



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
 PROYECTO MINERO QUEBRADA BLANCA FASE 2**

**CAPÍTULO 3.7.2
 “LÍNEA DE BASE PATRIMONIO CULTURAL - PALEONTOLOGÍA”**

TQB14016-REP-MA-0255

ÍNDICE

3	LÍNEA DE BASE.....	3.7.2-1
3.7	PATRIMONIO CULTURAL	3.7.2-1
3.7.2	PALEONTOLOGÍA.....	3.7.2-1
3.7.2.1	Introducción.....	3.7.2-1
3.7.2.2	Objetivos	3.7.2-1
3.7.2.3	Determinación y Justificación del Área de Influencia (AI)	3.7.2-2
3.7.2.4	Metodología	3.7.2-4
3.7.2.4.1	Revisión bibliográfica.....	3.7.2-4
3.7.2.4.2	Prospección en terreno.....	3.7.2-4
3.7.2.4.3	Marco Normativo	3.7.2-6
3.7.2.4.4	Antecedentes Bibliográficos	3.7.2-7
3.7.2.4.5	Resultados	3.7.2-39
3.7.2.4.6	Mapa compilatorio de sectores evaluados	3.7.2-59
3.7.2.4.7	Profundidad de las Obras Consideradas en el Proyecto.....	3.7.2-62
3.7.2.4.8	Análisis de Potencial Paleontológico	3.7.2-66
3.7.2.5	Síntesis y Conclusiones	3.7.2-74
3.7.2.6	Bibliografía	3.7.2-76

TABLAS

Tabla 3.7.2-1.	Campañas de terreno.....	3.7.2-5
Tabla 3.7.2-2	Elementos registrados en el EIA “Espejo de Tarapacá” (2014) y su distancia al Proyecto.	3.7.2-36
Tabla 3.7.2-3.	Elementos registrados en el EIA “Pampa Solar” (2013) y su distancia al Proyecto.....	3.7.2-37

Tabla 3.7.2-4.	Detalle de profundidades consideradas según tipo de obra proyectada en el Proyecto.	3.7.2-62
Tabla 3.7.2-5.	Potencial fosilífero según unidad geológica presente en el trazado del Proyecto.	3.7.2-67

FIGURAS

Figura 3.7.2-1.	Área de Influencia del componente de Patrimonio Cultural – Paleontología.	3.7.2-3
Figura 3.7.2-2	Distribución de Unidades Geológicas en Terrazas Litorales.	3.7.2-8
Figura 3.7.2-3.	Ubicación de los respectivos mapas geológicos utilizados en la elaboración de la presente Línea de Base.	3.7.2-11
Figura 3.7.2-4	Detalle de las unidades geológicas presentes en Área Puerto y Obras Lineales.	3.7.2-17
Figura 3.7.2-5	Detalle de las unidades geológicas en Área Obras Lineales.	3.7.2-18
Figura 3.7.2-6.	Detalle de las unidades geológicas en Área Obras Lineales.	3.7.2-19
Figura 3.7.2-7	Detalle de las unidades geológicas intersectadas por el trazado del Proyecto en sector de Obras Lineales y Área Pampa.	3.7.2-22
Figura 3.7.2-8.	Detalle de las unidades geológicas presentes en Área Obras Lineales, sector de Precordillera.	3.7.2-28
Figura 3.7.2-9.	Detalle de las unidades geológicas presentes en el Área Mina.	3.7.2-32
Figura 3.7.2-10.	Detalle de las unidades geológicas en el sector de la Variante A-97B (Área Obras Lineales).	3.7.2-33
Figura 3.7.2-11.	Mapa de distribución de los puntos de control paleontológicos.	3.7.2-60
Figura 3.7.2-12.	Mapa de distribución de los hallazgos paleontológicos realizados en terreno.	3.7.2-61
Figura 3.7.2-13.	Perfiles esquemáticos próximos al trazado del Proyecto.	3.7.2-65
Figura 3.7.2-14.	Unidades con alto potencial fosilífero y su relación con las obras del Proyecto.	3.7.2-73

FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3.7.2-1.	Vista sureste Área Mina.	3.7.2-39
Fotografía 3.7.2-2.	Vista panorámica del sector del futuro Depósito de Relaves.	3.7.2-40
Fotografía 3.7.2-3.	Arriba, punto de control 38. Se observan sedimentos de la unidad Depósitos Aluviales (Qal). Abajo, punto de control 39. Los Depósitos Aluviales cubren rocas de la unidad Ignimbrita Carcote (Tmic), que conforma principalmente la elevación al E de la Quebrada Blanca. Barra de escala = 5 m.	3.7.2-41

- Fotografía 3.7.2-4. Punto de control 42 (arriba). Afloramiento masivo de la Ignimbrita Carcote (Tmic), parcialmente cubierto por Depósitos Aluviales (Qal). Punto de control 43 (abajo), material aluvial principalmente conformado por piroclastos erosionados a partir de la Ignimbrita Carcote y formando Depósitos de Piedemonte (Tsg). Barra de escala = 5 m..... 3.7.2-42
- Fotografía 3.7.2-5. Punto de control 44 (arriba), donde se observa la unidad Depósitos de Piedemonte (Tsg) cubriendo la Ignimbrita Carcote, en el margen E de la Quebrada Blanca. Punto de control 45 (abajo). Se observan en primer plano rocas sedimentarias continentales, referibles a la Formación Papajoy (TOp). Barra de escala = 5 m. 3.7.2-43
- Fotografía 3.7.2-6. Punto de control 48 (arriba), rocas intrusivas de la unidad Dioritas de Quebrada Blanca (Tdb) y/o Granodioritas El Escorial (Pzgdde) en vista al NE. Punto de control 49 (abajo), Depósitos de Piedemonte (Tsg) y Depósitos Aluviales (Qal) cubriendo las rocas intrusivas en el eje de la Quebrada Blanca. Barra de escala = 3 m..... 3.7.2-44
- Fotografía 3.7.2-7. Coquinas con fósiles del Cuaternario en la sección este de la Ruta 1.3.7.2-45
- Fotografía 3.7.2-8. Fósiles del periodo Neógeno-Cuaternario. 3.7.2-46
- Fotografía 3.7.2-9. Rocas sedimentarias aluviales e intercalaciones de ceniza en el Acantilado Costero. 3.7.2-47
- Fotografía 3.7.2-10. Vista sector Depresión Central. 3.7.2-48
- Fotografía 3.7.2-11. Relieves aislados con rocas metamórficas y sedimentarias. Fotografía del Punto 31 hacia el este. 3.7.2-48
- Fotografía 3.7.2-12. Vista sector de Pampa. 3.7.2-49
- Fotografía 3.7.2-13. Imagen tomada desde el punto 88 hacia el norte. 3.7.2-50
- Fotografía 3.7.2-14. Gravas en el trazado del concentraducto. En el recuadro detalle de las gravas. 3.7.2-50
- Fotografía 3.7.2-15. Afloramiento de la unidad Chacarillas (JKqc). 3.7.2-51
- Fotografía 3.7.2-16. Rocas intrusivas expuestas en el área Variante A97-B. Punto de control 52 (arriba), afloramiento de la unidad Monzonita Cuarcifera (Tmc) al E del trazado. Punto de control 53 (abajo), afloramiento erosionado y rodados de granito, referibles a la unidad Monzonita Cuarcifera (Tmc). Barra de escala = 1 m. 3.7.2-52
- Fotografía 3.7.2-17. Punto de control 59 (arriba). Lomajes cubiertos por Depósitos de Piedemonte (Tsg), con afloramientos y rodados de granitos referibles al Granito Chara (Pzgch), indicando que las elevaciones corresponden a intrusivos. Punto de control 60 (abajo), Afloramiento y rodados de la unidad Ignimbrita Huasco (Tmih). Barra de escala = 1 m. 3.7.2-53
- Fotografía 3.7.2-18. Punto de control 68 (arriba), mostrando un afloramiento de dacitas y riolitas de la Formación Collahuasi (Pzcr(s). Punto de control 69 (abajo). Depósitos de Piedemonte (Tsg) y Aluviales (Qal) conformando la parte baja del valle. Barra de escala = 1 m..... 3.7.2-54
- Fotografía 3.7.2-19. Punto de control 70 (arriba), rodados y afloramiento erosionado de rocas intrusivas referibles a la unidad Granito Chara (Pzgch). Punto de control

