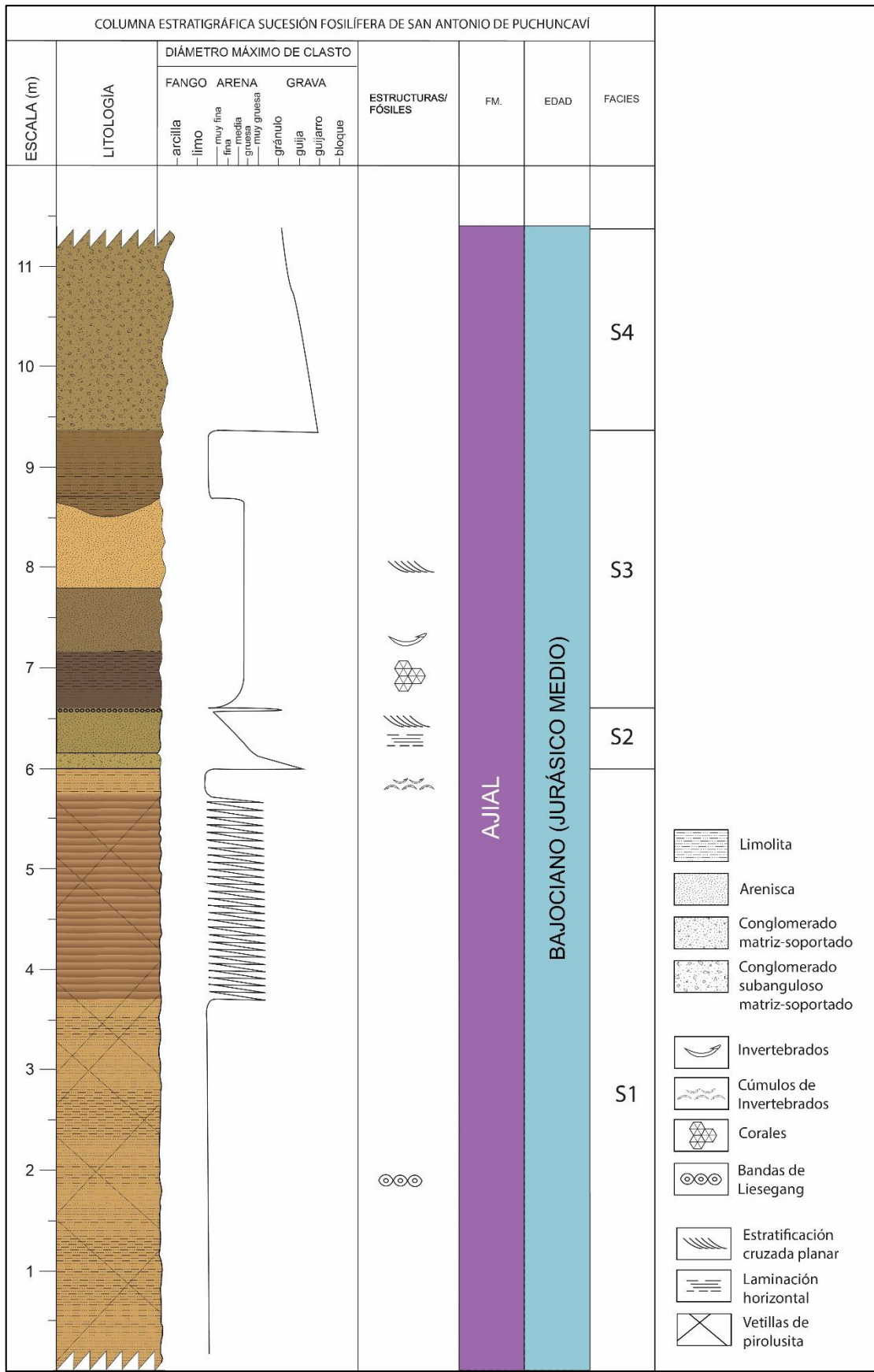
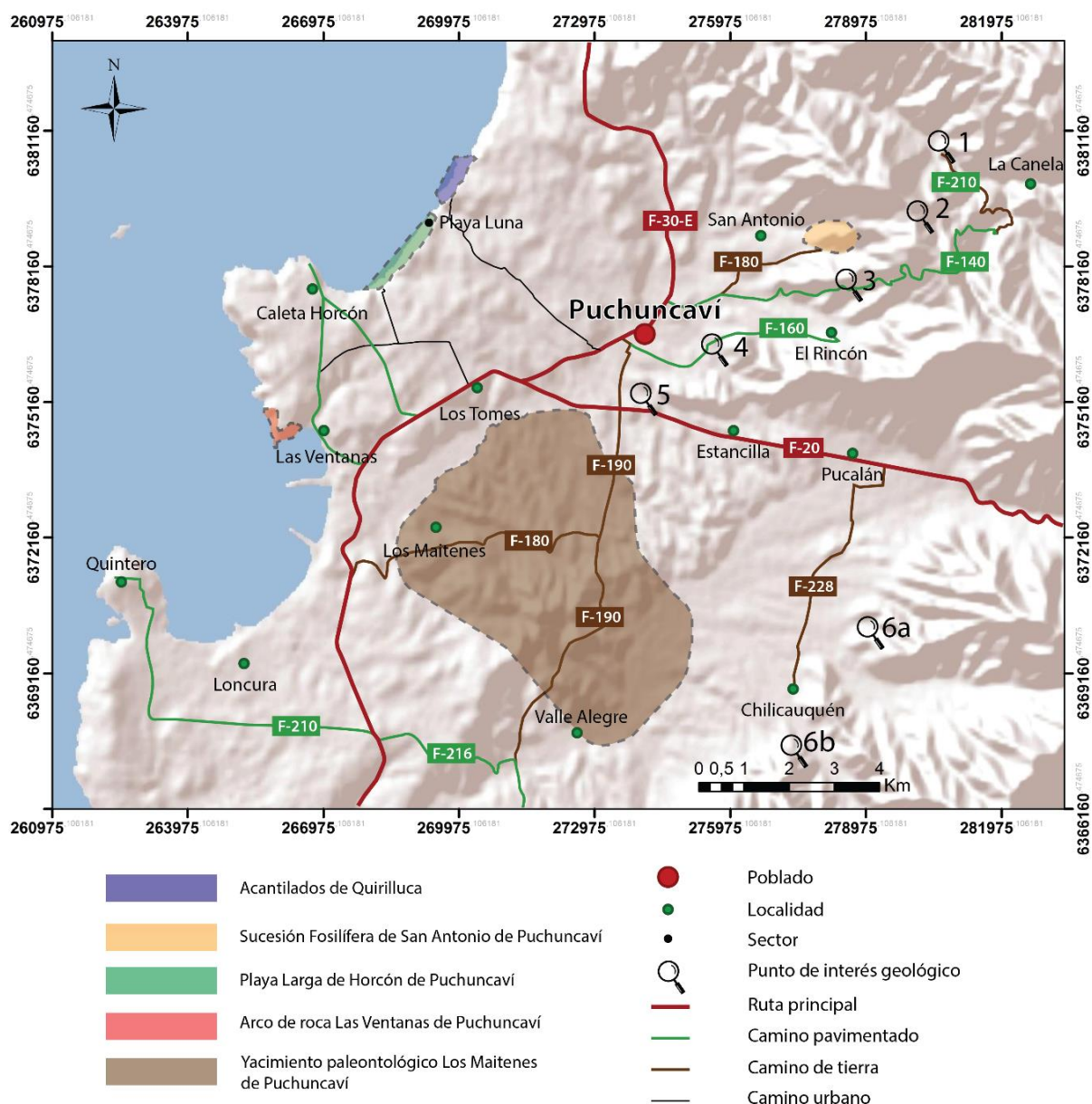


Figura 6. Columna estratigráfica de la Sucesión Fosilífera de San Antonio de Puchuncaví.

4.4 Valoración Cualitativa

A continuación se presenta la valoración cualitativa de los geositos incluidos dentro de la comuna de Puchuncaví. En el **Mapa 5** se muestra la ubicación y extensión de estos.



Mapa 5. Ubicación de geositos y puntos de interés geológico (PIG). Azul: Acantilados de Quirilluca | Verde: Acantilados de Playa Larga de Horcón | Rojo: Arco de Roca Las Ventanas | Café: Yacimiento Paleontológico Los Maitenes | Amarillo: San Antonio de Puchuncaví.

4.4.1 Geositio Yacimiento Paleontológico Los Maitenes de Puchuncaví

Nombre	Yacimiento Paleontológico Los Maitenes de Puchuncaví				
Ubicación					
Región: Valparaíso	Provincia: Valparaíso		Comuna: Puchuncaví		
Coordenadas	271392 m	6372575 m	Altitud:	44 msnm	
Población más próxima (cuál y distancia)			Ventanas, a ~3,5 km		
Dimensión:	Sitio <input type="checkbox"/>	Área <input checked="" type="checkbox"/>	Panorámico <input type="checkbox"/>		
A.- Valor intrínseco					
Científico:	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input checked="" type="checkbox"/>
Interés Geológico	Geomorfológico <input checked="" type="checkbox"/>	Paleontológico <input checked="" type="checkbox"/>	Geoquímico <input type="checkbox"/>	Cárstico <input type="checkbox"/>	Geo-cultural <input type="checkbox"/>
	Mineralógico <input type="checkbox"/>	Petrológico <input type="checkbox"/>	Volcánico <input type="checkbox"/>	Eólico <input type="checkbox"/>	Económico <input type="checkbox"/>
	Hidrogeológico <input checked="" type="checkbox"/>	Geotécnico <input type="checkbox"/>	Fluvial <input type="checkbox"/>	Litoral <input type="checkbox"/>	Meteorico <input type="checkbox"/>
	Estratigráfico <input checked="" type="checkbox"/>	Tectónico <input type="checkbox"/>	Lacustre <input type="checkbox"/>	Glaciar <input type="checkbox"/>	
Otro:	<input type="text"/>				
Ecológico	Nulo <input checked="" type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Cultural	Nulo <input checked="" type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Estético	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input checked="" type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Didáctico	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input checked="" type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Económico	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input checked="" type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Influencia a nivel:	Local <input type="checkbox"/>	Regional <input checked="" type="checkbox"/>	Nacional <input type="checkbox"/>	Internacional <input type="checkbox"/>	
B.- Potencial de uso					
Accesibilidad	Muy Difícil <input type="checkbox"/>	Difícil <input type="checkbox"/>	Moderada <input checked="" type="checkbox"/>	Fácil <input type="checkbox"/>	Muy fácil <input type="checkbox"/>
Tipo: Pavimento(P), Ripio(R), Tierra(T)	<input type="text"/>				
Estado: Bueno(B), Regular(R), Malo(M)	Pavimento en buen estado desde Ventanas a 3,5km por la ruta F-180 y 250m de caminata.				
Distancia del lugar propuesto a punto más próximo de acceso en:					
Bus:	<input type="text"/>	Automóvil:	250m	Todo terreno:	<input type="text"/>
Visibilidad	Muy poca <input type="checkbox"/>	Poca <input type="checkbox"/>	Moderada <input checked="" type="checkbox"/>	Buena <input type="checkbox"/>	Muy buena <input type="checkbox"/>
Otros valores (naturales y/o culturales) y uso actual			Sin valor y sin uso <input type="checkbox"/>	Sin valor y con uso <input checked="" type="checkbox"/>	
Detalle:	<input type="text"/>		Con valor y sin uso <input type="checkbox"/>	Con valor y uso <input type="checkbox"/>	
Obstáculos para el aprovechamiento del lugar:			Si <input checked="" type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	

Descripción: Se encuentra en propiedad privada. En sector sur del geositio se encuentra forestado con eucaliptus.

Peligro volcánico Muy alto Alto Moderado Bajo Nulo

C.- Necesidades de protección

Deterioro Poco Moderado Avanzado

Vulnerabilidad Baja Media Alta

Protección Sin protección Suficiente Insuficiente

Tipo de protección:

Urgencia de protección: Muy urgente Urgente Mediano plazo Largo plazo

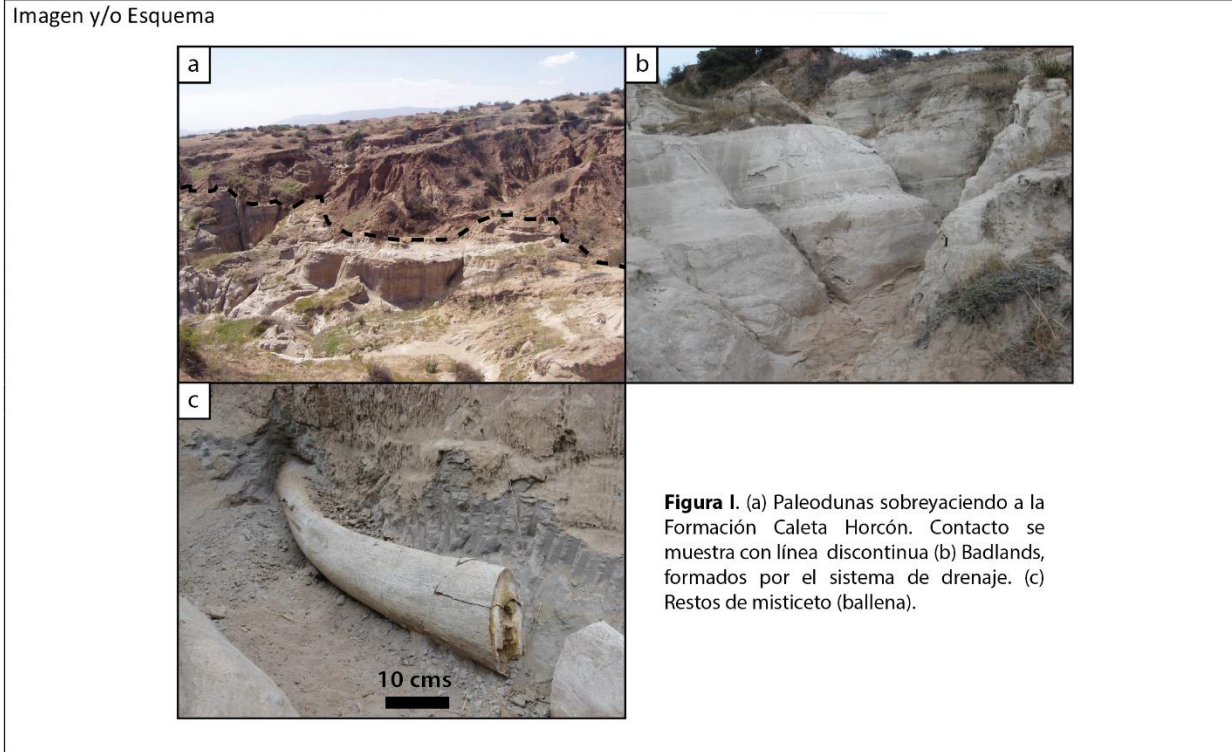
Situación Administrativa

Propiedad del estado Propiedad Privada Otro

Propiedad Municipal Área protegida

Características principales

En este geositio se descubren las facies H2, H3, H4, H5 y H6 de la Fm. Caleta Horcón (Mioceno?-Plioceno) y el contacto con las paleodunas de los depósitos eólicos antiguos gracias a un sistema de drenaje dendrítico que se desarrolla sobre ellos. Se encuentran moldes internos de bivalvos y gastrópodos, gran cantidad de restos óseos de cetáceos misticeto (cetáceo barbado; ballena) dispersos y articulados, pudiéndose observar 35 sitios de afloramiento de fósiles en el área. También se ha encontrado dientes de tiburón blanco. Algunos de estos fósiles se encuentran en el Museo de Historia Natural de Puchuncaví.



Descripción General

Se ubica al norte y sur de la ruta F-180, a unos 3,5km al W del cruce con la ruta que une Colmo-Puchuncaví (**Mapa 5**), a 56 msnm. Este geosítio se encuentra dentro del programa de identificación de geosítios de la Sociedad Geológica de Chile, propuesto por María Verónica Andrade Oyarzún.

En un área de 8,8 km² aflora la Fm. Caleta Horcón y el contacto con las paleodunas de los depósitos eólicos antiguos (Facies C1) en forma de un sistema de drenaje dendrítico que forma un sinnúmero de “cañones”, llamados badlands, de distintos tamaños, que disectan a la Fm. Caleta Horcón y revelan las facies H4, H5 y H6 (**Figura 7 y Figura 5**). Este geosítio se encuentra ubicado sobre sobre la terraza marina con paleodunas (**Figura 4**).

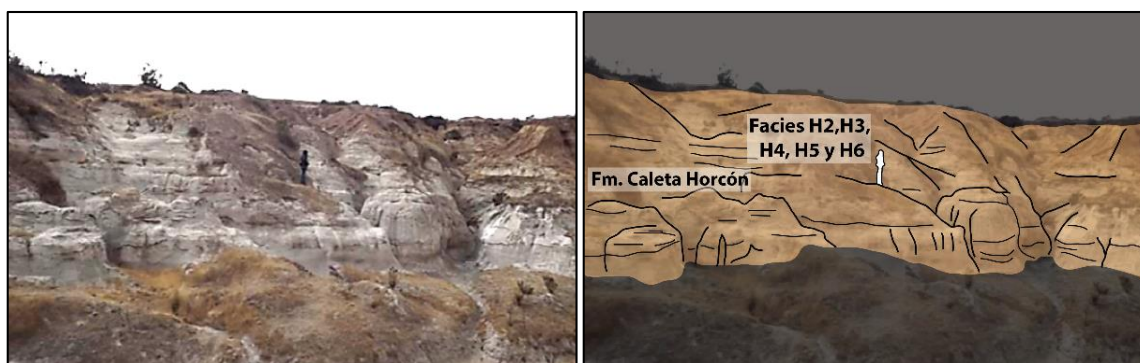


Figura 7. Fm. Caleta Horcón en marrón claro (Facies H2, H3, H4, H5 y H6, **Figura 5**)

Algunos de estos badlands pueden llegar a tener profundidades de 8 metros como el que se muestra en la **Figura 8**. En general, el relleno actual de este sistema de drenaje es menor hacia los canales tributarios y mayor hacia el cauce principal, por lo que las últimas facies de la Fm. Caleta Horcón se revelan mayormente en los tributarios.



Figura 8. Badlands formados por la red de drenaje que disecta la Fm. Caleta Horcón (erosión hídrica), característicos de este geosítio.

En una vista planta, el sistema de drenaje dendrítico se ve como se presenta en la **Figura 9**.

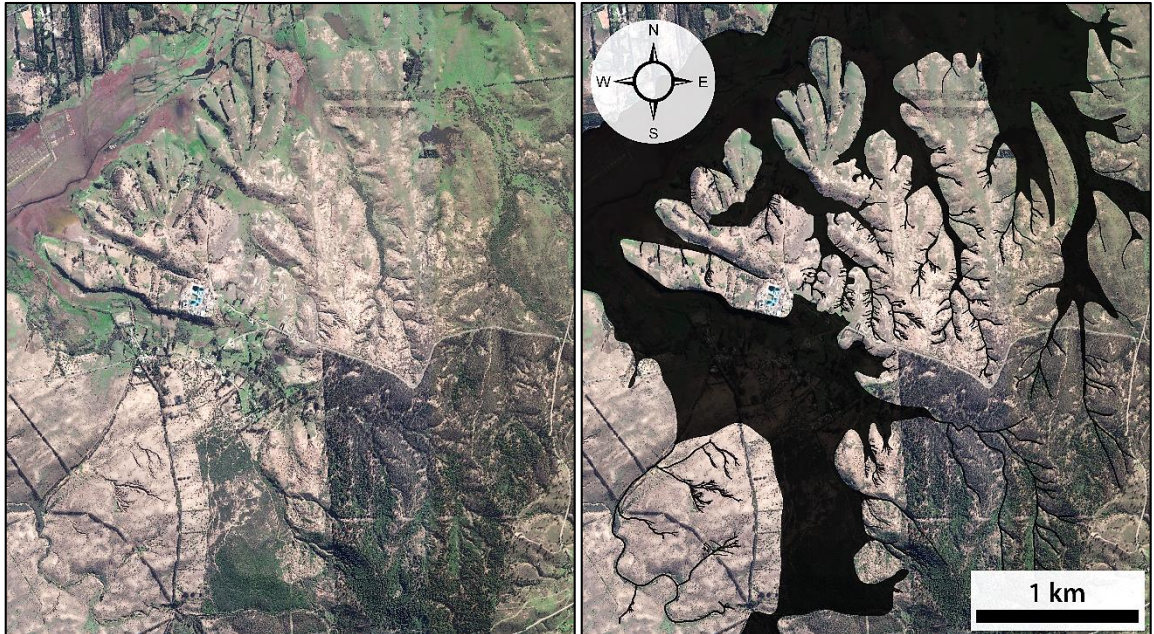


Figura 9. Sistema de drenaje dendrítico (en color negro) que disecta las paleodunas C1 y a las facies H4, H5 y H6 de la Fm. Caleta Horcón.

La facies H3 se puede observar en estos cañones, siendo el límite natural entre los bivalvos –que se encuentran bajo este límite- y los restos de misticetos (**Figura 1**).



Figura 10. Ortoconglomerados de la Facies H3 (**Figura 5**). Los clastos (en negro) se observan en forma de lentes.

Además de bivalvos y moldes internos de estos, se han encontrado también moluscos en estos niveles (**Figura 11**).

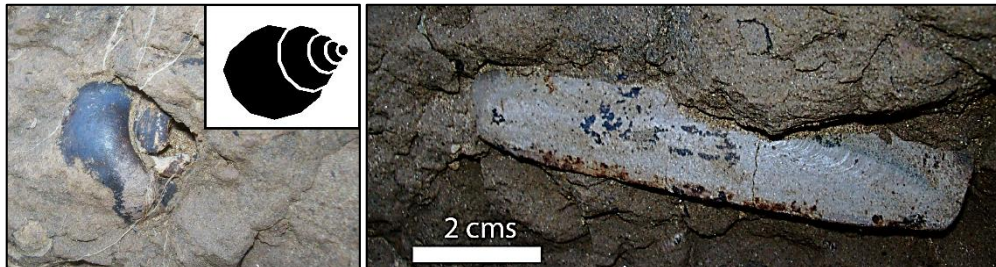


Figura 11. Gastrópodo (izquierda) y bivalvo (derecha) pertenecientes a la facies H3 de la Fm. Caleta Horcón.

4.4.2 Geositio Acantilados de Quirilluca

Nombre	Acantilados de Quirilluca				
Ubicación					
Región:	Valparaíso	Provincia:	Valparaíso	Comuna:	Puchuncaví
Coordenadas	269535 m		6379567 m	Altitud:	2 msnm
Población más próxima (cuál y distancia)					
Dimensión:	Sitio <input type="checkbox"/>	Área <input checked="" type="checkbox"/>	Panorámico <input type="checkbox"/>		
A.- Valor intrínseco					
Científico:	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input checked="" type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Interés Geológico	Geomorfológico <input checked="" type="checkbox"/>	Paleontológico <input checked="" type="checkbox"/>	Geoquímico <input type="checkbox"/>	Cárstico <input type="checkbox"/>	Geo-cultural <input type="checkbox"/>
	Mineralógico <input type="checkbox"/>	Petrológico <input type="checkbox"/>	Volcánico <input type="checkbox"/>	Eólico <input type="checkbox"/>	Económico <input type="checkbox"/>
	Hidrogeológico <input type="checkbox"/>	Geotécnico <input type="checkbox"/>	Fluvial <input type="checkbox"/>	Litoral <input checked="" type="checkbox"/>	Meteorico <input type="checkbox"/>
	Estratigráfico <input checked="" type="checkbox"/>	Tectónico <input type="checkbox"/>	Lacustre <input type="checkbox"/>	Glaciar <input type="checkbox"/>	
Otro:	<input type="text"/>				
Ecológico	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input checked="" type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Cultural	Nulo <input checked="" type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Estético	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input checked="" type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Didáctico	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input checked="" type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Económico	Nulo <input checked="" type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Influencia a nivel:	Local <input type="checkbox"/>	Regional <input checked="" type="checkbox"/>	Nacional <input type="checkbox"/>	Internacional <input type="checkbox"/>	
B.- Potencial de uso					
Accesibilidad	Muy Difícil <input type="checkbox"/>	Difícil <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Fácil <input checked="" type="checkbox"/>	Muy fácil <input type="checkbox"/>
Tipo:	Pavimento(P), Ripio(R), Tierra(T)				
Estado:	Bueno(B), Regular(R), Malo(M)				
~5km de camino de tierra desde cruce con la ruta F-30-E, a ~1,3km al SW de Puchuncaví.					
Distancia del lugar propuesto a punto más próximo de acceso en:					
Bus:	<input type="text"/>	Automóvil:	<input type="text" value="200 m"/>	Todo terreno:	<input type="text"/>
Visibilidad	Muy poca <input type="checkbox"/>	Poca <input type="checkbox"/>	Moderada <input checked="" type="checkbox"/>	Buena <input type="checkbox"/>	Muy buena <input type="checkbox"/>
Otros valores (naturales y/o culturales) y uso actual			Sin valor y sin uso <input checked="" type="checkbox"/>	Sin valor y con uso <input type="checkbox"/>	
Detalle:	<input type="text"/>		Con valor y sin uso <input type="checkbox"/>	Con valor y uso <input type="checkbox"/>	
Obstáculos para el aprovechamiento del lugar:					
			Si <input type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>	

Descripción:

Peligro volcánico Muy alto Alto Moderado Bajo Nulo

C.- Necesidades de protección

Deterioro Poco Moderado Avanzado

Vulnerabilidad Baja Media Alta

Protección Sin protección Suficiente Insuficiente

Tipo de protección:

Urgencia de protección: Muy urgente Urgente Mediano plazo Largo plazo

Situación Administrativa

Propiedad del estado Propiedad Privada Otro

Propiedad Municipal Área protegida

Características principales

En este geositio aflora la Formación Horcón en forma de acantilados. Al sur de esta playa, en la base de la Fm. Horcón se han formado dos cavernas de erosión marina, en cuyos techos se puede observar cúmulos de bivalvos. Al norte, la base de esta formación forma una superficie de abrasión marina.