	71 (abajo), sedimentos de la unidad Depósitos Aluviales (Qal). Barra de escala = 1 m.....	3.7.2-55
Fotografía 3.7.2-20.	Superficie del futuro campamento Pampa.....	3.7.2-56
Fotografía 3.7.2-21.	Paleo arrecifes rodeados por niveles fosilíferos.....	3.7.2-57
Fotografía 3.7.2-22.	Aspecto de las Terrazas Litorales.....	3.7.2-58
Fotografía 3.7.2-23.	Basamento de rocas jurásicas fosilíferas de las Terrazas Litorales.....	3.7.2-58

PLANOS

Plano 3.7.2-00	Plano Clasificación de Potencial Paleontológico - Ubicación General
Plano 3.7.2-01	Plano Clasificación de Potencial Paleontológico - Mina
Plano 3.7.2-02	Plano Clasificación de Potencial Paleontológico - Coposa
Plano 3.7.2-03	Plano Clasificación de Potencial Paleontológico - Variante Ruta A97-B
Plano 3.7.2-04	Plano Clasificación de Potencial Paleontológico - Cerro Quitala
Plano 3.7.2-05	Plano Clasificación de Potencial Paleontológico – Precordillera
Plano 3.7.2-06	Plano Clasificación de Potencial Paleontológico - Guatacondo - Maní
Plano 3.7.2-07	Plano Clasificación de Potencial Paleontológico - Pampa del Tamarugal
Plano 3.7.2-08	Plano Clasificación de Potencial Paleontológico - Salar Bellavista
Plano 3.7.2-09	Plano Clasificación de Potencial Paleontológico - Puerto – Desierto Costero

ANEXOS

Anexo 3.7.2-1	Ficha Paleontológica - Chong, 2014
Anexo 3.7.2-2	Ficha Paleontológica - Yury, 2015
Anexo 3.7.2-3	Puntos de Control Paleontológicos
Anexo 3.7.2-4	Perfiles profesionales paleontólogos



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
PROYECTO MINERO QUEBRADA BLANCA FASE 2**

**CAPÍTULO 3.7.2
LÍNEA DE BASE PATRIMONIO CULTURAL - PALEONTOLOGÍA**

TQB14016-REP-MA-0255

3 LÍNEA DE BASE

3.7 PATRIMONIO CULTURAL

3.7.2 PALEONTOLOGÍA

3.7.2.1 Introducción

El presente documento corresponde a la Línea de Base del componente Paleontológico para el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Quebrada Blanca Fase 2, ubicado en la Región de Tarapacá. La Línea de Base ha sido elaborada bajo los estándares derivados principalmente de la Ley de Monumentos Nacionales N° 17.288 y del Reglamento Sobre Prospecciones y/o Excavaciones Arqueológicas, Antropológicas y/o Paleontológicas, Decreto Supremo N° 484/1990. Estos estándares han sido precisados en la Guía de Evaluación de Impacto Ambiental. Artículo 11 de la ley N° 19.300 letra f) del Consejo de Monumentos Nacionales (SEA 2012).

3.7.2.2 Objetivos

El objetivo de la Línea de Base consiste en describir la eventual presencia de objetos y/o yacimientos paleontológicos en el área de influencia del Proyecto. Ante la presencia de estos elementos, se caracterizarán todos sus aspectos relevantes. Del mismo modo, la ausencia de objetos paleontológicos será debidamente justificada.

Los objetivos específicos que permitirán cumplir con el propósito general de la descripción del componente Paleontología son:

- Evaluar el área de influencia del Proyecto, para determinar el potencial fosilífero de las unidades que afloran en dicha área, a través de la revisión de antecedentes bibliográficos (geológicos y paleontológicos) y de prospecciones en terreno.