Imagen y/o Esquema

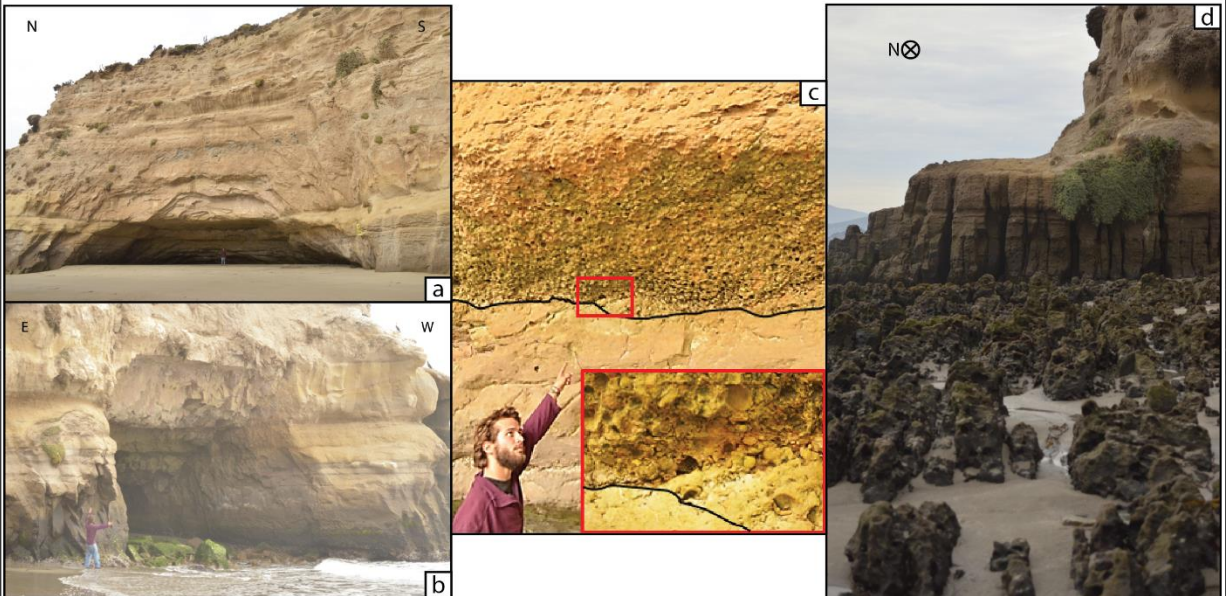


Figura II. (a) Caverna Quirilluca Este; (b) Caverna Quirilluca Sur, ambas ubicadas en el extremo sur del geositio; (c) Cúmulos de bivalvos en el techo de la caverna Este; (d) Superficie de abrasión marina actual en la base de la Fm. Horcón (extremo norte del geositio).

Descripción General

Este geosítio se encuentra dentro del programa de identificación de geosítios de la Sociedad Geológica de Chile, propuesto por María Verónica Andrade Oyarzún y Joachim Zora Trippe. Se ubica sobre la línea de costa a 5 km al NW de Puchuncaví. Comprende 500m de playa donde aflora la Fm. Horcón –aquí el valor estratigráfico– y las paleodunas C1 (**Figura 5**) de los depósitos eólicos antiguos, en forma de acantilados. En el extremo sur del geosítio, en la base de la Fm. Horcón se han desarrollado dos cavernas (**Figura II**, a y b) en sus niveles inferiores (**Figura 5**, facies H1) producto de la erosión marina de los niveles de areniscas con concreciones y las areniscas inmediatamente sobre ellas.

La caverna E tiene aproximadamente 15m de apertura horizontal, 4m de altura y unos 8m de profundidad (**Figura 12**)

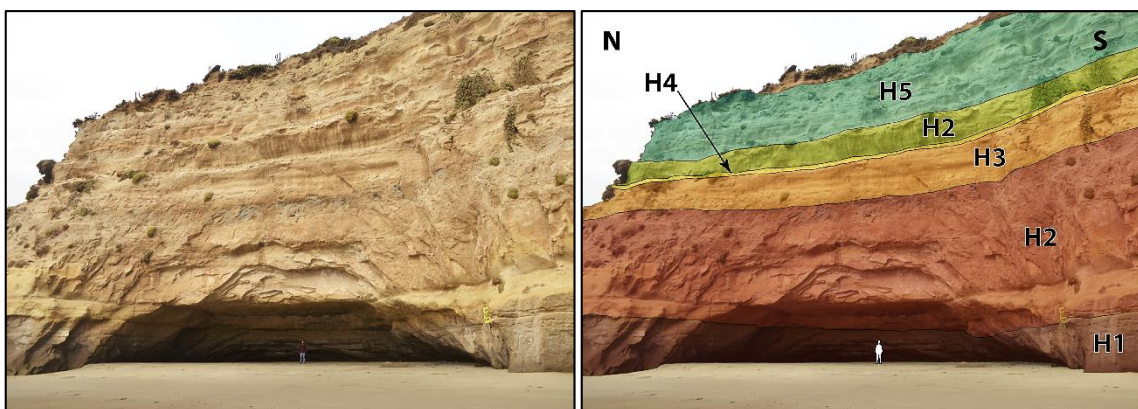


Figura 12. Caverna Quirilluca Este vista desde el exterior. Se han dibujado las facies definidas para la Fm. Caleta Horcón (Ver **Figura 5**)

Desde el interior es posible observar, en el techo (base facies H2, **Figura 13** y **Figura II**, c) cúmulos de bivalvos, que se extienden casi a todo lo largo de su apertura, aportando valor paleontológico al geosítio.

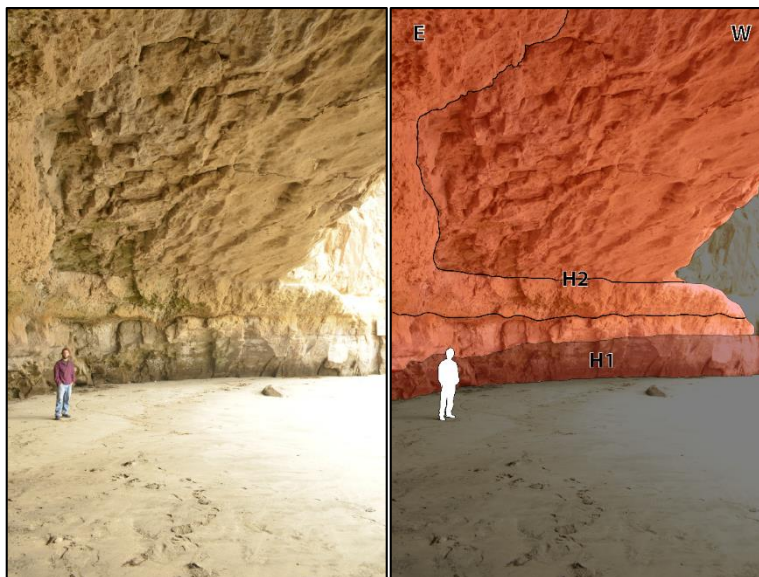


Figura 13. Vista hacia el sur desde el interior de la caverna Este. En rojo oscuro, la facies H1, en rojo claro la facies H2, en la cual se han dibujado sus contactos.

La caverna Sur (**Figura 14**) tiene unos 8m de apertura, 4m de altura y 8m de profundidad. En su techo, al igual que en la caverna Este, se observan cúmulos de bivalvos (**Figura II**, c). Durante la marea alta ambas cavernas son inundadas por el agua.

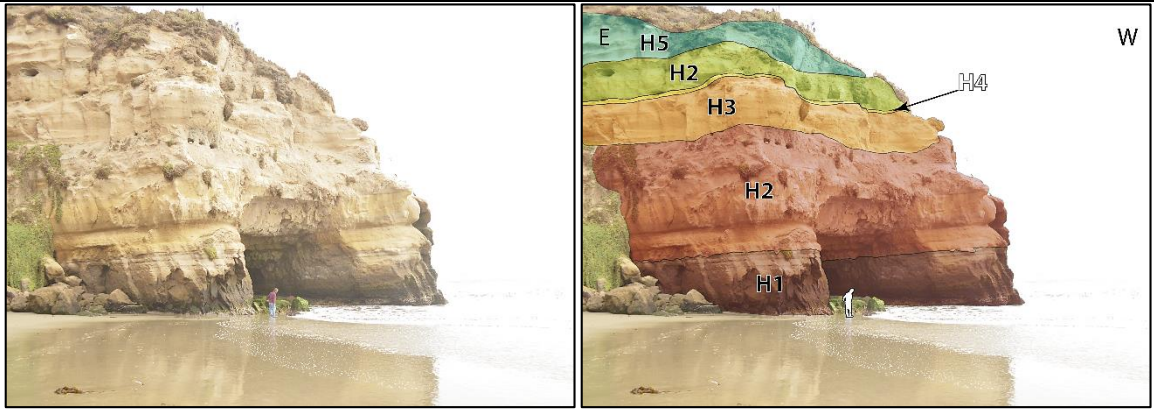


Figura 14. Caverna Quirilluca Sur. A la derecha se han muestran las facies, en distintos colores, identificadas en la Fm. Caleta Horcón (ver **Figura 5**)

En el extremo norte de este geositio, es posible observar -con marea baja- parte de la terraza de abrasión marina actual donde la superficie de erosión corresponde a la facies H1 de la Fm. Horcón (Figura II, d, **Figura 15** y **Figura 16**)

También se han encontrado restos óseos de peces y ballenas (cetáceos odontocetos y mysticetos).

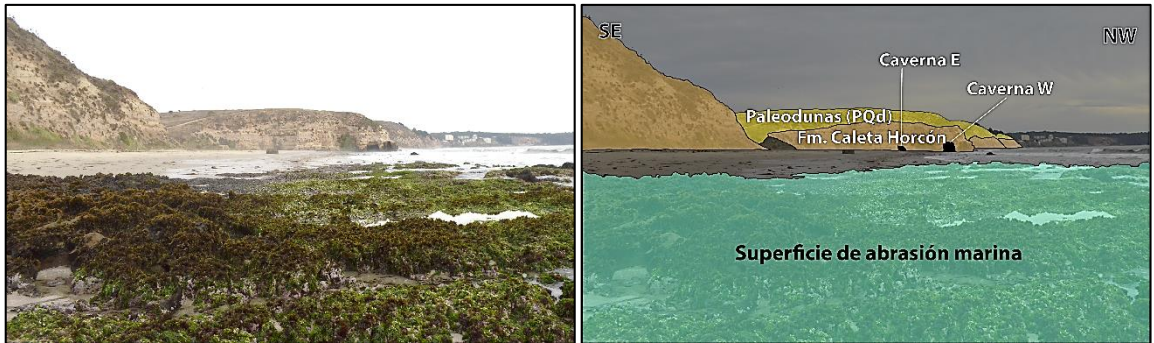


Figura 15. Acantilados de Quirilluca visto desde el extremo norte del geositio, desde la superficie de abrasión marina producida en la facies H1 de la Fm. Caleta Horcón.

La superficie se encuentra colonizada por algas, moluscos y otras formas actuales de fauna marina. En la siguiente figura se puede observar el momento actual de la formación de esta superficie de abrasión marina.

El acantilado mismo, las cavernas y la superficie de abrasión marina le conceden el valor geomorfológico y litoral al geositio.

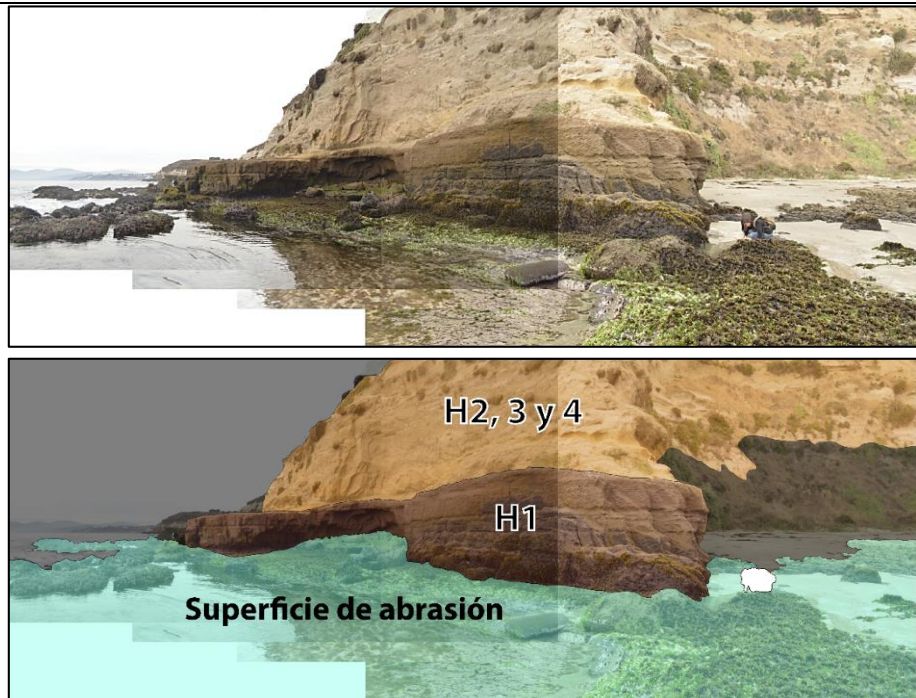


Figura 16. Superficie de abrasión del extremo norte del geosito. En esta imagen es posible observar que es la facies H1 la que se está erodando para formar la superficie de abrasión. Las fotografías están tomadas en una dirección promedio Este.

4.4.3 Geositio Acantilados de Playa Larga de Horcón de Puchuncaví

Nombre	Acantilados de Playa Larga de Horcón de Puchuncaví				
Ubicación					
Región:	Valparaíso	Provincia:	Valparaíso	Comuna:	Puchuncaví
Coordenadas	268232 m		6377852 m	Altitud:	4 msnm
Población más próxima (cuál y distancia)	Horcón, a ~1,5km				
Dimensión:	Sitio <input type="checkbox"/>	Área <input checked="" type="checkbox"/>	Panorámico <input type="checkbox"/>		
A.- Valor intrínseco					
Científico:	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input checked="" type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Interés Geológico	Geomorfológico <input checked="" type="checkbox"/>	Paleontológico <input checked="" type="checkbox"/>	Geoquímico <input type="checkbox"/>	Cárstico <input type="checkbox"/>	Geo-cultural <input type="checkbox"/>
	Mineralógico <input type="checkbox"/>	Petrológico <input type="checkbox"/>	Volcánico <input type="checkbox"/>	Eólico <input type="checkbox"/>	Económico <input type="checkbox"/>
	Hidrogeológico <input type="checkbox"/>	Geotécnico <input type="checkbox"/>	Fluvial <input type="checkbox"/>	Litoral <input checked="" type="checkbox"/>	Meteórico <input type="checkbox"/>
	Estratigráfico <input checked="" type="checkbox"/>	Tectónico <input type="checkbox"/>	Lacustre <input type="checkbox"/>	Glaciar <input type="checkbox"/>	
	Otro:	<input type="text"/>			
Ecológico	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input checked="" type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Cultural	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input checked="" type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Estético	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input checked="" type="checkbox"/>
Didáctico	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input checked="" type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Económico	Nulo <input checked="" type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Influencia a nivel:	Local <input type="checkbox"/>	Regional <input type="checkbox"/>	Nacional <input checked="" type="checkbox"/>	Internacional <input type="checkbox"/>	
B.- Potencial de uso					
Accesibilidad	Muy Difícil <input type="checkbox"/>	Difícil <input type="checkbox"/>	Moderada <input checked="" type="checkbox"/>	Fácil <input type="checkbox"/>	Muy fácil <input type="checkbox"/>
<u>Tipo:</u> Pavimento(P), Ripio(R), Tierra(T)	De la Avenida Principal de Horcón, tomando calle Los Pescadores y luego Avenida Miramar.				
<u>Estado:</u> Bueno(B), Regular(R), Malo(M)					
Distancia del lugar propuesto a punto más próximo de acceso en:					
Bus:	<input type="text"/>	Automóvil:	<input type="text" value="150 m"/>	Todo terreno:	<input type="text"/>
Visibilidad	Muy poca <input type="checkbox"/>	Poca <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Buena <input checked="" type="checkbox"/>	Muy buena <input type="checkbox"/>
Otros valores (naturales y/o culturales) y uso actual			Sin valor y sin uso <input type="checkbox"/>	Sin valor y con uso <input type="checkbox"/>	
Detalle: Al norte del área se encuentra la Playa Luna, única playa nudista de Chile	Con valor y sin uso <input type="checkbox"/>		Con valor y uso <input checked="" type="checkbox"/>		
Obstáculos para el aprovechamiento del lugar:					
			Si <input type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>	

Descripción:

Peligro volcánico Muy alto Alto Moderado Bajo Nulo

C.- Necesidades de protección

Deterioro Poco Moderado Avanzado

Vulnerabilidad Baja Media Alta

Protección Sin protección Suficiente Insuficiente

Tipo de protección:

Urgencia de protección: Muy urgente Urgente Mediano plazo Largo plazo

Situación Administrativa

Propiedad del estado Propiedad Privada Otro

Propiedad Municipal Área protegida

Características principales

En esta área se aprecia la Formación Caleta Horcón -casi en su totalidad- y el contacto con las paleodunas de los Depósitos Eólicos Antiguos (Rivano et al., 1993) en forma de acantilados. Se pueden observar bivalvos, estructuras sedimentarias y un nivel de ~10cm de guijarros clasto-soportados que continúan lateralmente a lo largo de casi toda la Playa Larga de Horcón. Además, en Playa Luna, al norte de este geositio se encuentra una caverna de erosión marina en cuyo techo se pueden observar cúmulos de bivalvos. Esta secuencia tendría edad Miocena?-Pliocena (Rivano et al., 1993).

Imagen y/o Esquema

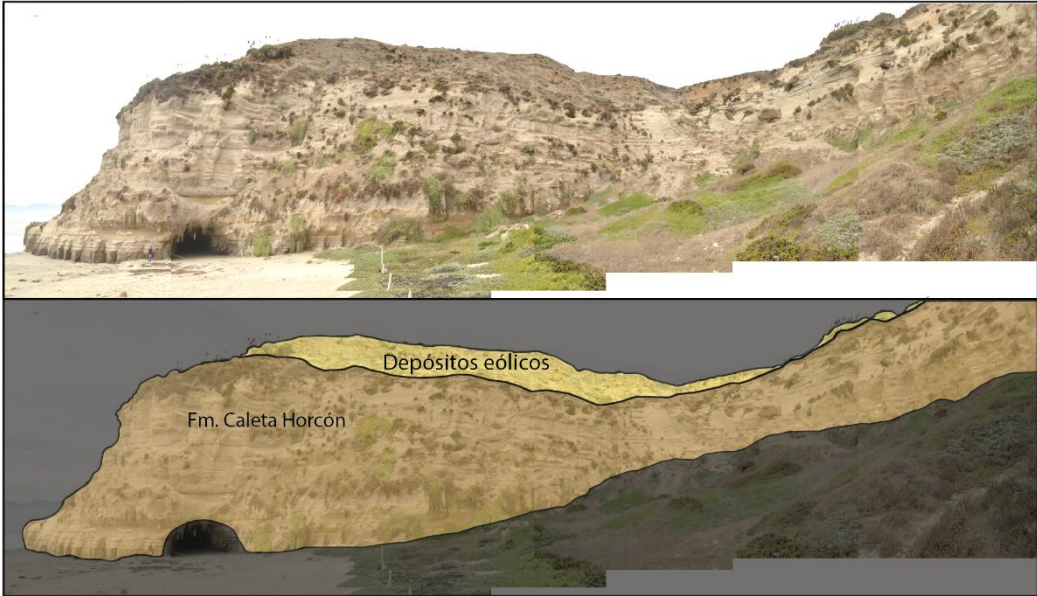


Figura III. Formación Caleta Horcón en Playa Luna. Imagen Panorámica de 90° de Norte a Este.
En café claro: Fm. Caleta Horcón | Amarillo: paleodunas C1.

Descripción General

Este geositio se encuentra dentro del programa de identificación de geositios de la Sociedad Geológica de Chile, propuesto por María Verónica Andrade Oyarzún y Joachim Zora Trippe.

Según el mapudungún Horcón (*Orkon*) es el pilar roto que sostiene el centro de la cumbre (techo) de la ruca (casa o vivienda mapuche). También significa "lugar de patos", en el mismo idioma. Se ubica sobre la línea de costa, 350 m al S de Acantilados de Quirilluca y a 5km al WNW de Puchuncaví (**Mapa 5**). Comprende 1,5 km de playa donde se observan 24 m de la Fm. Caleta Horcón (valor estratigráfico), en forma de acantilados de hasta 70m de altura. En la **Figura 17** una vista panorámica de Playa Larga de Horcón, desde el extremo sur del geositio con vista al norte aproximadamente.



Figura 17. Playa Larga de Horcón vista desde el límite sur del geositio

Ubicada en el extremo norte del geositio, a 1,5km de distancia, se encuentra la playa nudista Playa Luna, donde se ha realizado una columna estratigráfica (Figura 5) debido a que aquí se observa casi completamente la Fm. Horcón y el contacto con las paleodunas C1 (**Figura 18**).

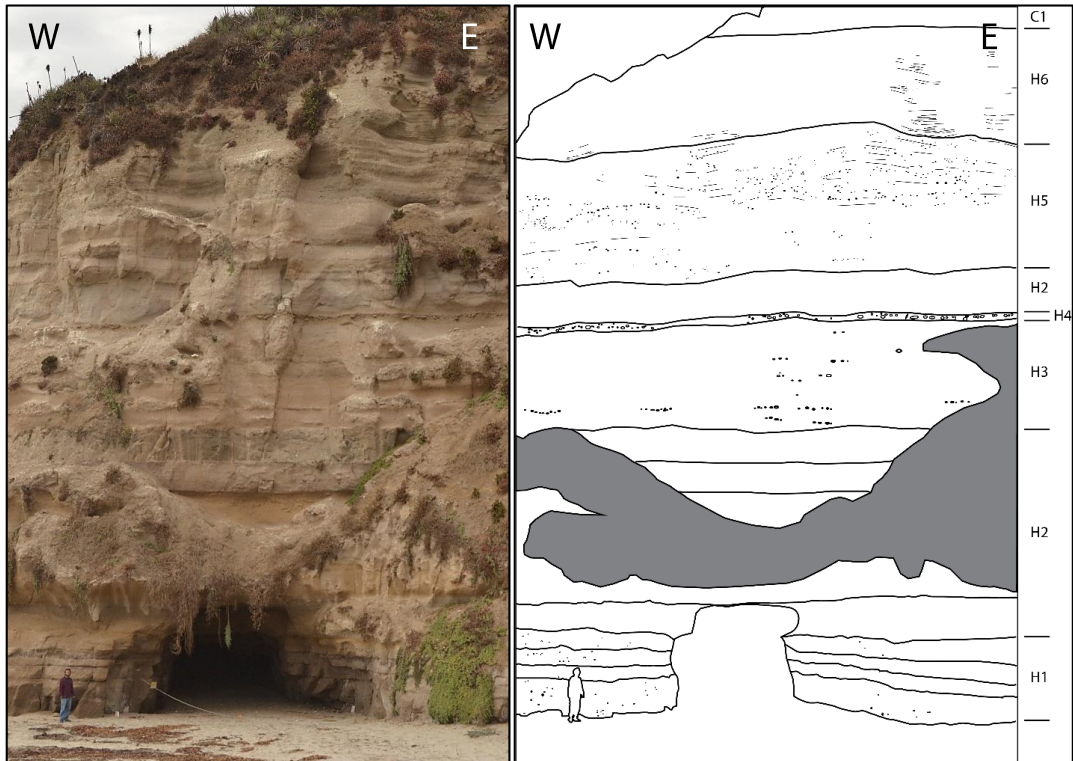


Figura 18. Fotointerpretación de Fm. Horcón en Playa Luna. Gris indica cubierta sobre la sección. Notar finos lentes de paranconglomerado en la facies H3, el nivel de conglomerado clasto/matriz-soportado (facies H4), que continúa

lateralmente a lo largo de casi la totalidad del geositio y notar, también, la laminación paralela del nivel H6 (en contacto con paleodunas C1).

En este lugar se ha formado una caverna por erosión marina del nivel H1 y base del nivel H2 de aproximadamente 4m de alto (Figura 18) donde se pueden observar cúmulos de bivalvos en su techo, otorgándole, junto con los acantilados, valor geomorfológico, paleontológico, y litoral.

La Formación Caleta Horcón corresponde a una serie marino-transicional de areniscas y conglomerados finos que subyacen ~9m de paleodunas pertenecientes a los depósitos eólicos antiguos (RIVANO ET AL, 1993). En esta memoria se han identificado 7 facies litológicas para la Fm. Caleta Horcón (**Figura 18** y **Figura 5**). De base a techo, la facies corresponden a:

- H1: arenas finas a medias con presencia de concreciones
- H2: arenas finas a medias, masivas, con bivalvos en su base y laminación convoluta
- H3: arenas medias a gruesas, con lentes de conglomerados matriz-soportados y estratificación cruzada planar
- H4: conglomerado guijarroso clasto-soportado en matriz de arena gruesa
- H5: conglomerado con matriz arenosa y laminación horizontal
- H6: arenas medias a gruesas con laminación horizontal y estratificación cruzada
- C1: arenas medias con estratificación cruzada planar

Las facies H1 y H2 corresponderían a un ambiente marino somero, dada la presencia de bivalvos, la masividad de las arenas y presencia de concreciones, que podría indicar mezcla de agua dulce y salada. Además presenta laminación convoluta (**Figura 19**), lo que podría sugerir una rápida depositación para estos niveles, debido a que esta estructura es producida por fluidos que, bajo estrés de carga, intentan escapar del depósito, 'arrastrando' las partículas de su posición original.



Figura 19. Laminación convoluta en color negro (**Figura 18**, facies H2) producida por escape de fluidos bajo estrés de carga; intraclastos en color verde (facies H1) producto de la erosión del nivel hospedante.

En las facies H3 se puede observar el comienzo de aportes fluviales y aluviales a esta parte de la cuenca, presentando finos lentes de paraconglomerados (Figura 18) y estratificación cruzada planar (**Figura 20**).

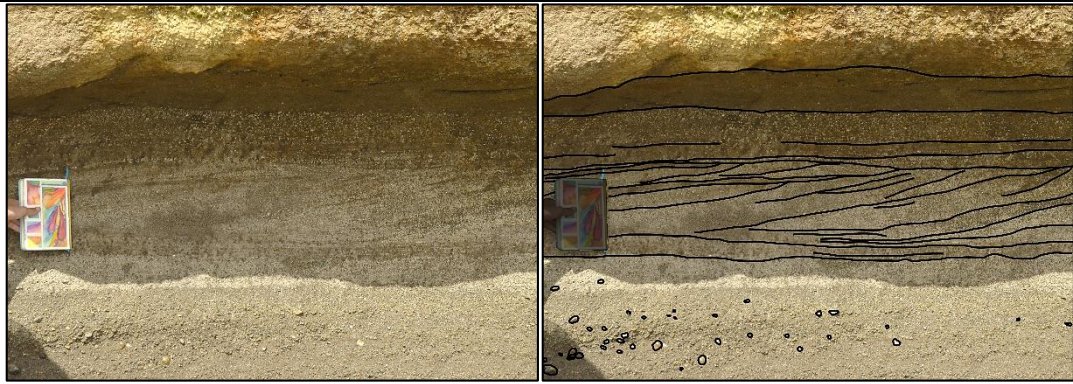


Figura 20. Estratificación cruzada planar (**Figura 18**, facies H3). La libreta mide 20 cm.

Estos aportes aluviales aumentan hacia las facies H4 y H5 (**Figura 21**), donde se pueden observar mayor presencia de orto y para-conglomerados con menor presencia de matriz arenosa e indicando una transición a un ambiente continental aluvio-fluvial.

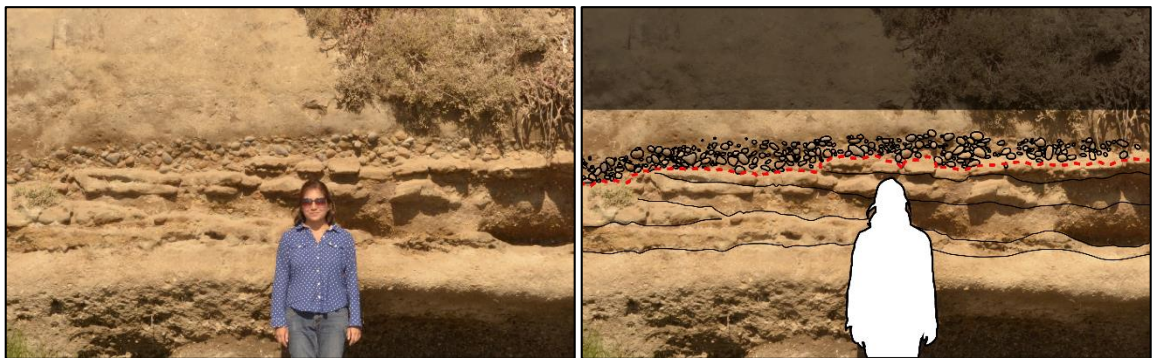


Figura 21. Nivel de gravas bien redondeadas y esféricas clasto-soportadas correspondiente a la facies H4 de la Fm. Caleta Horcón (**Figura 18** y **Figura 5**) producto de aportes fluvio-aluviales. Inmediatamente bajo las gravas se ha dibujado en azul la superficie de erosión sobre la que se han depositado.

Finalmente, en la facies H6 disminuyen las gravas y aumenta la matriz tamaño arena.

Con una disposición prácticamente horizontal, en algunos sectores donde se puede observar la base de la unidad se puede apreciar que la depositación se inicia con un microconglomerado a conglomerado fino de origen local compuesto en un 99% por material proveniente de la descomposición de la roca subyacente (claramente apreciable en el sector Horcón y también frente a la bajada de la playa Las Salinas (RIVANO ET AL., 1993).

Existen pocos estudios sobre los abundantes fósiles de la Fm. Horcón, sin embargo TAVERA (1960) reconoció especies que aparecen desde el Mioceno y otras que, según dicho autor, estarían restringidas al Plioceno- Reciente. Las formas atribuibles al Mioceno serían:

- Dentalium sp. aff. sulcasum Sow. var. mayus Sow.
- Balanus psittacus Mol. var. minor Phil.

Las formas con afinidad pliocena serían:

- Monoceras pyrulatus Phillippi
- Monoceras blanvillei d'Orb.
- Monoceras doliaris Phil.
- Monoceras laevis Phil.
- "Yoldia"?

En opinión de COVACEVICH, (1990), si bien la macrofauna de la Fm. Caleta Horcón es esencialmente pliocena no se puede descartar edades miocenas para la parte más basal de la unidad.

CARRILLO et al. (2013) ha estudiado los condriictios fósiles del Plioceno superior de la Formación Caleta Horcón, indicando que "la fauna comprende Callorhynchus sp., Heterodontus sp., Carcharodon carcharias, Isurus oxyrinchus, Galeorhinus galeus, Carcharhinus brachyurus, Hexanchus griseus, Squatina sp., Pristiophorus sp., Rajidae, Dasyatidae y Myliobatidae".

En este geosítio se han encontrado abundantes fósiles, como fragmentos de huesos de misticeto (ballena, **Figura 1**, c), vértebras de cetáceo, vértebras de pez y abundantes dientes de tiburón (**Figura 22**), los cuales se encuentran actualmente en el Museo de Historia Natural de Puchuncaví.

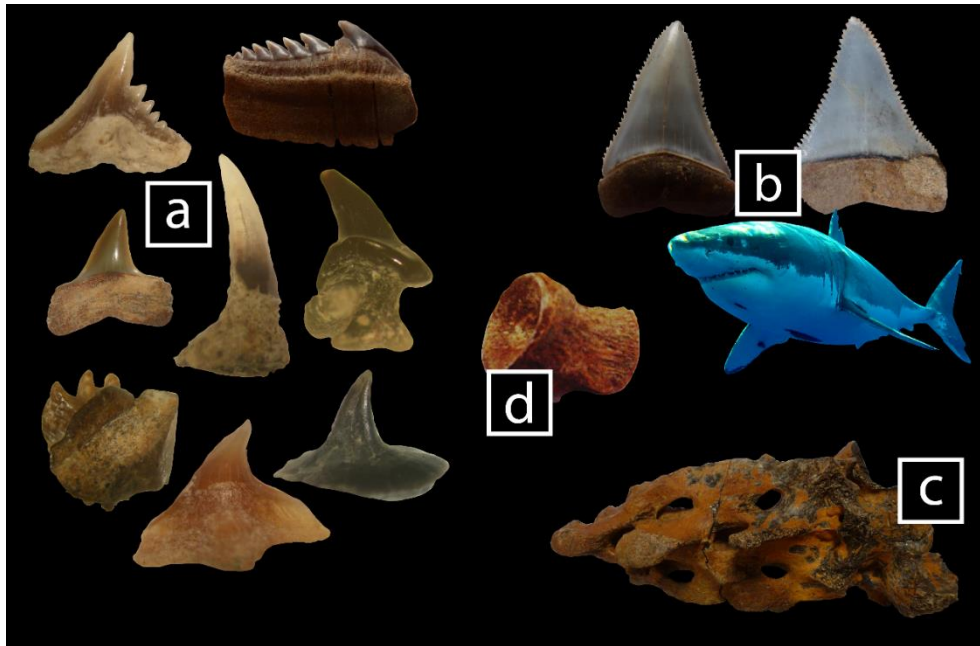


Figura 22. (a) Dientes de tiburón | (b) Dientes de *Carcharodon carcharias* (tiburón blanco) | (c) Fragmento óseo de foca | (d) Vértebra de pez.

4.4.4 Geositio Arco de Roca Las Ventanas de Puchuncaví

Nombre	Arco de roca Las Ventanas de Puchuncaví				
Ubicación					
Región:	Valparaíso	Provincia:	Valparaíso	Comuna:	Puchuncaví
Coordenadas	266073 m		6374384 m	Altitud:	2 msnm
Población más próxima (cuál y distancia)			Ventanas, a 500m		
Dimensión:	Sitio <input checked="" type="checkbox"/>	Área <input type="checkbox"/>	Panorámico <input type="checkbox"/>		
A.- Valor intrínseco					
<i>Científico:</i>	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input checked="" type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Interés Geológico	Geomorfológico <input checked="" type="checkbox"/>	Paleontológico <input type="checkbox"/>	Geoquímico <input type="checkbox"/>	Cárstico <input type="checkbox"/>	Geo-cultural <input type="checkbox"/>
	Mineralógico <input checked="" type="checkbox"/>	Petrológico <input checked="" type="checkbox"/>	Volcánico <input type="checkbox"/>	Eólico <input type="checkbox"/>	Económico <input type="checkbox"/>
	Hidrogeológico <input type="checkbox"/>	Geotécnico <input type="checkbox"/>	Fluvial <input type="checkbox"/>	Litoral <input checked="" type="checkbox"/>	Meteórico <input type="checkbox"/>
	Estratigráfico <input type="checkbox"/>	Tectónico <input type="checkbox"/>	Lacustre <input type="checkbox"/>	Glaciar <input type="checkbox"/>	
Otro:	<input type="text"/>				
<i>Ecológico</i>	Nulo <input checked="" type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
<i>Cultural</i>	Nulo <input checked="" type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
<i>Estético</i>	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input checked="" type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
<i>Didáctico</i>	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input checked="" type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
<i>Económico</i>	Nulo <input checked="" type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Influencia a nivel:	Local <input type="checkbox"/>	Regional <input checked="" type="checkbox"/>	Nacional <input type="checkbox"/>	Internacional <input type="checkbox"/>	
B.- Potencial de uso					
<i>Accesibilidad</i>	Muy Difícil <input type="checkbox"/>	Difícil <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Fácil <input checked="" type="checkbox"/>	Muy fácil <input type="checkbox"/>
<u>Tipo:</u> Pavimento(P), Ripio(R), Tierra(T)	500 m de camino de tierra desde la localidad de Ventanas. A pie o en automóvil, se llega hasta el geositio mismo.				
<u>Estado:</u> Bueno(B), Regular(R), Malo(M)					
Distancia del lugar propuesto a punto más próximo de acceso en:					
Bus:	<input type="text" value="500 m"/>	Automóvil:	<input type="text" value="0 m"/>	Todo terreno:	<input type="text"/>
<i>Visibilidad</i>	Muy poca <input type="checkbox"/>	Poca <input type="checkbox"/>	Moderada <input checked="" type="checkbox"/>	Buena <input type="checkbox"/>	Muy buena <input type="checkbox"/>
<i>Otros valores (naturales y/o culturales) y uso actual</i>			Sin valor y sin uso <input type="checkbox"/>	Sin valor y con uso <input checked="" type="checkbox"/>	
Detalle:	<input type="text"/>		Con valor y sin uso <input type="checkbox"/>	Con valor y uso <input type="checkbox"/>	
<i>Obstáculos para el aprovechamiento del lugar:</i>			Si <input checked="" type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	

Descripción:

Peligro volcánico Muy alto Alto Moderado Bajo Nulo

C.- Necesidades de protección

Deterioro Poco Moderado Avanzado

Vulnerabilidad Baja Media Alta

Protección Sin protección Suficiente Insuficiente

Tipo de protección:

Urgencia de protección: Muy urgente Urgente Mediano plazo Largo plazo

Situación Administrativa

Propiedad del estado Propiedad Privada Otro

Propiedad Municipal Área protegida

Características principales

En este geositio aflora una cuarzdiorita de las Cuarzdioritas de Cachagua, Superunidad Mincha. La cuarzdiorita es de grano grueso, se encuentra diaclasada y aflora como un arco de roca y una superficie de abrasión marina. Posee diques sinplutónicos desmembrados de composición granodiorítica. Esta unidad tendría 156 ± 4 Ma (Rivano et al., 1993).

Imagen y/o Esquema

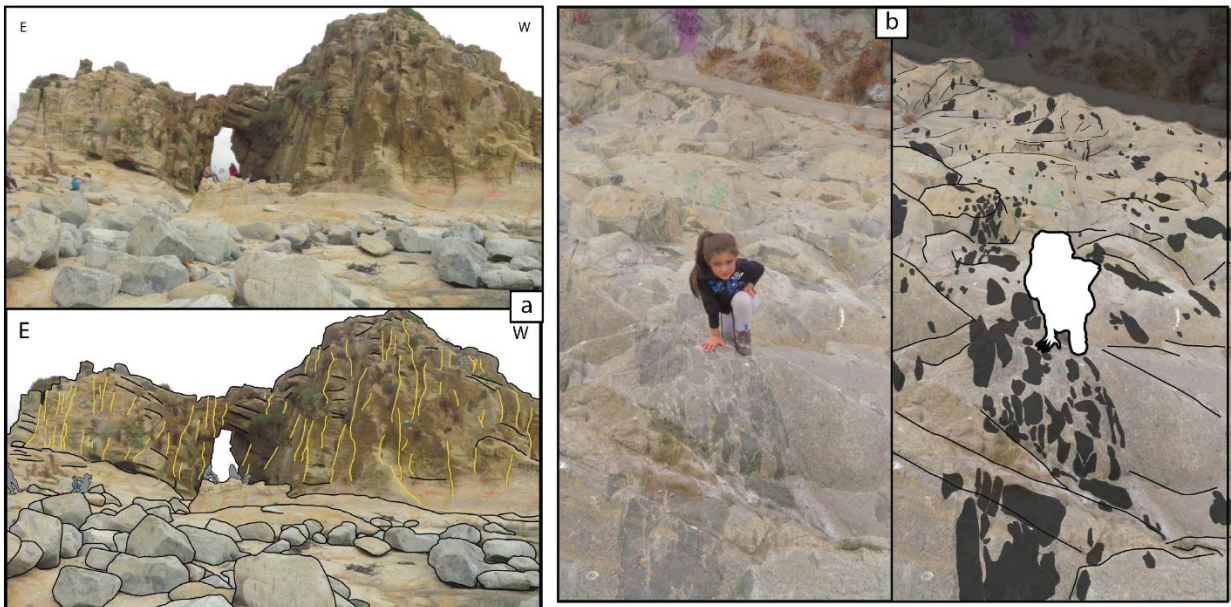


Figura IV. (a) Vista desde el norte del arco de roca (diaclasas en amarillo). (b) Diques sinplutónicos desmembrados en color negro.

Descripción General

El geositio Arco de roca Las Ventanas de Puchuncaví se encuentra dentro del programa de identificación de geositios de la Sociedad Geológica de Chile, propuesto por María Verónica Andrade Oyarzún y Joachim Zora Trippe. Se ubica en el extremo sur de la península formada entre la Playa Larga de Horcón y la Bahía Quintero (**Mapa 5**). En este geositio se ha formado un arco de roca gracias a la erosión diferencial marina de la subunidad Cuarzodioritas de Cachagua (**Figura 23**).



Figura 23. Vista desde el sur del arco de roca La Ventana.

Su característica principal, además del valor geomorfológico y litoral del arco de roca (Figura IVa), es que se trata de un cuerpo plutónico petrográficamente granodiorítico (41% plagioclasa, 38% cuarzo, 22% feldespato alcalino) con biotita y horblenda como minerales accesorios, diaclasado y con abundantes enclaves máficos, alargados y de morfología elipsoidal (valor petrológico), que se alinean en dirección E-W (Figura IVb). En la **Figura 24** se presenta una fotomicrografía de la Granodiorita de biotita a nícoles cruzados y paralelos.

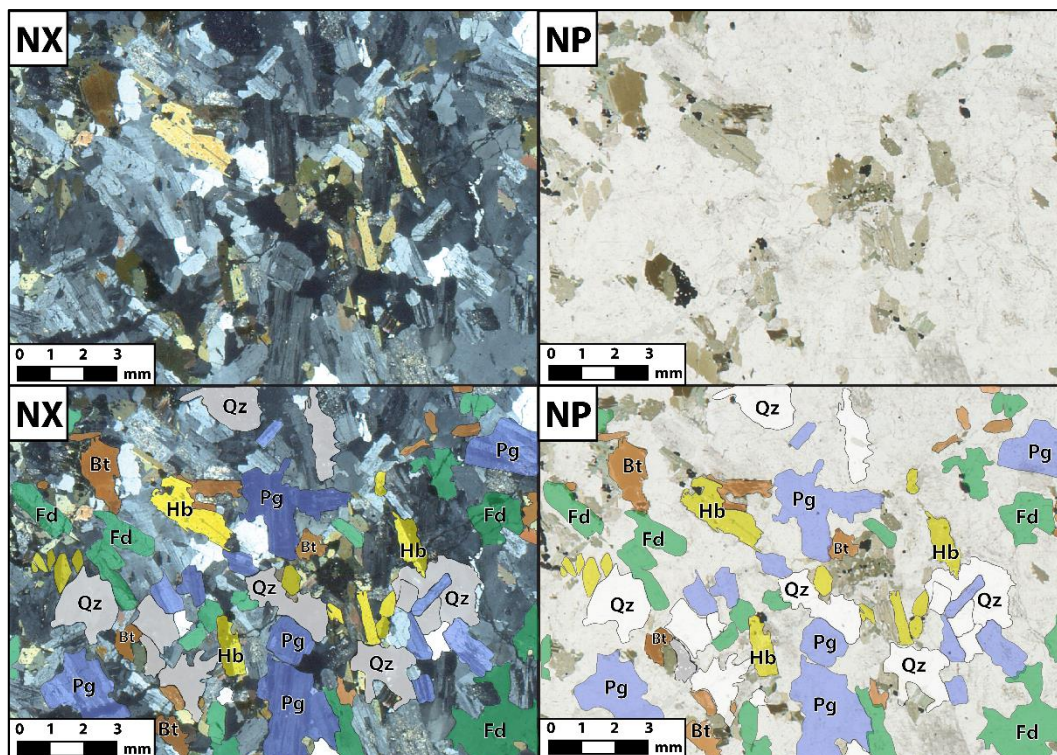


Figura 24. Fotomicrografía de la Granodiorita de Biotita a nícoles cruzados y paralelos (NX y NP, respectivamente). Se han resaltado algunos de sus minerales. Azul: plagioclasa (Pg) | Blanco: Cuarzo (Qz) | Verde: Feldespato alcalino (Fd) | Café: Biotita (Bt) | Negro: opacos.

Las plagioclasas tienen tamaños de 0,5 a 3mm, euhedrales a subhedrales macladas polisintéticamente, siendo claramente el primer mineral en cristalizar. En muchos casos, se encuentran parcialmente alteradas a arcillas o, en algunos casos, completamente. El cuarzo es de tamaño 0,5 a 2,5mm, subhedral a anhedral, presenta extinción ondulosa. Se encuentra

rellenando espacios, siendo uno de los últimos minerales en cristalizar junto con el feldespato que varía de 1 a 3mm, anhedral, con textura poiquilitica, encerrando algunos microcristales de plagioclasa. La biotita es de tamaño 1 a 3mm, euhedral, pleocróica de tonos verdes a rojo, de color de interferencia enmascarado y extinción 'a puntitos'. La hornblenda es de tamaño 0,5 a 3mm, euhedral a subhedral, con macla de Carlsbad, pleocróica de tonos verdes a café. Estos dos últimos, por relaciones de contacto, habrían cristalizado luego de la plagioclasa. Es posible observar también algunos opacos que no superan los 0,5mm de tamaño.

Es posible reconocer la mayoría de estos minerales a escala de muestra de mano, por lo que este geositio tiene valor didáctico y mineralógico, permitiendo el reconocimiento de estos in-situ.

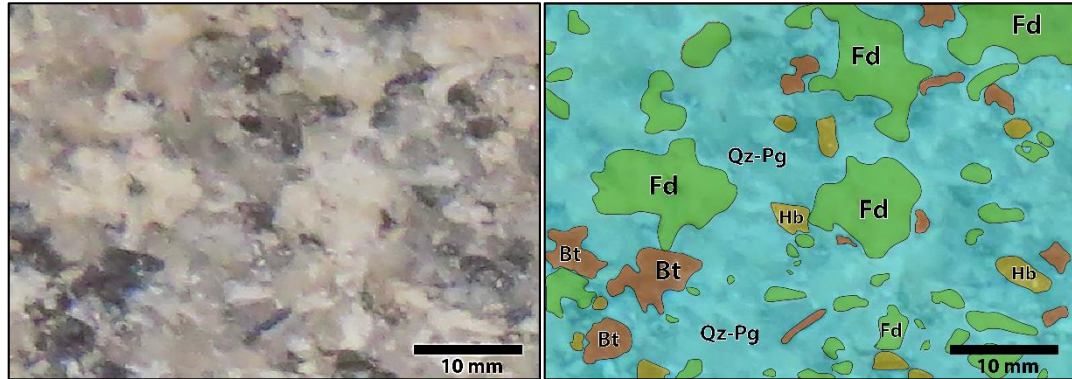


Figura 25. Vista en detalle de la Granodiorita de biotita. Verde: feldespato alcalino (Fd) | Celeste: cuarzo y plagioclasa (Qz-Pg) | Café: biotita (Bt) | Amarillo: hornblenda (Hb).

ESPIÑEIRA (1989) describe los enclaves como inclusiones máficas de morfología elipsoidal y subcircular con bordes definidos cuya composición varía desde cuarzodioritas leucocráticas a dioritas melanocráticas. Corresponderían a diques sinplutónicos, es decir, que intruyeron el cuerpo plutónico mientras este aún se encontraba en fase de enfriamiento y cristalización, por lo que, actualmente, los diques se encuentran disgregados y, en parte, asimilados por el plutón.

Petrográficamente, los enclaves corresponden a granodiorita, con tamaño de grano <0,1mm, compuesta por hornblenda, biotita y opacos y con menor cantidad de cuarzo que la roca encajante. En la **Figura 26** se puede observar el contacto entre la Granodiorita y el enclave y cómo este último ha asimilado algunos fragmentos de la Granodiorita.