- Caracterizar el componente paleontológico, señalando su lugar de ocurrencia natural, así como la determinación de criterios de singularidad, relevancia y representatividad del registro, identificación taxonómica, identificación de la(s) unidad(es) geológica(s) portadoras del (los) registro(s), valor cronoestratigráfico del (los) registro(s), determinación de su extensión en superficie y en la medida de lo posible, su potencia en profundidad.

3.7.2.3 Determinación y Justificación del Área de Influencia (AI)

El Área de Influencia (AI) de Paleontología, corresponde a la superficie donde se emplazan las partes, obras y/o acciones del Proyecto, donde es factible encontrar evidencias paleontológicas y que serán directamente afectadas por la ejecución de las obras que éste contempla (Figura 3.7.2-1).

3.7.2.4 Metodología

Para cumplir con los objetivos antes enunciados, se consideró una metodología que contempló lo consignado en la Guía de Evaluación de Impacto Ambiental Monumentos Nacionales Pertenecientes al Patrimonio Cultural en el SEIA (SEA 2012), respecto al potencial paleontológico de las unidades geológicas presentes en el área de influencia, señalándose dos categorías principales:

- Con certeza o alta probabilidad de contener fósiles. La unidad geológica tiene material paleontológico en alguno o todos sus niveles o capas, o es muy factible que los posea, considerando su génesis sedimentaria. Dicha unidad puede estar integrada por rocas piroclásticas, donde podrían encontrarse fósiles.
- Con baja o nula probabilidad de contener fósiles. La unidad geológica está integrada por rocas ígneas intrusivas o metamórficas de alto grado.

En vista de lo anterior se desarrolló en primer lugar, la revisión de antecedentes tanto geológicos como paleontológicos del AI, y en segundo lugar, la evaluación en terreno de dicha área.

El presente informe fue elaborado de acuerdo a la Guía de Informes Paleontológicos (Consejo de Monumentos Nacionales, 2016).

3.7.2.4.1 Revisión bibliográfica

Para evaluar la probabilidad de existencia de unidades litoestratigráficas portadoras de fósiles, se realizó una revisión bibliográfica donde se analizaron tanto los antecedentes paleontológicos, como los geológicos disponibles en la literatura, identificando aquellos sectores de potencial interés paleontológico. Estos antecedentes bibliográficos fueron considerados de la literatura científica disponible, publicaciones indexadas, resúmenes de reuniones científicas y la cartografía geológica editada por el Servicio Nacional de Geología y Minería, la extensión de estos antecedentes se ubica en la sección literatura citada. Adicionalmente, se revisó la información disponible en el Servicio de Evaluación Ambiental (<http://www.sea.gob.cl/>), para otros proyectos desarrollados en la región de Tarapacá (ver ítem de antecedentes paleontológicos, b.1) Antecedentes paleontológicos disponibles en el SEIA).

3.7.2.4.2 Prospección en terreno

La evaluación en terreno consideró la inspección visual del área de influencia del Proyecto, orientada a observar afloramientos rocosos no intervenidos y/o depósitos sedimentarios activos y de origen natural. Considerando las características del terreno, la mayor parte del reconocimiento se efectuó de forma pedestre, directamente sobre aquellos afloramientos identificados a través de la ruta (*track*) de terreno, definida en referencia a las obras proyectadas.

Ante la observación de afloramientos rocosos y/o contextos naturales no intervenidos, se procedió a realizar un registro fotográfico y de georeferenciación (puntos de control), junto con el recorrido pedestre en busca de posibles restos fósiles. Junto con lo anterior, se realizó el reconocimiento de las unidades geológicas identificadas en los antecedentes a través de la observación directa de la litología expuesta en todos los afloramientos detectados. En ausencia de la situación anterior, se buscaron afloramientos de la misma unidad que se encontraran próximos al área de influencia. Se hizo mayor énfasis en aquellos sectores donde el mapeo geológico indica la presencia de unidades geológicas sedimentarias.