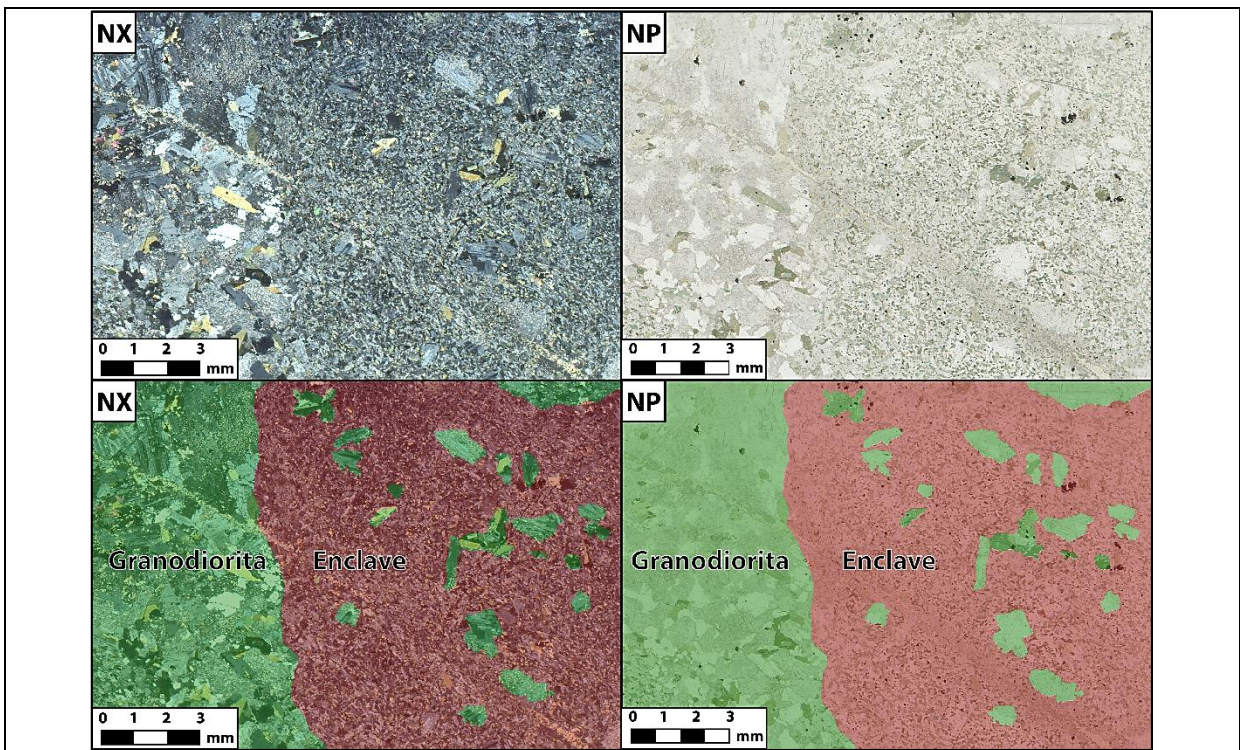


Figura 26. Fotomicrografía del contacto entre un enclave y la Granodiorita. Notar que algunos fragmentos de la granodiorita (en color verde) son “absorbidos” por el enclave (en color rojo). NX: nícoles cruzados | NP: nícoles paralelos.

Este geositio posee, además, valor geomorfológico, desde el arco de roca hacia el norte se desarrolla, actualmente, una superficie de abrasión marina (**Figura 27**) sobre el cuerpo plutónico descrito.

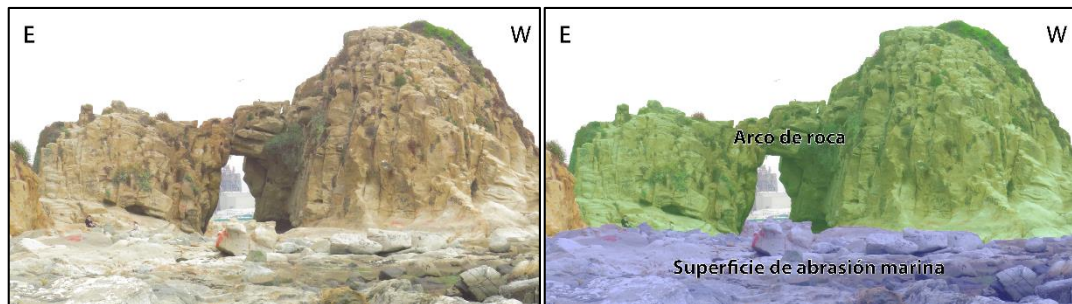


Figura 27. Superficie de abrasión (en color azul) y arco de roca (en color verde) vistos desde el norte.

El cuerpo presenta además algunos diques aplíticos de espesor variable (de algunos milímetros hasta 20cm) compuestas por cuarzo y feldespato alcalino, prácticamente verticales y de orientación E-W (**Figura 28**).

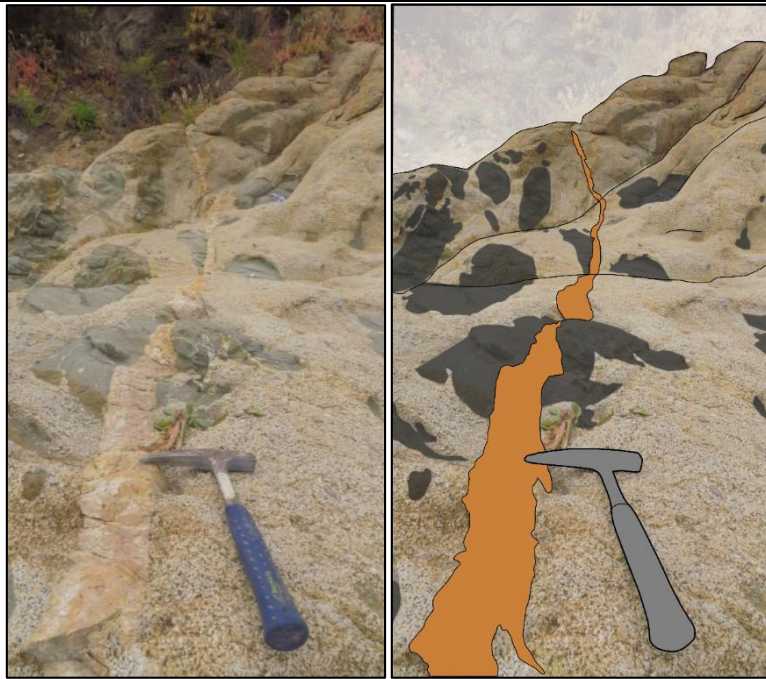


Figura 28. Dique aplítico cuarzo-feldespático de aproximadamente 20cm de espesor (en color naranja) cortando la Granodiorita y sus enclaves (en negro).

Las edades obtenidas para la subunidad Cuarzodioritas de Cachagua por métodos Plomo- α (LEVI et al., 1960), K-Ar (DRAKE, MUNIZAGA Y VICENTE, 1982), K-Ar en biotita y en anfíbola (ESPIÑEIRA, 1989), además de una isócrona con 11 muestras (ESPIÑEIRA y PARADA, 1987), dan un rango entre 160 y 167 Ma (Jurásico Medio – Superior).

4.4.5 Geositio Sucesión Fosilífera de San Antonio de Puchuncaví

Nombre	Sucesión fosilífera de San Antonio de Puchuncaví				
Ubicación					
Región:	Valparaíso	Provincia:	Valparaíso	Comuna:	Puchuncaví
Coordenadas	277766 m		6378742 m	Altitud:	198 msnm
Población más próxima (cuál y distancia)			San Antonio de Puchuncaví, a ~300m.		
Dimensión:	Sitio <input checked="" type="checkbox"/>	Área <input type="checkbox"/>	Panorámico <input type="checkbox"/>		
A.- Valor intrínseco					
Científico:	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input checked="" type="checkbox"/>
Interés Geológico	Geomorfológico <input type="checkbox"/>	Paleontológico <input checked="" type="checkbox"/>	Geoquímico <input type="checkbox"/>	Cárstico <input type="checkbox"/>	Geo-cultural <input type="checkbox"/>
	Mineralógico <input type="checkbox"/>	Petrológico <input type="checkbox"/>	Volcánico <input type="checkbox"/>	Eólico <input type="checkbox"/>	Económico <input type="checkbox"/>
	Hidrogeológico <input type="checkbox"/>	Geotécnico <input type="checkbox"/>	Fluvial <input type="checkbox"/>	Litoral <input type="checkbox"/>	Meteorico <input type="checkbox"/>
	Estratigráfico <input checked="" type="checkbox"/>	Tectónico <input checked="" type="checkbox"/>	Lacustre <input type="checkbox"/>	Glaciar <input type="checkbox"/>	
Otro:	Cultural				
Ecológico	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input checked="" type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Cultural	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input checked="" type="checkbox"/>
Estético	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input checked="" type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Didáctico	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input checked="" type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Económico	Nulo <input checked="" type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Influencia a nivel:	Local <input type="checkbox"/>	Regional <input checked="" type="checkbox"/>	Nacional <input type="checkbox"/>	Internacional <input type="checkbox"/>	
B.- Potencial de uso					
Accesibilidad	Muy difícil <input type="checkbox"/>	Difícil <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Fácil <input checked="" type="checkbox"/>	Muy fácil <input type="checkbox"/>
Tipo:	Pavimento(P), Ripio(R), Tierra(T)				
Estado:	Bueno(B), Regular(R), Malo(M)				
Camino de Pavimento, desde Puchuncaví por la ruta F-140 y F-146 y 60m de tierra.					
Distancia del lugar propuesto a punto más próximo de acceso en:					
Bus:		Automóvil:	0 m	Todo terreno:	
Visibilidad	Muy poca <input type="checkbox"/>	Poca <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Buena <input type="checkbox"/>	Muy buena <input checked="" type="checkbox"/>
Otros valores (naturales y/o culturales) y uso actual			Sin valor y sin uso <input type="checkbox"/>	Sin valor y con uso <input type="checkbox"/>	
Detalle:	Fiesta religiosa San Antonio	Con valor y sin uso <input type="checkbox"/>		Con valor y uso <input checked="" type="checkbox"/>	
Obstáculos para el aprovechamiento del lugar:					
			Si <input type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>	

Descripción:

Peligro volcánico Muy alto Alto Moderado Bajo Nulo

C.- Necesidades de protección

Deterioro Poco Moderado Avanzado

Vulnerabilidad Baja Media Alta

Protección Sin protección Suficiente Insuficiente

Tipo de protección:

Urgencia de protección: Muy urgente Urgente Mediano plazo Largo plazo

Situación Administrativa

Propiedad del estado Propiedad Privada Otro

Propiedad Municipal Área protegida

Características principales

En este geosítio, ubicado a 8 km de la línea de costa, afloran 12m de una secuencia fosilífera turbidítica marino- continental que alberga invertebrados, corales y variedad de estructuras sedimentarias. Este afloramiento pertenece a las intercalaciones sedimentarias de la Fm. Ajial, previamente descrito como paleozoico por Thomas (1958). Algunos de estos fósiles se encuentran en el Museo de Historia Natural de Puchuncaví.

Imagen y/o Esquema

(a) Geosítio visto desde el W. (b) Corales coloniales ex-situ. (c) Crinoídeo ex-situ.
(d) Vista hacia el SW desde el afloramiento. (e) Molusco. (f) Braquiópodo.

Descripción General

Se ubica a los pies de los cerros "Cordón de las Placetas", en la localidad de San Antonio de Puchuncaví, a 3km al NE de Puchuncaví y a 160 msnm. Se encuentra aproximadamente a 8km de la línea de costa. En el geositio afloran 12m de una serie volcanoclástica estratificada con niveles del orden de decímetros (**Figura 29**). Estos estratos se encuentran inclinados ~45°SW y son, en general, areniscas finas a medias con intercalaciones de material de mayor grosor (THOMAS, 1958).

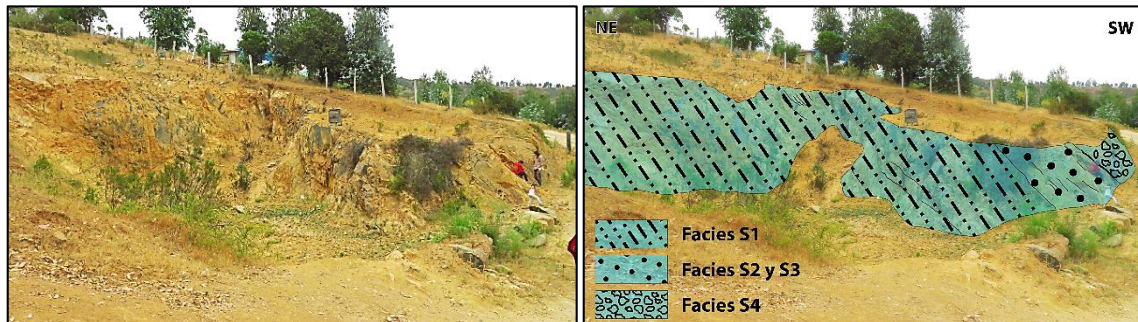


Figura 29. Afloramiento Fm. San Antonio de Puchuncaví (en color celeste). Macroscópicamente se compone de un potente paquete de turbiditas, limos y arcillas (simbología de línea segmentada), un paquete de areniscas y material de mayor grosor (simbología arena) y un paquete de conglomerado anguloso (simbología conglomerado). Este afloramiento fue redescubierto gracias a la extracción de áridos para nivelación del camino entre los años 1994-1997 y al hijo de una vecina de San Antonio de Puchuncaví.

Esta sección de la Fm. Ajjal corresponde a una serie marino-transicional, fosilífera, de granulometría limos-arcilla, arena y conglomerados angulosos. En el presente trabajo se han definido 4 facies, todas concordantes, para esta sección (**Figura 6**). De base a techo (de izquierda a derecha en la **Figura 29**), las facies corresponden a:

- S1: turbiditas de arenisca gruesa en matriz de limo y arcillas, normalmente gradadas e intercaladas con limos y arcillas masivos con contenido de invertebrados.
- S2: areniscas gruesas, medias y conglomerados finos con laminación paralela y cruzada planar.
- S3: areniscas masivas con cuerpos lenticulares de limo, invertebrados y corales coloniales.
- S4: conglomerados clasto y matriz-soportados de matriz limo-arcilla y arena.

La facies S1 se caracteriza por abundantes niveles turbidíticos de algunos centímetros con gradación normal de areniscas gruesas y medias matriz-soportadas (**Figura 30**). Estos niveles representan flujos episódicos frecuentes de erosión/depositación bajo el nivel del mar sobre una pendiente, por lo que es común que las capas corten a las subyacentes. La gradación normal se produce debido a que los clastos de mayor tamaño decantan primero que los granos más finos, los que, por suspensión, demoran mayor tiempo en depositarse sobre la superficie.

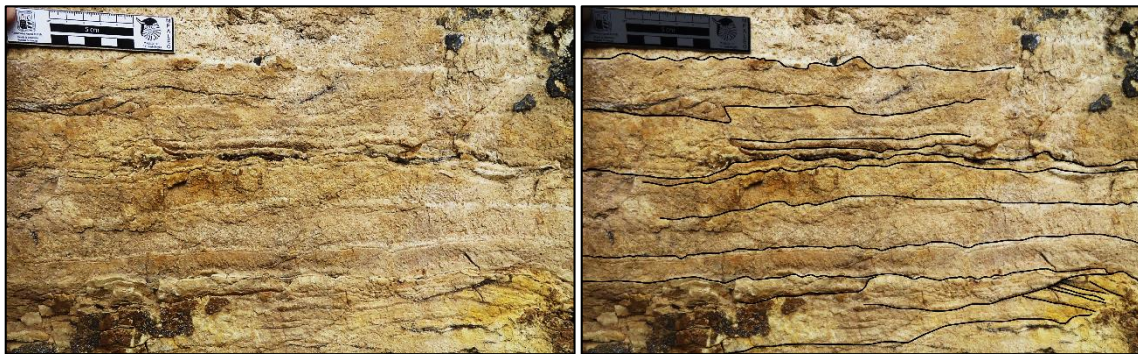


Figura 30. Niveles turbidíticos facies S1. Se ha resaltado la estratificación paralela. Cada una de estas láminas presenta gradación normal de arenas gruesas y algunas gravas finas, matriz-soportadas.

La facies S1 contiene invertebrados y, además, es frecuente observar bandas de Liesegang (**Figura 31**), estructuras posteriores a la depositación que se forman gracias a la circulación de fluidos a través de las fracturas, oxidando

diferencialmente el depósito y generando elipsoides concéntricos de minerales oxidados. MEJÍA, M. R. B. E. D. (2015) provee dos definiciones para las bandas de Liesegang: "... la primera los define como bandas o anillos concéntricos, secundarios, causados por la precipitación rítmica de fluidos saturados en las rocas. La segunda definición dice que son reacciones oscilantes en tiempo y espacio, en las que periódicamente se satisfacen condiciones de auto organización del sistema".

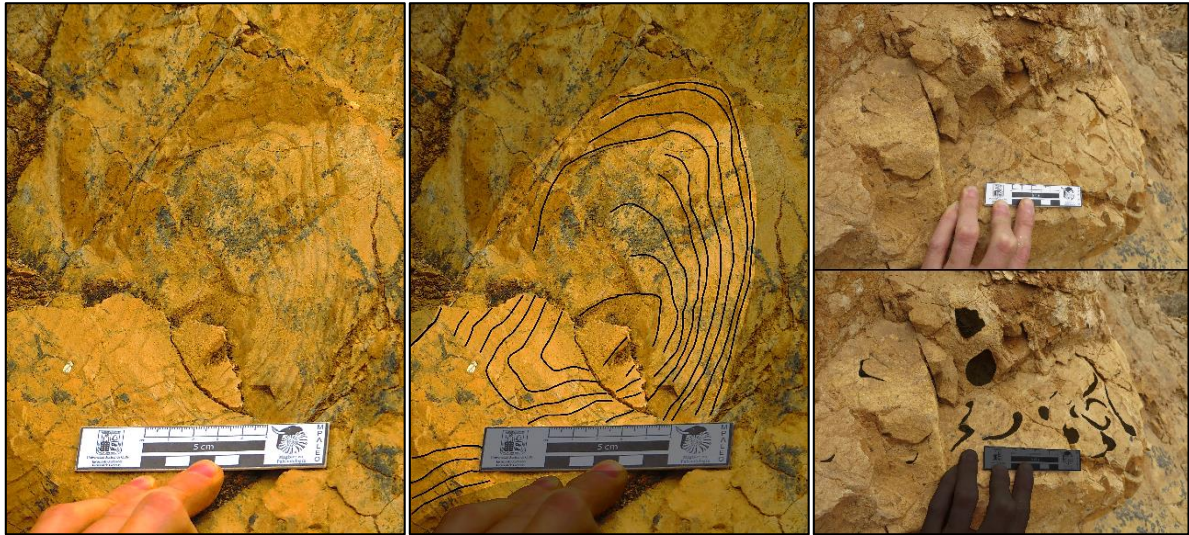


Figura 31. (izquierda) Bandas de liesegang. (derecha) Invertebrados de la facies S1 (**Figura 6**).

A escala de corte transparente, es común observar clastos ígneo/volcánico tamaño arena, inmersos en una matriz de limo y arcilla con un menor porcentaje de líticos y cuarzo tamaño arena fina (**Figura 32**). En algunos sectores es posible observar gran presencia de arcillas y clorita.

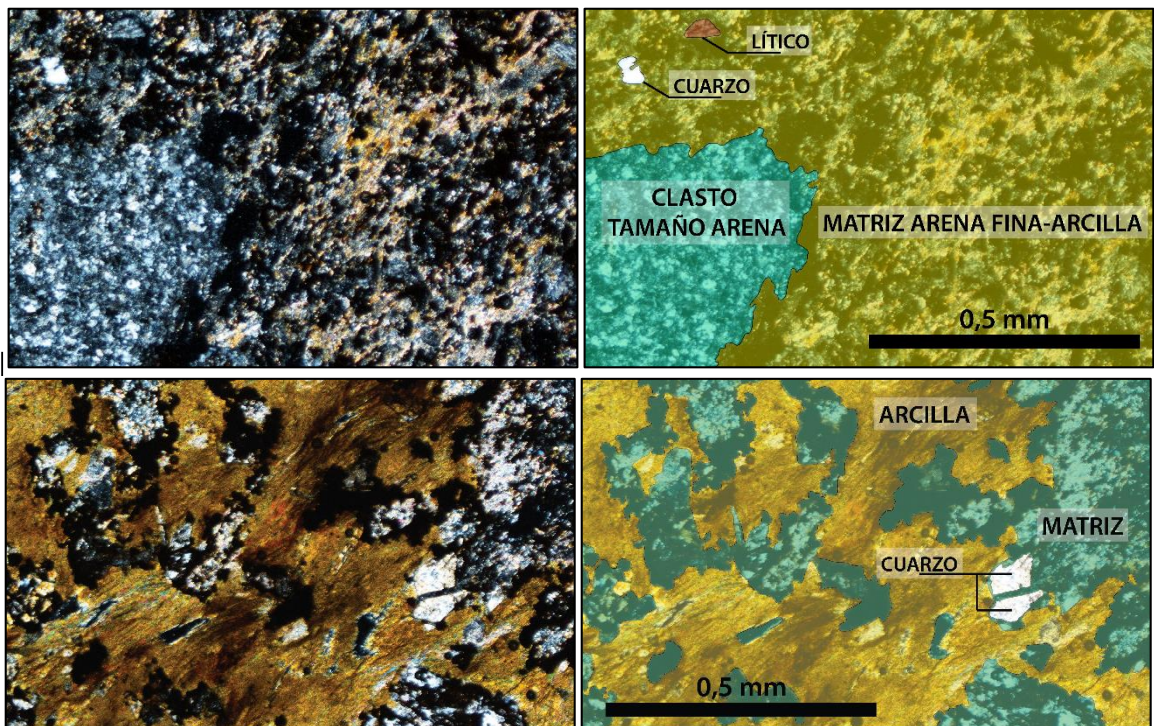


Figura 32. Fotomicrografías de la facies S1. Arriba se observa un grano de origen volcánico en una matriz arena fina-arcillosa con algunos líticos y cuarzo tamaño arena fina. Abajo la presencia de arcillas es mayor.

La facies S2 da cuenta de un ambiente transicional marino-continental, en el que rápidamente se hace presente un conglomerado anguloso, mal seleccionado y con gradación normal, de tamaño máximo de clastos de 3cm. La cantidad y bajo redondeamiento de los clastos indican que la fuente de estos sedimentos se hace cada vez más proximal. Este aporte

aluvional se ve esporádicamente interrumpido por areniscas mal seleccionadas con estratificación cruzada (**Figura 33**) y horizontal.

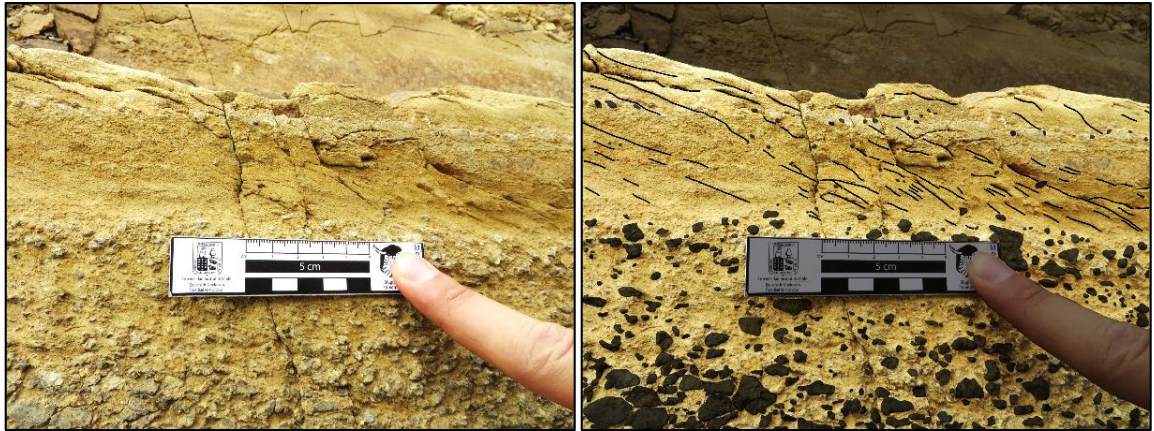


Figura 33. Gradación normal de los clastos (en negro) de la facies S2 y estratificación cruzada planar con dirección de flujo hacia el W en arenas y limos mal seleccionados.

La facies S3, gracias a los cambios en el nivel eustático, vuelve a ser de ambiente marino somero, con alta tasa de sedimentación, pero esta vez de granulometría arena y con presencia de invertebrados y corales. El coral colonial es menos abundante que los invertebrados, que se encuentran en gran parte de la columna estratigráfica (**Figura 6**).

Hacia el techo de esta facies se observan moldes externos deformados de invertebrados de hasta 5cm de tamaño (**Figura 34**).

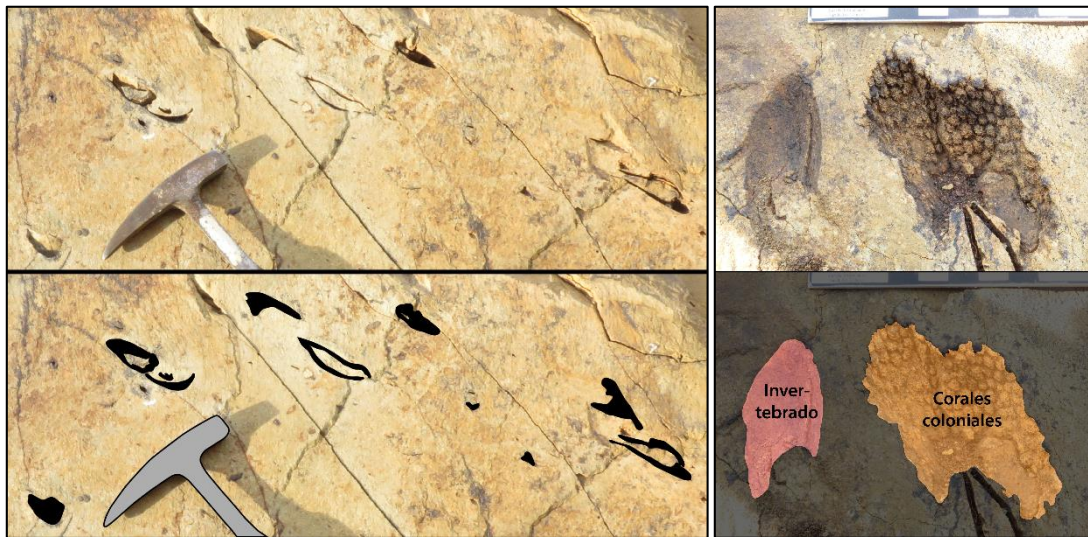


Figura 34. A la izquierda invertebrados deformados de la facies S1. A la derecha corales coloniales e invertebrado.

Nuevamente, en el techo de la facies S3 se observa un nivel brechizado con estratificación cruzada de aproximadamente 20cm de espesor (**Figura 35**).

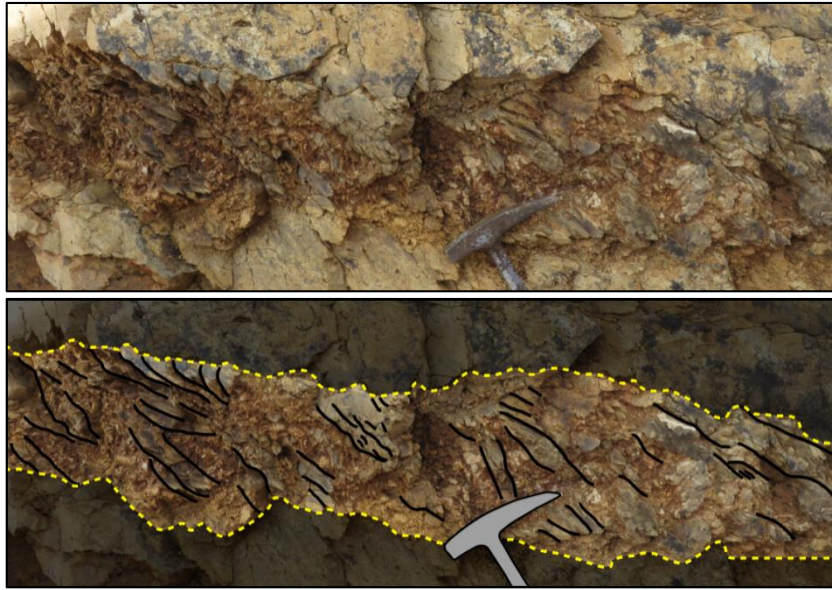


Figura 35. Estratificación cruzada de la facies S3. En línea amarilla discontinua se demarca la estratificación horizontal con dirección de flujo WSW. Debido a deformación tectónica, este nivel se encuentra muy fracturado.

Finalmente, la facies S4 correspondería a un ambiente aluvional, aunque con mayor grado de redondeamiento de clastos.

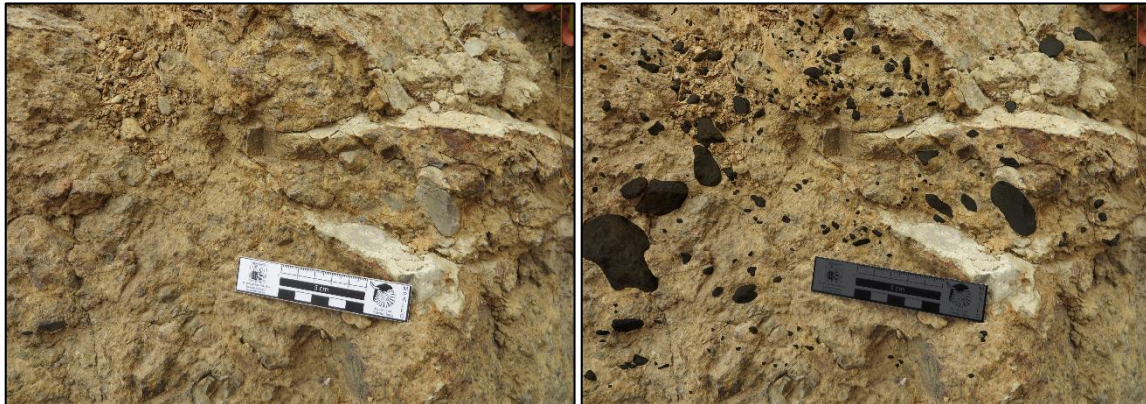


Figura 36. Conglomerado de la facies S4. Los clastos se han resaltado en negro.

Sobre la facies S4 se ha realizado un conteo de 287 clastos tomando en cuenta los fragmentos mayores a 1cm de diámetro, definiendo tres clases predominantes, resumidos en la **Tabla 1**:

Tabla 1. Resultados conteo de clastos facies S4 San Antonio de Puchuncaví.

Clase	Características principales	Redondeamiento	Diámetro máximo de clastos (cm)	Ocurrencia	%
Piroclástico	Matriz fina de ceniza gris con máficos de ~0,2mm	Subredondeados	8	129	45
Andesítico	Masa fundamental máfica con fenocristales de plagioclasa	Subredondeados	7	72	25
Cuarzodiorítico	Agregado cristalino cuarzodiorítico de grano grueso	Redondeados	2	86	30
				287	100

Los piroclásticos corresponden a ceniza de color gris con máficos diseminados (**Figura 37**), son los clastos dominantes, subredondeados y los de mayor tamaño. Esto indicaría bajo transporte, por lo que la fuente de estos clastos se encontraba cercana al lugar de depositación. Los clastos andesíticos consisten en una masa fundamental máfica, de color negro azulado con fenocristales de plagioclasa. Son los clastos menos abundantes, pero de tamaño similar a los piroclásticos y subredondeados, indicando también una fuente cercana, posiblemente las rocas más jóvenes de Fm. Ajjal. Los clastos cuarzodioríticos se encuentran en porcentaje similar a los clastos andesíticos y consisten en agregados cristalinos con cuarzo y feldespatos, muy alterados. Los clastos son redondeados y menores a 2cm de diámetro. Por su morfología, el aporte de éstos es menor y de fuente más lejana que las demás componentes de este conglomerado.

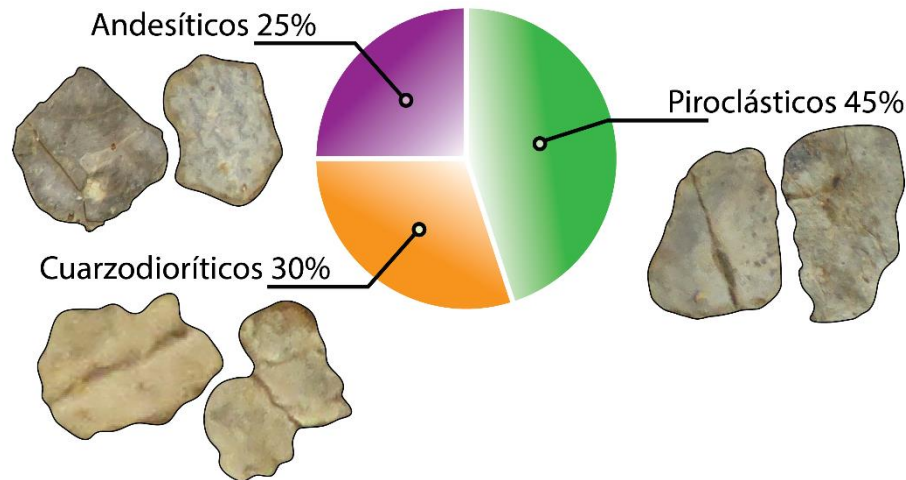


Figura 37. Esquema de resultados del conteo de clastos del conglomerado facies S4 San Antonio de Puchuncaví.

Ascendiendo por el piedemonte en donde se encuentra ubicado el afloramiento, y si el valle no está cubierto por niebla, es posible tener una vista panorámica de San Antonio de Puchuncaví. Este sector se caracteriza por su flora nativa, en forma de Litres, Boldos y Peumos, entre otros, otorgándole un alto valor escénico.



Figura 38. Vista panorámica hacia el este de San Antonio desde la cuesta adyacente a la excavación.

Este geositio constituye también el escenario de la Fiesta religiosa de San Antonio – patrimonio cultural- , que se celebra el 13 de julio de cada año con la presencia de cofradías y grupos de bailes chinos (**Figura 39**)



Figura 39. Fiesta religiosa de San Antonio, patrimonio cultural de Puchuncaví.

4.5 Valoración Cuantitativa

A continuación se presenta un resumen de los resultados de la valoración cuantitativa de los geositos anteriormente descritos (**Tabla 2**), según la metodología de MARTÍNEZ (2010). Según esta metodología, los puntajes que obtienen los geositos son ponderados según una puntuación regional o local y una puntuación nacional o internacional (Ver anexo B). La puntuación mínima/máxima que pueden obtener es de 9/45 puntos para el primer caso y 13,5/67,5 para el segundo. Los puntajes obtenidos oscilan entre los 32 y 36 puntos según la puntuación regional o local y entre 49 y 56 puntos según la puntuación nacional o internacional.

Tabla 2. Resultados de la valoración cuantitativa de los geositios según la metodología de MARTINEZ (2010). Ver **Anexo B** para más información. A. Criterios intrínsecos del geositio | B. Criterios relacionados con el uso potencial del lugar | C. Criterios relacionados con la necesidad de protección del geositio.

		Los Maitenes	Quirilluca	P.L. Horcón	Las Ventanas	San Antonio	
A1	Abundancia Regional	5					
		4	4	4	4		
		3				3	
		2					2
		1					
A2	Grado de conocimiento científico	5		5	5	5	5
		4	4				
		3					
		2					
A3	Lugar tipo	5	5	5	5		
		3					3
		1					1
A4	Extensión superficial	5	5				
		4		4	4		4
		3				3	
		2					
		1					
A5	Diversidad de elementos geológicos	5	5	5	5	5	
		4					4
		3					
		2					
A6	Utilidad didáctica	5		5	5	5	
		4	4				4
		3					
		2					
		1					
A7	Asociación con elementos culturales	5					
		4					
		3					
		2			2		2
A8	Asociación con elementos naturales	5		1		1	
		3		3	3		3
		1	1	1			1
A9	Estado de conservación	5	5	5	5	5	
		4					4
		3					
		2					
A10	Vulnerabilidad a los procesos naturales	5			5		5
		3	3	3			3
		1					
A11	Estético	5		5	5		5
		3	3			3	
		1					

		Los Maitenes	Quirilluca	P.L. Horcón	Las Ventanas	San Antonio	
B1	Posibilidad de realizar actividades	5				5	5
		3		3	3		
		1	1				
B2	Condiciones de observación	5				5	5
		4					
		3		3	3		
		2	2				
B3	Posibilidad de recolección de objetos	5				5	
		4					
		3					
B4a	Accesibilidad	5				5	
		4	4	4	4		4
		3					
		2					
B4b	Accesibilidad estacional	5	5	5	5	5	5
		4					
		3					
		2					
B5	Grado de dificultad del acceso	5	5	5	5	5	5
		4					
		3					
B6	Proximidad a centro poblado	5	5	5	5	5	5
		4					
		3					
B7	Número de habitantes de la comuna	5					
		4					
		3					
		2	2	2	2	2	2
B8	Condiciones socio-económicas	5					
		3	3	3	3	3	3
		1					
B9	Uso actual	5	5	5	5	5	
		4					
		3					
		2					
B10	Peligro volcánico	5	5	5	5	5	5
		4					
		3					
		2					
		1					

		Los Maitenes	Quirilluca	P.L. Horcón	Las Ventanas	San Antonio		
C1	Amenazas actuales o potenciales	5					5	
		3	3	3	3			
		1					1	
C2	Situación legal actual	5	5				5	5
		3		3	3			
		1						
C3	Interés por la extracción minera	5	5	5	5	5	5	5
		4						
		3						
		2						
C4	Régimen de propiedad	5		5	5	5	5	5
		4						
		3	3					
		2						
C5	Fragilidad	5						
		4					4	
		3	3	3	3			
		2						
		1						1

Con estos puntajes asignados, MARTINEZ (2010) realiza una puntuación regional o local y una puntuación internacional o nacional, para los cuales atribuye distintos ponderadores (ver **Anexo B**). Los resultados de la puntuación regional o local e internacional o nacional se presentan a continuación en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Puntuación obtenida por cada geositio según ámbito Regional o local y ámbito Internacional o Nacional. Ver la **Tabla 7** del **Anexo B**.

	Los Maitenes	Quirilluca	P. L. Horcón	Las Ventanas	San Antonio
Puntuación Regional o local	32	35	36	36	35
Puntuación Internacional o Nacional	49	54	56	53	52

4.6 Puntos de Interés Geológico (PIG)

Se describen, brevemente, los puntos de interés geológico que no poseen alto valor científico, intrínseco y/o de uso. La ubicación de estos puntos se presentan en el **Mapa 5**.

4.6.1 PIG 1: Aureola de contacto La Quebrada

Descripción General

Este PIG se ubica al costado sur del camino F-210, a 1,5km de La Canela, en la localidad La Quebrada, al NE de la comuna de Puchuncaví, en las coordenadas 279889mE, 6381331mS. Sobre el lecho del estero La Canela aflora un granito de feldespato alcalino, intruido por una microdiorita que provocó una aureola de contacto en la roca encajante. En la **Figura 40** se presenta una fotografía panorámica del PIG y sus alrededores.



Figura 40. Vista panorámica hacia el este del PIG 1 (al centro, formando el lecho del estero La Canela). El granito –la roca encajante- corresponde a la roca amarilla que aflora sobre el lecho del estero La Canela y a la derecha de la imagen, en la calicata.

El granito tiene textura fanerítica de grano fino. La microdiorita consiste en una masa fundamental de color negro azulado con algunos escasos fenocristales de plagioclasas de hasta 0,5mm (**Figura 41**).



Figura 41. Granito de feldespato alcalino (izquierda) e intrusivo microdiorítico (derecha).

En el contacto entre el granito y la microdiorita se observa la aureola de contacto a escala centimétrica y feldespatos recristalizados de mayor tamaño que los de la roca encajante. En la **Figura 42** se muestra el contacto y la aureola.



Figura 42. Aureola de contacto (en rojo) entre el intrusivo microdiorítico (azul) y el granito (rojo). Notar la recristalización de los feldespatos.

Cercano al contacto, es muy común observar xenolitos del granito y de andesita, los que disminuyen al alejarse del contacto (**Figura 43**).

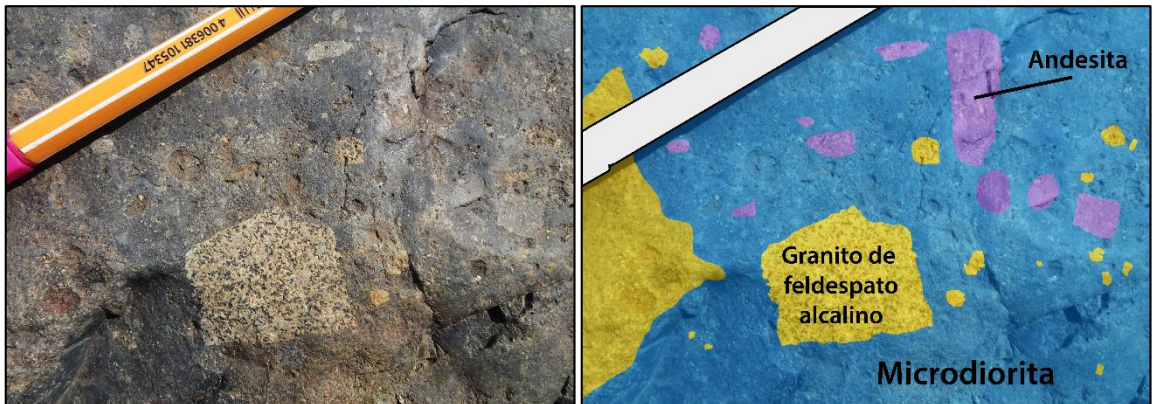


Figura 43. Xenolitos de la microdiorita en la zona de contacto entre ésta y el granito. Amarillo y violeta: xenolitos graníticos y andesíticos, respectivamente. | Azul: microdiorita.

4.6.2 PIG 2: Mirador La Canela

Descripción General

Este PIG se ubica al costado oeste del camino F-140 que une Puchuncaví con La Canela, en las coordenadas 280847mE, 6378610mS. En este punto afloran rocas de la Fm. Ajjal a la izquierda del camino que une Puchuncaví con La Canela, muy deformadas y brechizadas (**Figura 44**).



Figura 44. Rocas de la Fm. Ajjal, deformadas y brechizadas.

El afloramiento no es de gran interés, pero sí lo es la impresionante vista panorámica que tiene de la localidad La Canela y de la Cordillera de la Costa.



Figura 45. Vista Panorámica hacia el este de La Canela desde Mirador La Canela

4.6.3 FIG 3: Dique camino La Canela

Descripción General

Este FIG se ubica al costado oriental de la ruta F-140 Puchuncaví – La Canela, en las coordenadas 278484mE, 6377901mS (Mapa 5). En este lugar afloran tobas de la Fm. Ajjal siendo intruidas por un dique leucocrático que lo corta con una inclinación de unos 70° al NE.



Figura 46. Vista panorámica del FIG 3. La Fm. Ajjal es intruida por un dique leucocrático (derecha de la fotografía).

En la **Figura 47** se muestra el dique leucocrático, alterado y de color amarillo pardo y la toba gris con líticos andesíticos (roca encajante) de la Fm. Ajjal.



Figura 47. Arriba fotografía del dique y abajo tobas de la Fm. Ajjal con fragmentos líticos andesíticos en color negro.

4.6.4 PIG 4: Metarrudita de El Rincón

Descripción General

Se ubica en la localidad de El Rincón, a 1,5km al E de Puchuncaví, al costado S del Camino a El Rincón, en las coordenadas 275343mE 6376633mS (**Figura 48**).



Figura 48. Vista general de la Metarrudita.

Se trata de un paraconglomerado de clastos de hasta 6 cm en una matriz de arena y limo de color marrón claro. Los clastos se encuentran como intercalaciones rítmicas a lo largo de 50m en dirección NE-SW.



Figura 49. Foliación NNE-SSW del conglomerado en una zona con baja participación de clastos en el afloramiento.

La roca se encuentra foliada en dirección NNE-SSW (**Figura 49**). Los clastos también se encuentran deformados en la dirección de la foliación (**Figura 50**).

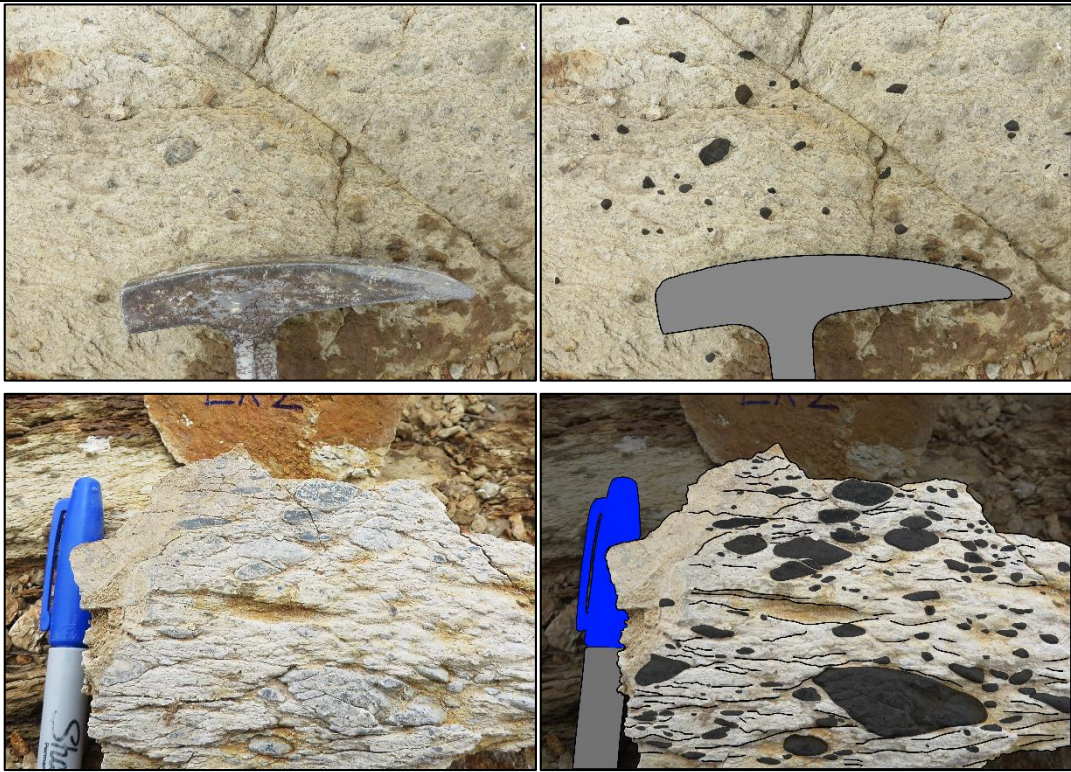


Figura 50. Metarrudita de El Rincón. Arriba la fotografía está tomada perpendicular a los planos de foliación. Abajo paralelo a los planos de foliación. Notar los clastos (en color negro) de buen redondeamiento, deformados y alineados con la foliación (horizontal en la fotografía de abajo).

THOMAS (1958) describe este afloramiento como 'filitas micacitas de color amarillento, bien estratificadas, en algunos casos con rodados diseminados' y que, 'a primera vista, estas rocas tienen aspecto de areniscas algo conglomeráticas, que se metamorfosearon a filitas y micacitas por tectonización o dinamometamorfismo regional, pero que bajo el microscopio estas filitas y micacitas fueron determinadas como "queratófiros" brechosos porfíricos metamorfoseados, probablemente con cierta recristalización'.

4.6.5 PIG 5: Vetas en Granitoide Jurásico

Descripción General

Se ubica aproximadamente a 1 km al sur de Puchuncaví, al costado oriental de la ruta F-190 en las coordenadas 274412 m E, 6375544 m S (**Mapa 5**). Se trata de un afloramiento de cuarzodiorita con enclaves máficos de unos 20m de altura y unos 80m de extensión, muy alterada y cortada por una red de vetas y vetillas de cuarzo y feldespato (**Figura 51**). La cuarzodiorita y los enclaves son idénticos a los del geosítio Arco de Roca de Ventanas de Puchuncaví, las llamadas Cuarzodioritas de Cachagua.



Figura 51. Granitoide Jurásico con enrejado de vetas de cuarzo-feldespato

Las vetas tienen grosores de hasta 1m y, a pesar de que se cortan unas a otras, existe una dirección preferencial en planos que caen con aproximadamente 45° hacia el este (**Figura 52**).



Figura 52. Red de vetas y vetillas (en color blanco) cuarzo-feldespáticas, cortando el granitoide

4.6.6 PIG 6: Minas de Chilicauquén Alto y Bajo

Descripción General

Las mina de Chilicauquén Alto (del quechua 'Chiri', frío y 'Cauquén' o 'Canquén', el nombre de un pato) se ubican en el Cerro La Mina al costado oriental de la ruta F-228 en las coordenadas 277738 m E, 6368844 m S (PIG 6a en **Mapa 5**). En este punto la Fm. Ajjal se encuentra afectada por alteración hidrotermal, por lo que se pueden observar minerales como crisocola, azurita, malaquita y cuarzo (**Figura 53**).



Figura 53. Mina de extracción a baja escala Chilicauquén Alto. Imágenes gracias a Verónica Andrade.

La mina de Chilicauquén Bajo se ubica 2,5 km al SW de la mina de Chilicauquén Alto en las coordenadas 276507 m E, 6366616 m S (PIG 6b en **Mapa 5**). Es de menor escala que la anterior y más pequeña, aunque se puede observar la misma mineralogía (**Figura 54**).



Figura 54. Mina de extracción a baja escala Chilicauquén Bajo.

5 GEOCRONOLOGÍA EN CIRCONES DETRÍTICOS

La geocronología en circones detríticos se está transformando rápidamente en una herramienta esencial para las ciencias de la Tierra debido a la amplia ocurrencia de circones en sistemas sedimentarios, el amplio espectro de información que puede ser extraída de éstos, la habilidad para determinar edades con precisión razonable, exactitud y eficiencia, y el amplio rango de nuevas ideas sobre cómo usar la información geocronológica de circones detríticos.

Durante las dos últimas décadas, esta técnica se ha desarrollado rápidamente gracias a avances tecnológicos – la cantidad de material necesario para realizar un análisis ha decrecido desde que el espectrómetro de masas fue usado por primera vez para geocronología en U-Pb, en los años sesenta (Schoene, 2014) – que hacen posible determinar eficientemente edades confiables U-Pb a partir de cristales individuales de

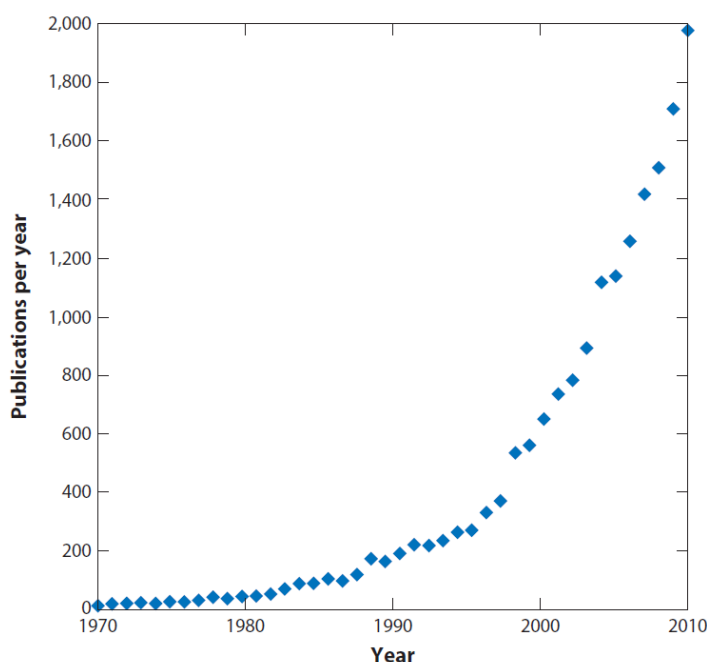


Figura 55. Publicaciones (artículos y resúmenes) por año que reportan o discuten datos geocronológicos de circones detríticos. Tomado de Gehrels (2014).

circón, combinado con el pensamiento de que la geocronología en circones detríticos revela poderosa información sobre un amplio rango de procesos geológicos. Este desarrollo ha resultado en una explosión de publicaciones que reportan o discuten datos geocronológicos en circones detríticos (Figura 55) (Gehrels, 2014).

El sistema U-Pb se compone de tres cronómetros disponibles ($^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$, $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$, y $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$) y parte del supuesto que los circones representan un sistema cerrado, por lo que, cuando las edades arrojadas por los tres sistemas son similares, es

probable que el supuesto se cumpla (GEHRELS, 2014). Estas razones isotópicas pueden ser medidas mediante ID-TIMS, SIMS y LA-ICP-MS. Entre las aplicaciones que permite este método, están la cuantificación de la edad máxima de depositación, caracterización de la proveniencia de los sedimentos y la correlación de unidades sedimentarias (GEHRELS, 2014).

En este capítulo se analizan las razones isotópicas del sistema U/Pb de 70 circones detríticos de la muestra SA3 perteneciente al techo de la facies S1 de la Sucesión Fosífera

de San Antonio de Puchuncaví (**Figura 6**), con el objetivo de cuantificar la edad máxima de depositación y posible proveniencia de los circones.

Los circones fueron separados mediante molienda y separación de minerales pesados en los laboratorios del Departamento de Geología de la Universidad de Chile. Inicialmente fueron separados los circones de 3 muestras (SA1, SA2 y SA3). Las muestras SA1 y SA2 corresponden a una lava perteneciente a la Fm. Ajial y a la base de la facies S1, respectivamente, y entregaron, entre ambas muestras, menos de 10 circones, por lo que no forman parte del análisis U-Pb. Los circones de la muestra SA3 fueron enviados a la Australian National University, bajo la dirección de C.M. Fanning, para la realización de los análisis U-Pb mediante tecnología SHRIMP (Sensitive High Resolution Ion Microprobe), cuyos datos se presentan en el Anexo C.

Para la interpretación de los datos se utilizaron diagramas de concordia de los sistemas $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs. $^{238}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, diagramas de densidad de probabilidad (PDP, *probability density plot*) y diagramas de barras de error.

5.1 Resultado análisis U-Pb de la muestra SA3

El análisis U-Pb de 70 circones detríticos de la muestra SA3 arrojó un circón aislado y 2 grupos bien acotados. Sesenta de los circones se agrupan en el Jurásico Medio aproximadamente entre los 190 y los 159 Ma, 9 circones se agrupan en el Carbonífero superior (Pensilvaniano) entre los 300 y 320 Ma y un circón aislado de edad 1823 ± 22 Ma. (Paleoproterozoico), según la International Chronostratigraphic Chart v2014/02. En la **Figura 56** se presenta el diagrama de concordia de la muestra.

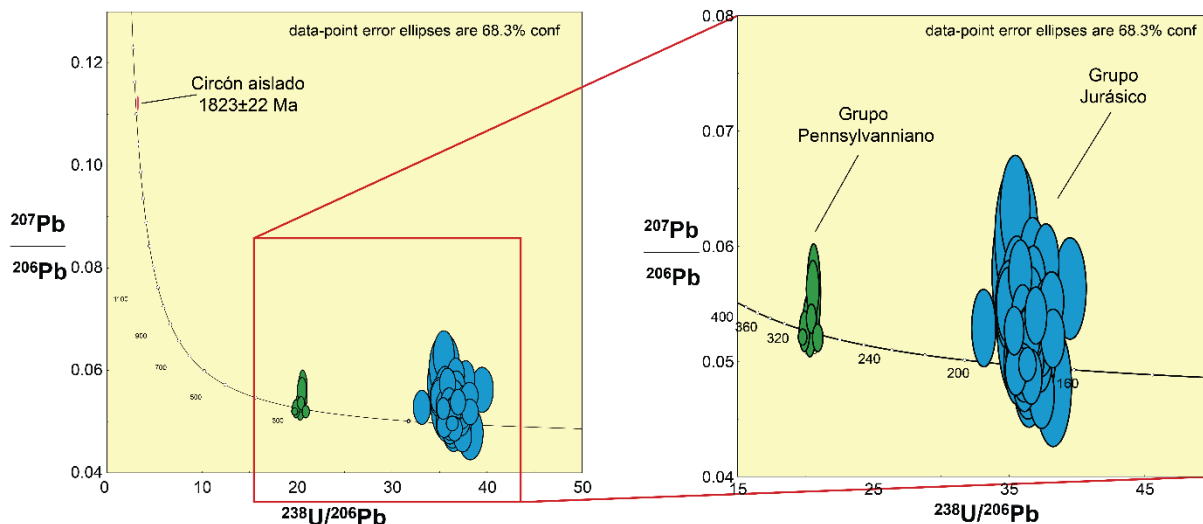


Figura 56. Diagramas de Concordia muestra SA3. Los dos grupos principales corresponden al Pensilvaniano (verde) y al Jurásico (azul).

Los diagramas PDP de la muestra SA3 presentan dos máximos, de cuyos grupos se han calculado el promedio ponderado. Estos se ubican a los $173,2 \pm 1,2$ Ma (Jurásico Medio), a

los $309,2 \pm 1,5$ (Carbonífero superior, en particular en el Pensilvaniano) y un circón aislado de edad 1823 ± 22 Ma (Paleoproterozoico), presentados en la **Figura 57**.

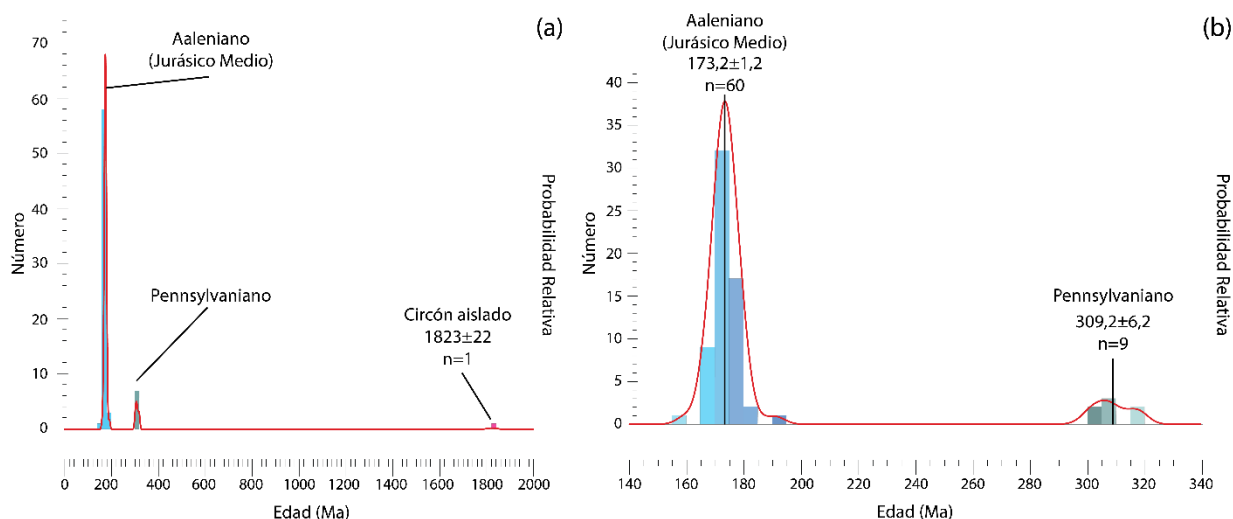


Figura 57. Densidad de probabilidad de la muestra SA3. (a) PDP de los 70 circones | (b) PDP de los dos máximos principales (Jurásico y Pensilvaniano).

5.2 Edad máxima posible de depositación

Una de las aplicaciones más poderosas de los circones detríticos deriva de lo que puede ser llamado la ley de circones detríticos, la cual dice una unidad sedimentaria no puede ser más antigua que la edad de el o los granos de circón más jóvenes (GEHRELS, 2014). Dicho esto, el circón o grupo de circones más joven de la muestra provee la edad máxima de depositación de dicha roca. El promedio ponderado del grupo de circones más jóvenes de la muestra SA3 es de $173,2 \pm 1,2$ Ma (Aaleniano, Jurásico Medio), aunque la depositación de esta roca puede ser más joven que este promedio. La muestra es una roca sedimentaria perteneciente al techo de la facies S1 de la Secuencia Fosilífera de San Antonio de Puchuncaví (ver **Figura 6**). En la **Figura 58** se presenta la densidad de probabilidad de este grupo y su promedio ponderado.

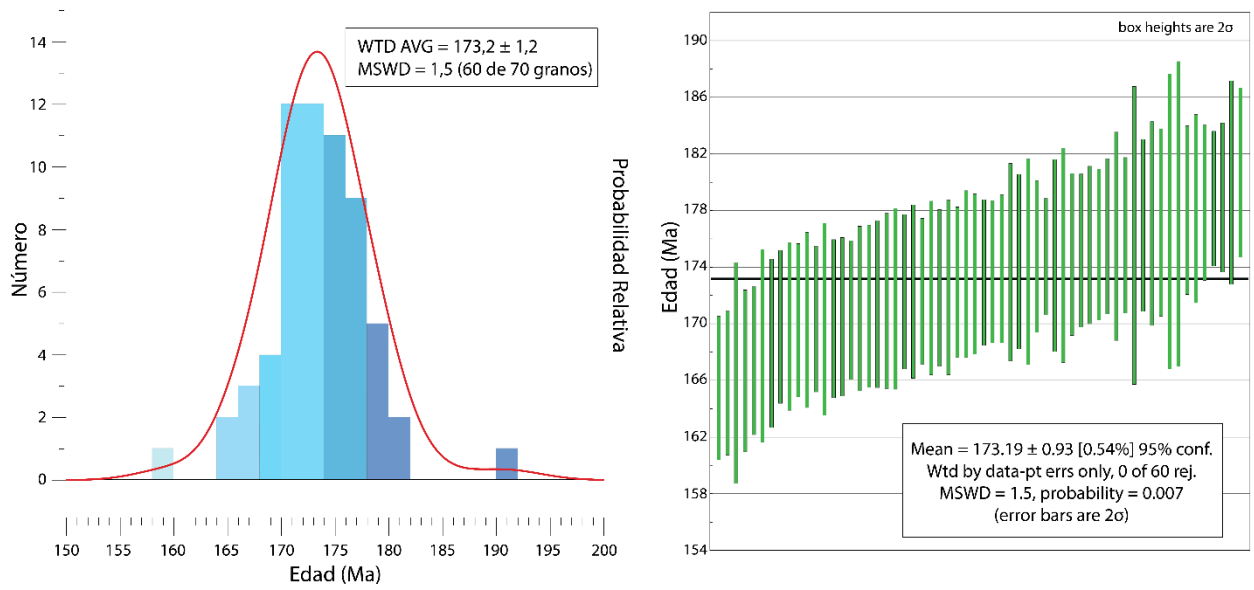


Figura 58. (a) Densidad de probabilidad del grupo de circones pertenecientes al Jurásico. | (b) Promedio ponderado del grupo de circones jurásicos.

6 DISCUSIÓN

6.1 San Antonio de Puchuncaví

Corvalán (en THOMAS, 1958) reconoció en unas secuencias sedimentarias de San Antonio de Puchuncaví algunas impresiones correspondientes a braquiópodos *Productus*, a los que asignó edad Carbonífero-Pérmico. Posteriormente, COVACEVICH (1975) señala que en el camino hacia el este de San Antonio de Puchuncaví, en el sector donde Corvalán habría recolectado la fauna atribuida al Paleozoico Superior, recolectó *Microphyllia* sp.; *Complexastrea?* sp. (A y B); *Propeamissium* sp. (A y B); *Isognomon?* o *Inoceramus?* sp.; *Lucina* sp.; *Trigonia* (*Trigonia*) sp.; *Coelastarte* sp. (A?, B y C); *Astarte* sp. (A); *Plicatula?* sp.; *Homomya?* sp.; *Pleuromya* sp.; *Nerinellia* sp.; *Nerinea?* Sp.; *Trochus* spp.; *Gastropoda* indet.; *Echinoidea* indet. (B y C) y *Sérpula* sp. (det. COVACEVICH, 1993). Según Covacevich, todos estos fósiles presentan una asociación que es típica del miembro La Cruz de la Formación Cerro Calera, es decir, del Bajociano Inferior. Tomando en cuenta estas consideraciones, estas impresiones pertenecerían, entonces, a una de las intercalaciones sedimentarias de la Fm. Ajial, la que se puede observar actualmente en el geosito San Antonio de Puchuncaví. Algunos de estos fósiles (ex-situ) se encuentran, actualmente, en el Museo de Historia Natural de Puchuncaví.

Los estratos de la sección caen con 45° al SW y, en general, hay una tendencia al aumento del tamaño de grano de base a techo (**Figura 6**) indicando una transición desde un ambiente marino turbidítico en las facies S1, a uno de menor energía en la facies S2 y S3 a uno con cada vez mayor aporte de sedimentos continentales en la facies S4. En esta última facies se ha realizado un conteo de los clastos mayores a 1 cm de diámetro del conglomerado (**Figura 37**), donde un 45% de un total de 287 clastos resultaron ser de origen piroclástico, un 30% corresponden a cuarzodiorita y un 25% a andesita porfírica, indicando en todos los casos una proveniencia ígnea. En general, el grado de redondeamiento de los clastos es bajo y el grado de selección del conglomerado es muy bajo (**Figura 37**), ambos indicando escaso transporte y una fuente cercana al NE, evidenciado por la estratificación cruzada de la facies S2 y S3 (**Figura 33** y **Figura 35**), las que indican dirección de flujo hacia el W-WSW.

Lo anterior lleva a pensar que la fuente de estos sedimentos correspondería al arco volcánico desarrollado durante el Jurásico Inferior. En ese período el arco se encuentra muy cercano a la línea de costa, por lo que la interacción entre estos sedimentos y el agua de mar es muy probable. Posteriormente, un alzamiento o una disminución del nivel eustático y/o un mayor aporte de sedimentos habrían depositado los conglomerados de la facies S4. En la siguiente figura se presenta un modelo paleogeográfico modificado de RIVANO et al. (1993) durante el Bajociano (Jurásico Medio).

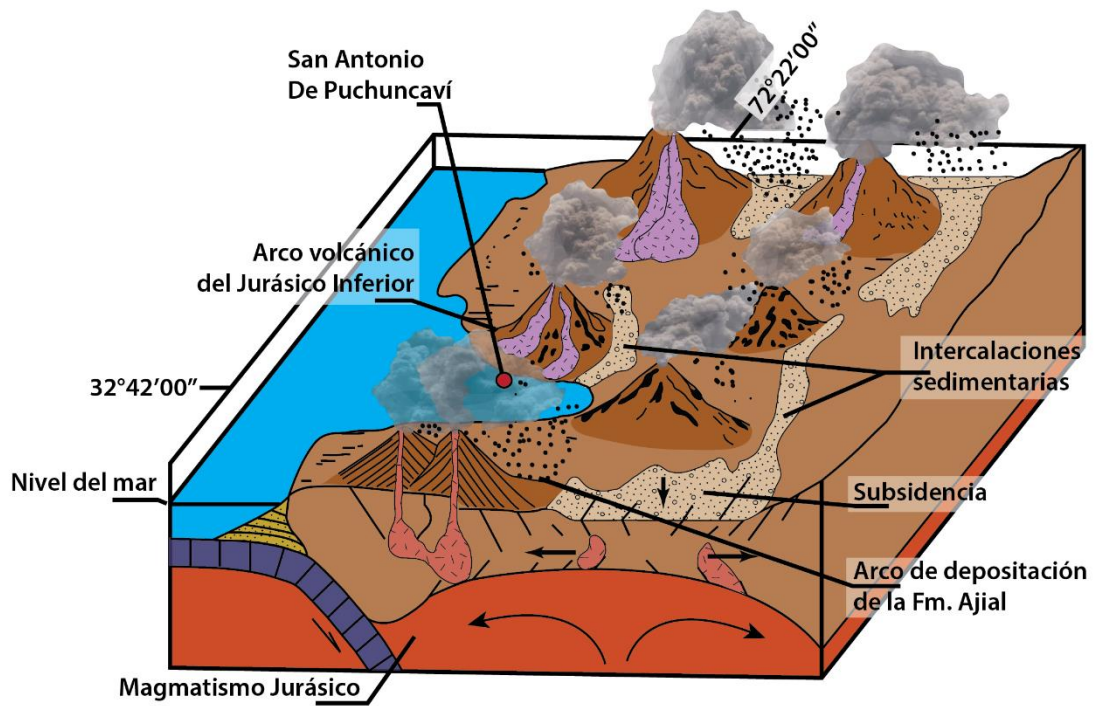


Figura 59. Modelo paleogeográfico que ilustra la deposición de la Fm. Ajjal durante el Jurásico y el origen de las facies marino-transicionales de San Antonio de Puchuncaví). Dichas facies tendrían edad Bajociano Inferior. Modificado de RIVANO et al. (1993).

6.1.1 Proveniencia de los circones detríticos

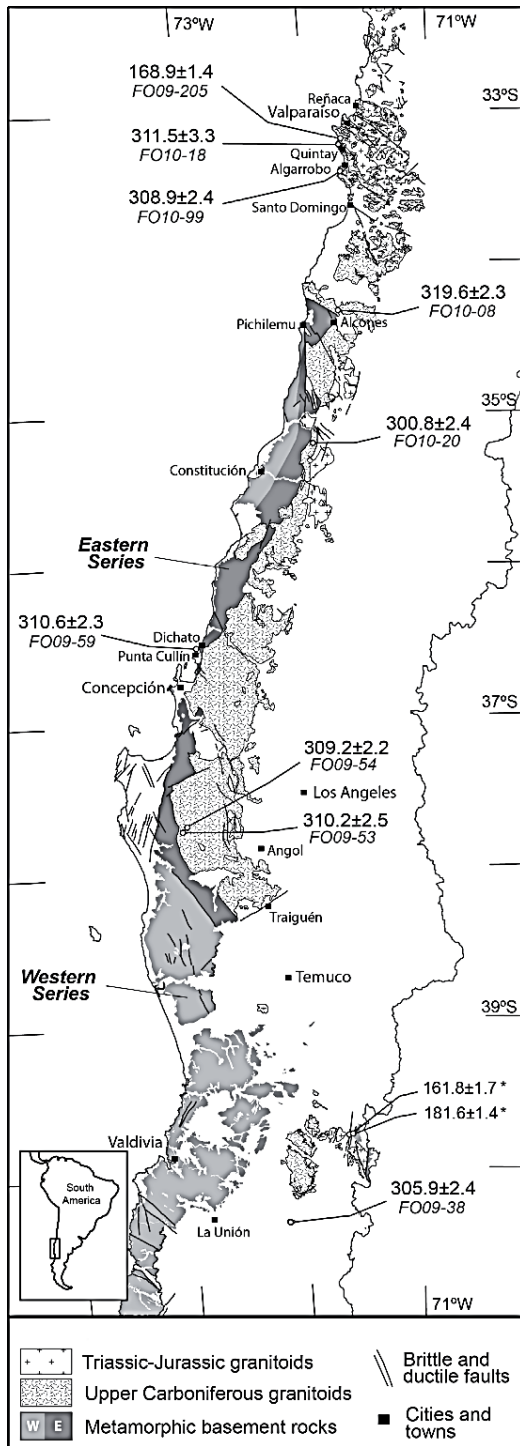


Figura 60. Mapa esquemático geológico de Chile Central entre los 30° y los 40°S (modificado de SERNAGEOMIN (2003)). Datos indicados corresponden a edades U-Pb de cristalización de circones. Tomado de DECKART et al. (2014).

La muestra SA3 contiene aportes Jurásicos, principalmente (60 de 70 circones), Carbonífero superior (Pensilvaniano, 9 circones) y un circón aislado Paleoproterozoico. La proveniencia del circón aislado Paleoproterozoico (1823 ± 22 Ma) es difícil de explicar, debido a que podría tratarse de un núcleo heredado o a un circón retrabajado y transportado grandes distancias.

El grupo de circones de edad Pensilvaniana (301 a 318 Ma) indica que la fuente de estos circones se encontraba exhumada y en proceso de erosión al momento de la deposición de la secuencia fosilífera de San Antonio. ALVAREZ et al. (2011) realiza geocronología U-Pb en circones detríticos del Complejo Metamórfico del Choapa, ubicado al W de Chile entre los 30° y 32°S, y entrega un edad máxima de depositación de 340 Ma dada por el grupo de circones más jóvenes y un máximo a los 309 Ma. Sin embargo, es probable que dichos circones tuvieron una historia muy distinta por el hecho provenir de una fuente metamórfica. Una fuente alternativa más atractiva es el Batolito Costero de edad Pensilvaniana, entre los 33° y los 38°S, el cual alberga circones con edades entre 300 y 320 Ma (DECKART et al. (2014), **Figura 60**), indicando un corto período de emplazamiento (20 Ma).

Los circones del Jurásico (159 a 191 Ma) son el grupo más numeroso en la muestra. Geocronología y análisis U-Pb en circones magmáticos de gabros ubicados entre Quintay y Valparaíso entregan edades entre los 158 y 180 Ma. (ej., GODOY & LOSKE (1988), GANA & TOSDAL (1996), DECKART et al. (2014)), PARADA et al., (1999) muestra la distribución de los cinturones plutónicos Carbonífero, Jurásico Inferior, Jurásico Medio y Cretácico del batolito costero entre los 31° y 34°S (**Figura 61**), indicando que la fuente de los circones detríticos de esta memoria podría encontrarse,

quizás, en el complejo Papudo-Quintero y el complejo Limarí, ambos pertenecientes al arco Jurásico.

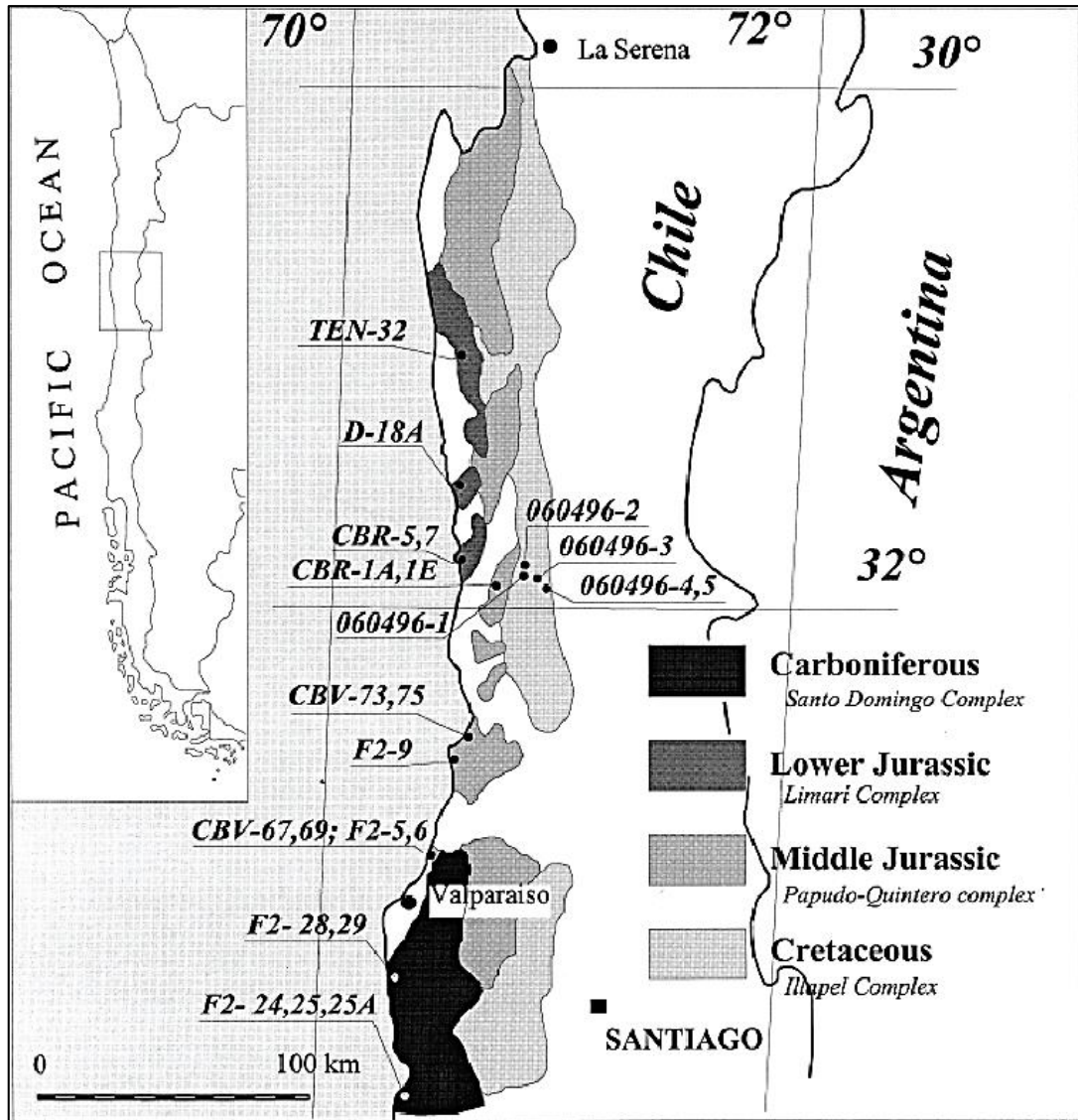


Figura 61. Distribución de los cinturones plutónicos Carbonífero, Jurásico Inferior, Jurásico Medio y Cretácico del batolito costero entre los 31° y 34°S. Tomado de PARADA et al. (1999).

En la **Figura 62** se resumen las provincias orogénicas de Sudamérica según BAHLBURG et al. (2009), en particular, el arco magmático del Paleozoico Tardío y el cinturón orogénico andino del Jurásico al presente, las fuentes más probables para los circones analizados en este trabajo.

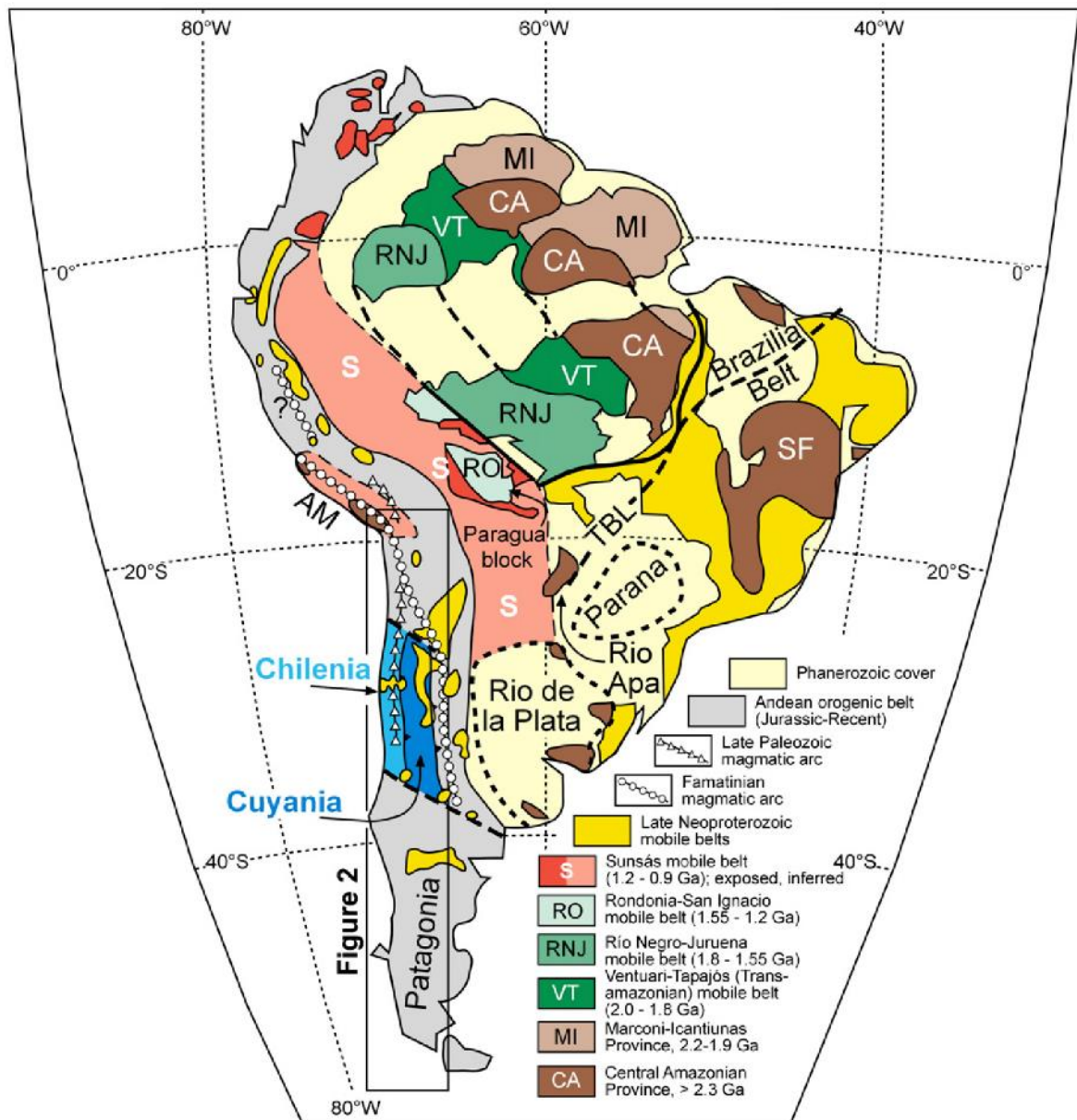


Figura 62. Provincias orogénicas de Sudamérica. AM, Macizo de Arequipa | CA, Provincia Amazonia Central | SF, Cratón San Francisco | TBL, Lineamiento Transbrasiliano. Tomado de BAHLBURG et al. (2009).

7 CONCLUSIONES

Se ha confeccionado un mapa geológico 1:50.000 del Geoparque Puchuncaví y columnas estratigráficas para la Fm. Caleta Horcón y el geosito San Antonio de Puchuncaví. La primera corresponde a una serie marino-transicional y la segunda a una intercalación sedimentaria perteneciente a la Fm. Ajjal de carácter marino turbidítico-aluvional con sedimentos volcánicos de proveniencia NE-NNE.

Se han valorado cualitativa y cuantitativamente 5 geositos. De acuerdo a la puntuación regional los resultados oscilan entre 32 y 36 puntos de un máximo de 45 y un mínimo de 9 puntos, y de acuerdo a la puntuación nacional o internacional, entre 49 y 52 pts. de un máximo de 67,5 y un mínimo de 13,5 puntos. Ha sido descrita la geología, además, de 6 puntos de interés geológico (PIG).

La geocronología U-Pb en circones detríticos de la secuencia fosilífera de San Antonio de Puchuncaví reveló una edad máxima posible de depositación de $173,2 \pm 1,2$ Ma (Aaleniano, Jurásico Medio) dada por el promedio ponderado del grupo de circones más jóvenes. La proveniencia de los circones del Pensilvaniano tiene su fuente, probablemente, en el Batolito Costero de edad Pensilvaniana y la del grupo de circones del Jurásico tienen su fuente en el arco Jurásico, probablemente en los complejos Limarí y/o Papudo-Quintero.

Considerando la información recopilada y generada en este trabajo, la comuna de Puchuncaví tiene los recursos científicos y la información necesaria para la realización de actividades educativas, rutas geoturísticas y para su desarrollo como geoparque.

Como estudios futuros se recomienda la elaboración de modelos 3D a modo de ilustrar a la comunidad de manera fácil y rápida los procesos que forjaron la comuna de Puchuncaví. Se recomienda también un estudio geocronológico (ej., circones detríticos) en el PIG Metarrudita El Rincón. Esta roca podría dar luces sobre la historia paleozoica de esta comuna.

Dado que los paradigmas de las ciencias de la Tierra varían en función del tiempo, todo lo estipulado en este trabajo queda sujeto a futuros cambios –y se espera que así sea- para aumentar la resolución del conocimiento del geopatrimonio de Puchuncaví y, por ende, de Chile.

8 BIBLIOGRAFÍA

8.1 Referencias

- ÁLVAREZ, J., MPODOZIS, C., ARRIAGADA, C., ASTINI, R., MORATA, D., SALAZAR, E., ... & VERVOORT, J. D. 2011. Detrital zircons from late Paleozoic accretionary complexes in north-central Chile (28–32 S): Possible fingerprints of the Chilenia terrane. *Journal of South American Earth Sciences*, 32(4), 460-476.
- AUSTRALIAN HERITAGE COMMISSION. 2003. Protecting natural heritage. Using the Australian Natural Heritage Charter. Department of the Environment and Heritage. Commonwealth of Australia. Canberra. 139 pp.
- BRILHA, J. B. 2005. Património geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Braga, Portugal: Palimage Editores, 190 p.
- CABALLERO GARCÍA, J. 2003. Metodología para la elaboración de un sistema de información sobre lugares y puntos de interés geomorfológico de los Montes de Toledo. Trabajo para el diploma de estudios avanzados. Universidad Complutense de Madrid. (Inédito).
- CANCINO, A. 1992. Contribución a la Petrología e interpretación tectónica de las rocas volcánicas triásicas y jurásicas de la región central de Chile (33° - 34° Lat. S). Departamento de Geología. U. de Chile. Memoria de título. Inédito. P. 259. Santiago. Chile.
- CARRILLO-BRICEÑO, J. D., GONZÁLEZ-BARBA, G. E. R. A. R. D. O., LANDAETA, M. F., & NIELSEN, S. N. 2013. Condriectios fósiles del Plioceno Superior de la Formación Horcón, Región de Valparaíso, Chile central. *Revista chilena de historia natural*, 86(2), 191-206.
- CARTER, W. D., & ALISTE, N. 1962. Cuadrángulo Melón. Inst. Invest. Geol., unpublished report, Santiago, Chile.
- CENDRERO, A. 1996. El patrimonio geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización. En MOPTMA. El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización, 17-38. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Madrid. 112 pp.
- COVACEVICH, V. 1987. Faunas fósiles de la Hoja Quillota. Informe laboratorio de paleontología. Informe interno. Inédito. Santiago.
- COVACEVICH, V. y PIRACÉS, R. 1976. Hallazgo de ammonites del Bajociano superior en la cordillera de la Costa de Chile Central entre la Cuesta El Melón y Limache. 3 fig., 1 lam.

- DAVIDSON, J.; MPODOZIS, C.; RIVANO, S. 1981. Evidencias de tectogénesis del Devónico superior-Carbonífero inferior al oeste de Augusta Victoria, Antofagasta, Chile. *Revista Geológica de Chile* 12: 79-86.
- DECKART, K., HERVÉ, F., FANNING, C. M., RAMÍREZ, V., CALDERÓN, M., & GODOY, E. 2014. U-Pb geochronology and Hf-O isotopes of zircons from the Pennsylvanian Coastal Batholith, south-central Chile. *Andean Geology*, 41(1), 49-82.
- DÍAZ MARTINEZ, E.; MAMET, B.; ISAACSON, P.E.; GRADER, G.W. 2000. Permian marine sedimentation in northern Chile: new paleontological evidence from the Juan de Morales Formation, and regional paleogeographic implications. *Journal of South American Earth Science* 13 (6): 511-525.
- DIXON, G., SHARPLES, C., HOUSHOLD, I., PEMBERTON, M., Y EBERHARD, R. 1997. Conservation Management Guidelines for Geodiversity. Tasmanian Regional Forest Agreement Environment and Heritage Technical Committee. 70 pp.
- DOWLING, R. K., & NEWSOME, D. 2006. *Geotourism*. routledge.
- DRAKE, R., VERGARA, M., MUNIZAGA, F., & VICENTE, J. C. 1982. Geochronology of Mesozoic-Cenozoic magmatism in central Chile, lat. 31–36 S. *Earth-Science Reviews*, 18(3), 353-363.
- DUCEA, M.N., OTAMENDI, J.E., BERGANTZ, G., STAIR, K.M., VALENCIA, V.A., GEHRELS G.E., 2010. Timing constraints on building an intermediate plutonic arc crustal section: U-Pb zircon geochronology of the Sierra Valle Fertil. La Huerta, Famatinian arc, Argentina. *Tectonics*, 29, TC4002, doi:10.1029/2009TC002615.
- ESPIÑEIRA, D. 1989. Geología del Complejo Plutónico Papudo-Quintero. Aspectos cronológicos y geoquímicos. Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile.
- ESPIÑEIRA, D.J. Y PARADA, M. 1987. Geology of the Jurassic Plutonic Complex of the Chilean Coastal Range between 32°30' and 33° S. X Congreso Geológico Argentino, Tomo IV. P.15-17. Tucumán, Argentina.
- GALLEGO, E., & GARCÍA-CORTÉS, A. 1996. Patrimonio geológico y áreas naturales protegidas. *Geogaceta*, 19, 202-206.
- GANNA, P., & TOSDAL, R. M. 1996. Geocronología U-Pb y K-Ar en intrusivos del Paleozoico y Mesozoico de la Cordillera de la Costa, Región de Valparaíso, Chile. *Andean Geology*, 23(2), 151-164.
- GEHRELS, G. 2014. Detrital Zircon U-Pb Geochronology Applied to Tectonics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 42, 127-149.
- GODOY, E., & LOSKE, W. 1988. Tectonismo sinplutónico de dioritas jurásicas al sur de Valparaíso: datos U-Pb sobre la 'Fase Quintay'. *Andean Geology*, 15(2), 119-127.

- GRAY, M. 2004. Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature. John Wiley & Sons.
- HERVÉ, F., FANNING, C.M., CALDERÓN, M., MPODOZOIS, C., 2014. Early Permian to Late Triassic batholiths of the Chilean Frontal Cordillera (28°–31°S): SHRIMP U–Pb zircon ages and Lu–Hf and O isotope systematics. *Lithos*, 184–187, 436–446.
- JOHANSSON, C. E., ANDERSEN, S., & ALAPASSI, M. 1999. Geodiversity in the Nordic countries. *ProGeo News*, 1, 1-3.
- LAGO, M., ARRANZ, E., ANDRÉS, J.A., SORIA, A.R. Y GALÉ, C. 2001. Patrimonio Geológico: bases para su estudio y metodología. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Serie Investigación. Zaragoza. 107 pp.
- LEVI, B. 1960. Estratigrafía del Jurásico y Cretáceo Inferior de la Cordillera de la Costa entre las latitudes 32 40' y 33 40'. *Univ. Chile Fac. Cienc. Fis. Mat. An*, 17, 219-271.
- MAKSAEV, V., MUNIZAGA, F., TASSINARI, C., 2014. Timing of the magmatism of the paleo-Pacific border of Gondwana: U-Pb geochronology of Late Paleozoic to Early Mesozoic igneous rocks of the north Chilean Andes between 20°-31°S. *Andean Geology*, v. 41, no. 3, p. 447-506.
- MARTINEZ, P. 2010. Identificación, caracterización y cuantificación de geositios, para la creación del I Geoparque en Chile, en torno al Parque Nacional Conguillío. Memoria para optar al título de Geóloga, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- MEJÍA, M. R. B. E. D. 2015. Las bandas de liesegang como origen de los patrones simétricos del esmalte. Liesegang rings as origin of enamel symmetrical patterns.
- MELLADO ILABACA, E. 2015. Origen del complejo metaturbidítico de Quebrada Aroma y sus implicancias en la evolución paleozoica del norte de Chile. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Chile. Departamento de Geología. Santiago.
- MINATO, M., & TAZAWA, J. I. 1977. Fossils of the Huentelauquén Formation at the locality F, Coquimbo Province, Chile. Comparative studies in the geology of the Circum-Pacific orogenic belt in Japan and Chile. First Rep. (Ishikawa, T, 95-117).
- MIŠKOVIĆ, A., SPIKINGS, R.A., CHEW, D.M., KOŠLER, J., ULIANOV, A., SCHALTEGGER, U., 2009. Tectono-magmatic evolution of Western Amazonia: geochemical characterization and zircon U–Pb geochronologic constraints from the Peruvian Eastern Cordilleran granitoids. *Geological Society of America Bulletin*. v. 121; n° 9/10, p. 1298–1324. doi:10.1130/B26488.1.
- MORALES, J. 1996. El patrimonio paleontológico. Bases para su definición, estado actual y perspectivas futuras. *El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización*, 39-51.

- NIEMEYER, H.R.; URZÚA, F.; ACEÑOLAZA, F.G.; GONZÁLEZ, C.R. 1985. Progresos recientes en el conocimiento del Paleozoico de la Región de Antofagasta. In Congreso Geológico Chileno, No. 4, Actas 1: 410-438. Antofagasta.
- NIEMEYER, H.; VENEGAS, R.; GONZÁLEZ, C.R.; ACEÑOLAZA, F.G. 1997. Los terrenos paleozoicos del Salar de Navidad, Región de Antofagasta, Chile. *Revista Geológica de Chile* 24 (2): 123-143.
- PANIZZA, M. 1999. *Geomorphological assets: concepts, methods and examples of survey*. En Baretino, D., Vallejo, M. y Gallego, E. (Eds.). *Towards the Balanced Management and conservation of the geological Heritage in the New Millenium*, 125-128. Sociedad Geológica de España, Instituto Tecnológico Geominero de España y European Association for the Conservation of the Geological Heritage.
- PARADA, M. A., NYSTRÖM, J. O., & LEVI, B. E. A. T. R. I. Z. 1999. Multiple sources for the Coastal Batholith of central Chile (31–34 S): geochemical and Sr–Nd isotopic evidence and tectonic implications. *Lithos*, 46(3), 505-521.
- PARTARRIEU BRAVO, D. M. 2013. Inventario de geositos en la comuna de Lonquimay, para la creación del Geoparque Kütralkura, IX Región de la Araucanía (Doctoral dissertation, Universidad de Chile).
- PASKOFF, R. 1999. Contribuciones recientes al conocimiento del Cuaternario marino del centro y del norte de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 26(4).
- PIRACES, R. 1976. Estratigrafía de la Cordillera de la Costa entre la Cuesta El Melón y Limache, Provincia de Valparaíso, Chile. In Congreso Geológico Chileno (No. 1, pp. A65-A82).
- PIRACES, R., & MAKSAEV, V. 1977. Geología de la Hoja Quillota. IIG, Santiago (unpublished).
- RAMOS, V.A., 2008. The basement of the central Andes: the Arequipa and related Terranes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 36, 289-324.
- RIVANO, S., SEPÚLVEDA, P., BORIC, R., & ESPIÑEIRA, D. 1993. Hojas Quillota y Portillo, V Región Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, 73(1).
- RIVANO, S., SEPÚLVEDA, P. 1991. Hoja Illapel, Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, No. 69, 1 mapa 1:250.000.
- RUBILAR, A. 2008. Paleontología, patrimonio paleontológico y sus vínculos con la biología y geología. En Simposio Paleontología en Chile (No. 1, pp. 3-9).
- SEPÚLVEDA, P. 1988. Resultados preliminares del trabajo geológico regional efectuado en el sector de la Cordillera de la Costa entre Tilama y la Cuesta del Melón, V Región. Informe interno. Inédito. Julio 1988, SERNAGEOMIN. P. 17. Santiago, Chile.

- SCHOENE, B. 2013. U–Th–Pb geochronology. *Treatise on geochemistry*, 3.
- STANLEY, M. 2001. Geodiversity strategy. *Progeo News*, 1, 6-9.
- TAVERA, J. 1960. El Plioceno de Bahía Horcón en la provincia de Valparaíso. *Anales de la Fac. De Cienc. Fis. Y Matem. Instituto de Geología. U de Chile. Publicación No. 18*, p. 349-365. Santiago. Chile.
- THOMAS, H. 1958. Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de La Ligua y la Cuesta de Barriga. *Instituto de Investigaciones Geológicas*.
- UNESCO, 2007. *Global Geoparks Network. Guidelines and Criteria for National Geoparks seeking UNESCO's assistance to join the Global Geoparks Network*, 10 p.
- URQUÍ, L. C. 2006. Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos (Vol. 7). IgmE.
- ZEIL, W. 1964 *Beiträge zur regionalen Geologie der Erde. Bd. 3: Geologie von Chile. Gebrüder Borntraeger, Berlin-Nikolassee.*

8.2 Documentos en línea

- SHARPLES, C. (Ed.). 2002. Concepts and principles of geoconservation. *Tasmanian Parks & Wildlife Service website (Version 3)*. [en línea] <<http://dpipe.tas.gov.au/Documents/geoconservation.pdf>> [consulta: 5 mayo 2015]
- GEOPARQUE KÜTRALKURA. 2013. Website Geoparque Kütralkura [en línea] <<http://geachile.sernageomin.cl/en/>> [consulta: 6 mayo 2015]
- MURRAY, G. 2004. Geodiversity valuing and conserving abiotic nature. [en línea] <http://samples.sainsburysebooks.co.uk/9780470090817_sample_387067.pdf> [consulta: 22 julio 2015]

ANEXO A: VALORACIÓN CUALITATIVA DE GEOSITIOS

Nombre					
Ubicación					
Región:	Provincia:		Comuna:		
Coordenadas			Altitud:		
Población más próxima (cuál y distancia)					
Dimensión:	Sitio <input type="checkbox"/>	Área <input type="checkbox"/>	Panorámico <input type="checkbox"/>		
A.- Valor intrínseco					
<i>Científico:</i>	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Interés Geológico	Geomorfológico <input type="checkbox"/>	Paleontológico <input type="checkbox"/>	Geoquímico <input type="checkbox"/>	Cárstico <input type="checkbox"/>	Geo-cultural <input type="checkbox"/>
	Mineralógico <input type="checkbox"/>	Petrológico <input type="checkbox"/>	Volcánico <input type="checkbox"/>	Eólico <input type="checkbox"/>	Económico <input type="checkbox"/>
	Hidrogeológico <input type="checkbox"/>	Geotécnico <input type="checkbox"/>	Fluvial <input type="checkbox"/>	Litoral <input type="checkbox"/>	Meteórico <input type="checkbox"/>
	Estratigráfico <input type="checkbox"/>	Tectónico <input type="checkbox"/>	Lacustre <input type="checkbox"/>	Glaciar <input type="checkbox"/>	
Otro:	<input type="text"/>				
<i>Ecológico</i>	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
<i>Cultural</i>	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
<i>Estético</i>	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
<i>Didáctico</i>	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
<i>Económico</i>	Nulo <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Elevado <input type="checkbox"/>	Muy elevado <input type="checkbox"/>
Influencia a nivel:	Local <input type="checkbox"/>	Regional <input type="checkbox"/>	Nacional <input type="checkbox"/>	Internacional <input type="checkbox"/>	
B.- Potencial de uso					
<i>Accesibilidad</i>	Muy Difícil <input type="checkbox"/>	Difícil <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Fácil <input type="checkbox"/>	Muy fácil <input type="checkbox"/>
<u>Tipo:</u> Pavimento(P), Ripio(R), Tierra(T)	<input type="text"/>				
<u>Estado:</u> Bueno(B), Regular(R), Malo(M)	<input type="text"/>				
Distancia del lugar propuesto a punto más próximo de acceso en:					
Bus:	<input type="text"/>	Automóvil:	<input type="text"/>	Todo terreno:	<input type="text"/>
<i>Visibilidad</i>	Muy poca <input type="checkbox"/>	Poca <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Buena <input type="checkbox"/>	Muy buena <input type="checkbox"/>
<i>Otros valores (naturales y/o culturales) y uso actual</i>			Sin valor y sin uso <input type="checkbox"/>	Sin valor y con uso <input type="checkbox"/>	
Detalle:	<input type="text"/>		Con valor y sin uso <input type="checkbox"/>	Con valor y uso <input type="checkbox"/>	
<i>Obstáculos para el aprovechamiento del lugar:</i>					
			Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	

Figura 63. Ficha para la evaluación cualitativa de geositos. Extraída de MARTINEZ (2010)

Descripción: <input type="text"/>					
<i>Peligro volcánico</i>	Muy alto <input type="checkbox"/>	Alto <input type="checkbox"/>	Moderado <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Nulo <input type="checkbox"/>
C.- Necesidades de protección					
<i>Deterioro</i>	Poco <input type="checkbox"/>	Moderado <input type="checkbox"/>	Avanzado <input type="checkbox"/>		
<i>Vulnerabilidad</i>	Baja <input type="checkbox"/>	Media <input type="checkbox"/>	Alta <input type="checkbox"/>		
<i>Protección</i>	Sin protección <input type="checkbox"/>	Suficiente <input type="checkbox"/>	Insuficiente <input type="checkbox"/>		
Tipo de protección: <input type="text"/>					
Urgencia de protección: Muy urgente <input type="checkbox"/> Urgente <input type="checkbox"/> Mediano plazo <input type="checkbox"/> Largo plazo <input type="checkbox"/>					
<i>Situación Administrativa</i>					
Propiedad del estado <input type="checkbox"/>		Propiedad Privada <input type="checkbox"/>		Otro <input type="text"/>	
Propiedad Municipal <input type="checkbox"/>		Área protegida <input type="checkbox"/>			
Características principales					
Imagen y/o Esquema					

Figura 64. Ficha para la evaluación cualitativa de geositos. Extraída de MARTINEZ (2010).

ANEXO B: VALORACIÓN CUANTITATIVA DE GEOSITIOS

Tabla 4. Tabla que detalla los criterios intrínsecos del geositio (Valor A).

A.- Criterios intrínsecos del geositio		
A1 Abundancia Regional	5	Solo existe un ejemplo
	4	Uno de los 3 mejores ejemplos
	3	Existen entre 4 a 10 ejemplos
	2	Existen entre 11 a 20 ejemplos
	1	Existen mas de 20 ejemplos
A2 Grado de conocimiento científico	5	Citado en mas de una tesis académica, capitulo de libro o articulos de revistas científicas
	4	Citado en tesis u otro tipo de publicación técnico- científica
	3	Citado en articulo de revista nacional e informes o Planes de Manejo
	2	Citado en relatos técnicos o Planes de Manejo
	1	No existen alguna referencia sobre el geositio
A3 Lugar tipo	5	Reconocido como lugar tipo
	3	Lugar tipo "secundario"
	1	No es reconocido como lugar tipo
A4 Extensión Superficial	5	Superior a 1.000.000 m ² = 1 km 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 mas elementos geológicos
	4	Se observan 3 elementos geológicos
	3	Se observan 2 elementos geológicos
	2	Solo se observa un elementos geológico
	1	No se aprecia ningún elemento geológico
A6 Utilidad didáctica	5	Muy útil e ilustrativo. Es posible usarlo para fines didácticos para cualquier tipo de publico
	4	Buena utilidad pedagógica para personas con conocimientos básicos
	3	Puede ser utilizado para fines didácticos para un publico de perfil especializado
	2	Baja utilidad pedagógica
	1	Sin interés pedagógico
A7 Asociación con elementos culturales	5	Existen en el lugar o en las inmediaciones evidencias de interés arqueológico o de otros tipos
	4	Existen evidencias arqueológicas 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 naturales	5	Fauna y Flora importante por su abundancia, o presencia de especies de especial interés
	3	Presencia de fauna y flora 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 aun 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 Vulnerabilidad a los procesos naturales	5	La evolución natural del lugar no afecta al geositio
	3	La evolución de los procesos naturales pueden afectar, mas sin perder lo importante
	1	La evolución de los procesos naturales causa daños graves
A11 Estético	5	Considerar la singularidad visual de elementos geomorfológicos, cualidad panorámica, diversidad de elementos, litología y tonalidades, presencia de vegetación y agua, ausencia de deterioro antropico, altura y proximidad en relación a los objetos observados
	3	
	1	

Tabla 5. Tabla que detalla los criterios relacionados con el uso potencial del lugar (Valor B).

B.- Criterios relacionados con el uso potencial del lugar		
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 otros tipos 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 arboles o vegetación baja
	1	Deficientes
B3 Posibilidad de recolección de objetos	5	Posible la recolección de rocas, fósiles y minerales sin dañar al geosítio
	4	Posible la recolección de rocas o fósiles o minerales sin dañar al geosítio
	3	Posible recolección de algunas muestras pero con restricciones
	2	Posible recolección de algunas muestras pero perjudicando el geosítio
	1	No es posible recolección de muestras
B4a Accesibilidad	5	Acceso por bus en rutas nacionales o locales y a menos de 100 metros del camino,
	4	Acceso por auto en rutas locales en buen estado y a menos de 500 metros del camino
	3	Acceso por 4x4 y a menos de 500 metros de camino o huella
	2	Acceso a pie a mas de 500 m desde vehículo
	1	Acceso a pie a mas de 1 km desde vehículo
B4b Accesibilidad estacional	5	Se puede visitar durante todo el año
	4	Se puede visitar durante tres estaciones del año
	3	Se puede visitar durante dos estaciones del año
	2	Se puede visitar durante una estación del año
	1	Difícil acceso en cualquier estación
B5 Grado de dificultad del acceso	5	Bajo, para cualquier persona
	4	Mediana-Baja, para personas afines a caminatas largas
	3	Medio, personas con buen estado físico y con cierta practicas de montaña
	2	Difícil, personas con buen estado físico y con experiencia en caminatas de media montaña
	1	Muy difícil, para personas con experiencia en caminatas de alta exigencia y/o solo con equipos especiales
B6 Proximidad a centro poblado	5	Existe una población con mas de 10.000 habitantes y oferta de servicios variada a menos de 5 km
	4	Existe una población con menos de 10.000 habitantes, oferta de servicios limitada, a menos de 5 km
	3	Existe una población con oferta de servicios entre 5 a 20 km
	2	Existe una población con oferta de servicios entre 20 a 40 km
	1	Solo existe una población con oferta de servicio a mas de 40 km
B7 Numero de habitantes de la comuna	5	Mas 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
B8 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, de educación del área es equivalente a la media regional
	1	El nivel de rendimiento per cápita, de educación del área es menor en relación a la media regional
B9 Uso actual	5	Promovido y usado como lugar de interés geológico
	4	Promovido y usado como lugar de interés cultural o natural
	3	Promovido y usado como lugar de interés paisajístico
	2	Sin divulgación pero es usado
	1	Sin divulgación ni uso
B10 Peligro Volcánico	5	Nulo
	4	Bajo
	3	Moderado
	2	Alto
	1	Muy alto

Tabla 6. Tabla que detalla los criterios relacionados con la necesidad de protección (Valor C).

C.- Criterios relacionados con las necesidades de protección del geositio		
C1 Amenazas actuales o potenciales	5	Zona rural, no sujeta a desarrollo urbano o industrial ni a construcción de infraestructuras y sin perspectivas de estar sometidas a tal
	3	Zona de carácter intermedio, no está previsto un desarrollo urbano o industrial concreto, pero hay posibilidades en el futuro
	1	Zona incluida en área de expansión urbana o industrial
C2 Situación legal actual	5	Lugar sin ningún tipo de protección legal
	3	Lugar incluido en un área de protección legal
	1	Lugar dentro de un área protegida
C3 Interés por la extracción minera	5	Zona sin interés por la extracción
	4	Zona con potencial interés por la extracción
	3	Zona con reservas importantes de bajo valor, pero no está prevista su exploración inmediata
	2	Zona con interés para la extracción, en que está prevista la exploración
C4 Régimen de propiedad	1	Zona con gran interés para la extracción, con exploraciones y/o licencias activas
	5	Terreno del Estado
	4	Terrenos de propiedad municipal
	3	Terreno parcialmente público y privado
	2	Terreno privado perteneciente a un solo propietario
C5 Fragilidad	1	Terreno privado perteneciente a varios propietarios
	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	Sitios que pueden ser destruidos en parte por intervenciones no muy intensas
	2	Sitios que pueden ser fácilmente destruidos por intervenciones humanas poco agresivas
1	Sitios pequeños que pueden ser destruidos por pequeñas intervenciones o afloramientos minerales o fosilíferos de fácil depredación	

Tabla 7. Q: cuantificación final de la relevancia del geositio; A,B,C: resultados obtenidos para cada conjunto de criterios

Geositios de ámbito internacional o nacional	Geositios de ámbito regional o local
$Q = \frac{2A + B + 1.5C}{3}$	$Q = \frac{A + B + C}{3}$

ANEXO C: DATOS U-Pb CIRCONES DETRÍTICOS

Tabla 8. Datos análisis U-Pb en circones detríticos muestra SA3.

Grai n. spot	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	²⁰⁶ Pb* (ppm)	²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb	f ₂₀₆ %	Total Ratios				Radiogenic Ratios				r	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	Age (Ma)	%	preferred Age (Ma)			Total Ratios				Radiogenic Ratios				
							²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U						²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U
1.1	160	125	0.78	3.6	0.001143	0.74	38.172	0.585	0.0552	0.0017	0.0260	0.0004		165.5	2.5				17.1	159.7	3.2	39.504	0.785	0.0564	0.0029					0.0251	0.0005
2.1	224	166	0.74	5.4	0.000489	<0.01	35.537	0.522	0.0494	0.0015	0.0281	0.0004		179.0	2.6				11.1	165.5	2.5	38.172	0.585	0.0552	0.0017					0.0260	0.0004
3.1	164	182	1.11	3.8	-	0.34	37.179	0.609	0.0522	0.0019	0.0268	0.0004		170.5	2.8				11.1	165.9	2.5	38.241	0.587	0.0521	0.0017					0.0261	0.0004
4.1	1309	895	0.68	56.8	-	<0.01	19.789	0.210	0.0522	0.0005	0.0506	0.0005		318.0	3.3				58.1	166.6	3.9	38.274	0.892	0.0479	0.0035					0.0262	0.0006
5.1	152	90	0.59	3.6	0.000528	0.40	36.206	0.594	0.0527	0.0019	0.0275	0.0005		174.9	2.9				67.1	166.7	2.9	37.732	0.643	0.0585	0.0023					0.0262	0.0005
6.1	66	47	0.70	1.6	-	0.41	36.215	0.782	0.0528	0.0028	0.0275	0.0006		174.9	3.8				36.1	167.4	2.6	37.768	0.589	0.0543	0.0020					0.0263	0.0004
7.1	189	154	0.81	4.3	0.001036	0.24	37.374	0.594	0.0514	0.0017	0.0267	0.0004		169.8	2.7				28.1	168.5	3.4	37.608	0.754	0.0528	0.0029					0.0265	0.0005
8.1	92	55	0.60	2.2	0.000235	0.71	36.207	0.722	0.0552	0.0025	0.0274	0.0006		174.4	3.5				63.1	168.6	3.0	37.587	0.659	0.0524	0.0023					0.0265	0.0005
9.1	185	174	0.94	4.4	0.000092	<0.01	36.093	0.563	0.0491	0.0017	0.0277	0.0004		176.3	2.8				7.1	169.8	2.7	37.374	0.594	0.0514	0.0017					0.0267	0.0004
10.1	499	199	0.40	20.5	0.000192	<0.01	20.912	0.245	0.0521	0.0008	0.0478	0.0006		301.2	3.5				33.1	169.9	3.0	37.214	0.646	0.0546	0.0023					0.0267	0.0005
11.1	211	185	0.88	4.7	0.000219	0.34	38.241	0.587	0.0521	0.0017	0.0261	0.0004		165.9	2.5				16.1	170.3	2.7	37.319	0.593	0.0503	0.0019					0.0268	0.0004
12.1	89	46	0.51	2.2	0.000773	0.65	35.080	0.698	0.0549	0.0026	0.0283	0.0006		180.0	3.6				27.1	170.3	3.1	36.953	0.668	0.0581	0.0026					0.0268	0.0005
13.1	111	63	0.57	2.6	0.000183	0.19	36.954	0.685	0.0510	0.0023	0.0270	0.0005		171.8	3.2				53.1	170.3	2.6	37.192	0.560	0.0528	0.0018					0.0268	0.0004
14.1	95	62	0.65	2.2	0.000541	0.10	37.306	0.740	0.0503	0.0024	0.0268	0.0005		170.4	3.4				14.1	170.4	3.4	37.306	0.740	0.0503	0.0024					0.0268	0.0005
15.1	35	19	0.53	0.9	-	1.40	35.563	1.051	0.0607	0.0044	0.0277	0.0008		176.3	5.3				39.1	170.4	2.8	37.436	0.611	0.0472	0.0020					0.0268	0.0004
16.1	143	95	0.66	3.3	0.000138	0.10	37.319	0.593	0.0503	0.0019	0.0268	0.0004		170.3	2.7				3.1	170.5	2.8	37.179	0.609	0.0522	0.0019					0.0268	0.0004
17.1	77	68	0.88	1.7	0.000730	0.90	39.504	0.785	0.0564	0.0029	0.0251	0.0005		159.7	3.2				61.1	171.0	2.5	36.988	0.533	0.0540	0.0016					0.0269	0.0004
18.1	157	108	0.68	3.7	0.000176	<0.01	36.140	0.562	0.0484	0.0018	0.0277	0.0004		176.2	2.7				46.1	171.1	2.9	36.733	0.622	0.0590	0.0023					0.0269	0.0005
19.1	276	203	0.74	6.7	0.000162	0.39	35.403	0.472	0.0527	0.0014	0.0281	0.0004		178.9	2.4				62.1	171.3	2.9	36.802	0.612	0.0568	0.0022					0.0269	0.0005
20.1	164	151	0.92	3.8	0.000822	0.10	36.738	0.563	0.0503	0.0018	0.0272	0.0004		173.0	2.7				55.1	171.4	3.0	36.898	0.634	0.0540	0.0023					0.0269	0.0005
21.1	120	90	0.75	5.0	0.000683	0.48	20.532	0.312	0.0563	0.0016	0.0485	0.0007		305.1	4.6				50.1	171.6	3.1	36.972	0.664	0.0514	0.0024					0.0270	0.0005
22.1	122	93	0.76	2.9	-	0.43	35.552	0.595	0.0531	0.0021	0.0280	0.0005		178.1	3.0				13.1	171.8	3.2	36.954	0.685	0.0510	0.0023					0.0270	0.0005
23.1	90	55	0.62	2.2	-	0.03	35.870	0.666	0.0498	0.0025	0.0279	0.0005		177.2	3.3				37.1	172.3	2.7	36.653	0.579	0.0552	0.0020					0.0271	0.0004
24.1	89	129	1.46	23.5	0.000060	0.09	3.243	0.046	0.1123	0.0011	0.3081	0.0044	4.733	1731	22	1823	22	5	59.1	172.3	3.1	36.894	0.652	0.0499	0.0022					0.0271	0.0005
25.1	68	40	0.59	1.6	0.002346	<0.01	36.503	0.758	0.0486	0.0028	0.0274	0.0006		174.4	3.6				32.1	172.3	2.6	36.755	0.549	0.0528	0.0017					0.0271	0.0004
26.1	97	71	0.74	2.5	0.001270	0.38	33.151	0.583	0.0529	0.0022	0.0301	0.0005		190.9	3.4				30.1	172.6	3.1	36.698	0.652	0.0530	0.0023					0.0271	0.0005
27.1	101	56	0.56	2.3	-	1.08	36.953	0.668	0.0581	0.0026	0.0268	0.0005		170.3	3.1				44.1	172.6	2.8	36.752	0.587	0.0518	0.0019					0.0271	0.0004
28.1	73	44	0.61	1.7	-	0.42	37.608	0.754	0.0528	0.0029	0.0265	0.0005		168.5	3.4				64.1	172.6	3.1	36.576	0.651	0.0555	0.0024					0.0271	0.0005
29.1	136	72	0.53	3.2	-	0.04	36.633	0.593	0.0498	0.0020	0.0273	0.0004		173.6	2.8				20.1	173.0	2.7	36.738	0.563	0.0503	0.0018					0.0272	0.0004
30.1	105	72	0.68	2.5	0.002246	0.44	36.698	0.652	0.0530	0.0023	0.0271	0.0005		172.6	3.1				70.1	173.5	2.9	36.526	0.618	0.0523	0.0022					0.0273	0.0005
31.1	81	56	0.69	1.9	0.000698	<0.01	36.399	0.702	0.0489	0.0025	0.0275	0.0005		174.9	3.4				29.1	173.6	2.8	36.633	0.593	0.0498	0.0020					0.0273	0.0004
32.1	184	154	0.84	4.3	0.000357	0.41	36.755	0.549	0.0528	0.0017	0.0271	0.0004		172.3	2.6				34.1	173.7	2.6	36.497	0.541	0.0522	0.0017					0.0273	0.0004
33.1	113	68	0.60	2.6	-	0.64	37.214	0.646	0.0546	0.0023	0.0267	0.0005		169.9	3.0				48.1	173.7	2.5	36.648	0.530	0.0487	0.0016					0.0273	0.0004
34.1	190	136	0.71	4.5	-	0.34	36.497	0.541	0.0522	0.0017	0.0273	0.0004		173.7	2.6				68.1	173.9	2.6	36.439	0.546	0.0523	0.0017					0.0273	0.0004
35.1	30	15	0.49	0.7	0.003776	0.48	35.693	1.038	0.0535	0.0045	0.0279	0.0008		177.3	5.2				8.1	174.4	3.5	36.207	0.722	0.0552	0.0025					0.0274	0.0006

Tabla 9. Datos análisis U-Pb en circones detríticos muestra SA3 (continuación).

Grai n.	U spot	Th (ppm)	Th/U (ppm)	²⁰⁶ Pb* (ppm)	²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb	f ₂₀₆ %	Total Ratios				Radiogenic Ratios				r	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	Age (Ma)	%	Disc	Grai n.	spot	U spot	Th (ppm)	Th/U (ppm)	²⁰⁶ Pb* (ppm)	²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb	f ₂₀₆ %	Total Ratios				Radiogenic Ratios			
							²³⁸ U/	²⁰⁷ Pb/	²⁰⁶ Pb/	²⁰⁷ Pb/	²³⁸ U/	²⁰⁷ Pb/	²⁰⁶ Pb/	²⁰⁷ Pb/															²³⁸ U/	²⁰⁷ Pb/	²⁰⁶ Pb/	²⁰⁷ Pb/	²³⁸ U/	²⁰⁷ Pb/	²⁰⁶ Pb/	²⁰⁷ Pb/
36.1	157	133	0.85	3.6	0.000268	0.62	37.768	0.589	0.0543	0.0020	0.0263	0.0004		167.4	2.6						42.1	174.4	3.1	36.140	0.637	0.0566	0.0023					0.0274	0.0005			
37.1	156	143	0.92	3.7	0.000548	0.72	36.653	0.579	0.0552	0.0020	0.0271	0.0004		172.3	2.7						25.1	174.4	3.6	36.503	0.758	0.0486	0.0028					0.0274	0.0006			
38.1	467	208	0.45	19.6	0.000227	0.16	20.431	0.238	0.0538	0.0008	0.0489	0.0006		307.6	3.5						45.1	174.8	2.7	36.338	0.557	0.0506	0.0018					0.0275	0.0004			
39.1	140	95	0.68	3.2	-	<0.01	37.436	0.611	0.0472	0.0020	0.0268	0.0004		170.4	2.8						41.1	174.8	2.1	36.372	0.431	0.0498	0.0010					0.0275	0.0003			
40.1	62	37	0.60	1.5	-	1.70	35.472	0.732	0.0632	0.0031	0.0277	0.0006		176.2	3.7						31.1	174.9	3.4	36.399	0.702	0.0489	0.0025					0.0275	0.0005			
41.1	604	913	1.51	14.3	-	0.03	36.372	0.431	0.0498	0.0010	0.0275	0.0003		174.8	2.1						6.1	174.9	3.8	36.215	0.782	0.0528	0.0028					0.0275	0.0006			
42.1	106	72	0.68	2.5	0.000537	0.88	36.140	0.637	0.0566	0.0023	0.0274	0.0005		174.4	3.1						5.1	174.9	2.9	36.206	0.594	0.0527	0.0019					0.0275	0.0005			
43.1	158	114	0.72	3.8	0.001024	1.01	35.845	0.566	0.0577	0.0019	0.0276	0.0004		175.6	2.8						66.1	175.2	2.7	36.195	0.556	0.0518	0.0018					0.0276	0.0004			
44.1	146	90	0.62	3.4	0.002206	0.29	36.752	0.587	0.0518	0.0019	0.0271	0.0004		172.6	2.8						43.1	175.6	2.8	35.845	0.566	0.0577	0.0019					0.0276	0.0004			
45.1	166	128	0.77	3.9	-	0.13	36.338	0.557	0.0506	0.0018	0.0275	0.0004		174.8	2.7						60.1	175.6	2.7	36.007	0.544	0.0540	0.0018					0.0276	0.0004			
46.1	120	74	0.62	2.8	0.000900	1.20	36.733	0.622	0.0590	0.0023	0.0269	0.0005		171.1	2.9						18.1	176.2	2.7	36.140	0.562	0.0484	0.0018					0.0277	0.0004			
47.1	90	55	0.62	2.2	0.000290	0.05	35.668	0.662	0.0500	0.0024	0.0280	0.0005		178.2	3.3						40.1	176.2	3.7	35.472	0.732	0.0632	0.0031					0.0277	0.0006			
48.1	215	136	0.64	5.0	-	<0.01	36.648	0.530	0.0487	0.0016	0.0273	0.0004		173.7	2.5						9.1	176.3	2.8	36.093	0.563	0.0491	0.0017					0.0277	0.0004			
49.1	92	45	0.49	3.9	0.000195	0.09	20.336	0.338	0.0533	0.0019	0.0491	0.0008		309.2	5.1						15.1	176.3	5.3	35.563	1.051	0.0607	0.0044					0.0277	0.0008			
50.1	108	67	0.62	2.5	-	0.24	36.972	0.664	0.0514	0.0024	0.0270	0.0005		171.6	3.1						57.1	177.0	3.0	35.784	0.611	0.0528	0.0022					0.0278	0.0005			
51.1	131	64	0.49	3.2	-	0.66	34.942	0.575	0.0550	0.0022	0.0284	0.0005		180.7	3.0						65.1	177.1	3.6	35.588	0.717	0.0564	0.0030					0.0279	0.0006			
52.1	234	155	0.66	10.1	-	<0.01	19.926	0.259	0.0527	0.0012	0.0502	0.0007		315.7	4.1						23.1	177.2	3.3	35.870	0.666	0.0498	0.0025					0.0279	0.0005			
53.1	186	153	0.82	4.3	-	0.41	37.192	0.560	0.0528	0.0018	0.0268	0.0004		170.3	2.6						35.1	177.3	5.2	35.693	1.038	0.0535	0.0045					0.0279	0.0008			
54.1	167	86	0.51	4.0	0.000028	0.03	35.589	0.546	0.0498	0.0017	0.0281	0.0004		178.6	2.7						69.1	177.8	5.4	35.391	1.063	0.0578	0.0047					0.0280	0.0009			
55.1	118	106	0.90	2.7	0.002166	0.57	36.898	0.634	0.0540	0.0023	0.0269	0.0005		171.4	3.0						22.1	178.1	3.0	35.552	0.595	0.0531	0.0021					0.0280	0.0005			
56.1	102	53	0.52	4.2	0.000567	0.45	20.612	0.332	0.0561	0.0028	0.0483	0.0008		304.1	4.9						47.1	178.2	3.3	35.668	0.662	0.0500	0.0024					0.0280	0.0005			
57.1	116	76	0.65	2.8	-	0.39	35.784	0.611	0.0528	0.0022	0.0278	0.0005		177.0	3.0						54.1	178.6	2.7	35.589	0.546	0.0498	0.0017					0.0281	0.0004			
58.1	53	30	0.56	1.2	-	<0.01	38.274	0.892	0.0479	0.0035	0.0262	0.0006		166.6	3.9						19.1	178.9	2.4	35.403	0.472	0.0527	0.0014					0.0281	0.0004			
59.1	108	69	0.64	2.5	0.001431	0.05	36.894	0.652	0.0499	0.0022	0.0271	0.0005		172.3	3.1						2.1	179.0	2.6	35.537	0.522	0.0494	0.0015					0.0281	0.0004			
60.1	177	129	0.73	4.2	0.000239	0.55	36.007	0.544	0.0540	0.0018	0.0276	0.0004		175.6	2.7						12.1	180.0	3.6	35.080	0.698	0.0549	0.0026					0.0283	0.0006			
61.1	219	170	0.77	5.1	0.000662	0.57	36.988	0.533	0.0540	0.0016	0.0269	0.0004		171.0	2.5						51.1	180.7	3.0	34.942	0.575	0.0550	0.0022					0.0284	0.0005			
62.1	132	73	0.55	3.1	0.001339	0.91	36.802	0.612	0.0568	0.0022	0.0269	0.0005		171.3	2.9						26.1	190.9	3.4	33.151	0.583	0.0529	0.0022					0.0301	0.0005			
63.1	113	66	0.58	2.6	0.001310	0.37	37.587	0.659	0.0524	0.0023	0.0265	0.0005		168.6	3.0						10.1	301.2	3.5	20.912	0.245	0.0521	0.0008					0.0478	0.0006			
64.1	111	69	0.62	2.6	-	0.75	36.576	0.651	0.0555	0.0024	0.0271	0.0005		172.6	3.1						56.1	304.1	4.9	20.612	0.332	0.0561	0.0028					0.0483	0.0008			
65.1	72	38	0.53	1.7	-	0.86	35.588	0.717	0.0564	0.0030	0.0279	0.0006		177.1	3.6						21.1	305.1	4.6	20.532	0.312	0.0563	0.0016					0.0485	0.0007			
66.1	167	136	0.81	4.0	0.000025	0.28	36.195	0.556	0.0518	0.0018	0.0276	0.0004		175.2	2.7						38.1	307.6	3.5	20.431	0.238	0.0538	0.0008					0.0489	0.0006			
67.1	132	85	0.65	3.0	0.001273	1.14	37.732	0.643	0.0585	0.0023	0.0262	0.0005		166.7	2.9						49.1	309.2	5.1	20.336	0.338	0.0533	0.0019					0.0491	0.0008			
68.1	191	149	0.78	4.5	-	0.34	36.439	0.546	0.0523	0.0017	0.0273	0.0004		173.9	2.6						52.1	315.7	4.1	19.926	0.259	0.0527	0.0012					0.0502	0.0007			
69.1	28	17	0.60	0.7	0.006670	1.02	35.391	1.063	0.0578	0.0047	0.0280	0.0009		177.8	5.4						4.1	318.0	3.3	19.789	0.210	0.0522	0.0005					0.0506	0.0005			
70.1	127	104	0.82	3.0	-	0.34	36.526	0.618	0.0523	0.0022	0.0273	0.0005		173.5	2.9						24.1	1823	22	5	3.243	0.046	0.1123	0.0011	4.733	0.089	0.3081	0.0044	0.758	0.1114	0.0014	