Para todos los casos, las actividades de terreno, consideraron recorridos realizados directamente en el área de influencia, las cuales corresponden a:

- Área Mina
- Área Obras Lineales
- Área Pampa
- Área Puerto

De acuerdo a los antecedentes existentes para el Proyecto, se han realizado tres trabajos orientados al levantamiento del componente paleontológico. Sus resultados han sido incluidos en la presente Línea de Base y pueden ser revisados en el Anexo 3.7.2-3. Estos corresponden a:

- a) *Línea de Base Patrimonio Paleontológico, Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Quebrada Blanca Fase 2, ARCADIS (2014).* Informe elaborado por el Dr. Guillermo Chong. Para la prospección del área de influencia y las áreas asociadas, se definieron puntos de control y muestreo. Esta cobertura del levantamiento en terreno, se agrupa en un universo inicial de 404 puntos de observación basados en la configuración de las obras del año 2013. Considerando el *layout* 2016, estos puntos han sido restringidos a 328, los cuales se distribuyen de acuerdo a tres (3) campañas de terreno asociadas a todas las Áreas del Proyecto (Tabla 3.7.2-1).
- b) *Levantamiento paleontológico realizado por el Sr. Roberto Yury, entre los días 11 al 19 de mayo de 2015.*
- c) *Levantamiento de los sectores complementarios, según layout 2016, realizado por Paleosuchus Ltda., entre los días 28 de junio y 02 de Julio de 2016.*

Tabla 3.7.2-1. Campañas de terreno.

Campaña	Periodo		Obra de Proyecto	Densidad de muestreo
	Inicio	Término		
I	24.09.2012	03.10.2012	Mina Puerto Obras Lineales	153 puntos
II	22.01.2013	25.01.2013	Mina Planta Obras Lineales (sólo sección de alta	130 puntos

Campaña	Periodo		Obra de Proyecto	Densidad de muestreo
	Inicio	Término		
			cordillera)	
III	20.03.2013	27.03.2013	Obras Lineales Puerto	97 puntos
IV	11.05.2015	19.05.2015	Obras Lineales, Pampa y Puerto	57 puntos
V	28.06.2016	02.07.2016	Mina, Obras Lineales y Puerto	63 puntos

Fuente: Elaboración propia.

En la determinación de las áreas a prospectar, se han tomado en cuenta criterios como:

- Continuidad de la unidad geológica.
- Afloramientos con mejor potencia.
- Producto de la heterogeneidad en la distribución del material fosilífero, al interior de la unidad geológica, es preciso revisar afloramientos fuera del área de influencia.
- Condición segura de cada acceso en las zonas de interés.

3.7.2.4.3 Marco Normativo

a) Definiciones

Se ha considerado para el presente informe la definición de "fósil" propuesta por Carvalho (2010). Esta define un fósil como "cualquier evidencia de vida del pasado geológico, previo al Holoceno (superior a 11.000 años antes del presente), que preserve una estructura de origen orgánico o biológico, o rastros de su actividad (vegetales, invertebrados, vertebrados, pisadas o rastros)".

La Ley de Monumentos Nacionales N° 17.288 de 1970, en su Artículo 1° menciona explícitamente **objetos (...) paleontológicos**. A su vez, en su Título V, Artículo 21°, establece textual: "*Por el solo ministerio de la ley, son Monumentos Arqueológicos de propiedad del Estado los lugares, ruinas, yacimientos y piezas antro-po-arqueológicas que existan sobre o bajo la superficie del territorio nacional. Para los efectos de la presente ley quedan comprendidas también las **piezas paleontológicas y los lugares donde se hallaren.***"

Para efectos de la presente Línea de Base, en la metodología se ha señalado la homologación de *objeto paleontológico* con el término "**fósil**". A su vez, el Art. 24° de la Ley N° 17.288 menciona "piezas tipo" en el marco de colecciones representativas, ya sean arqueológicas, antropológicas y/o paleontológicas. A partir de esto, se interpreta que toda pieza paleontológica es aquel objeto paleontológico que ha sido sometido a curación y/o estudio, que se encuentra debidamente depositado en algún repositorio institucional, y para el cual existe un valor agregado en términos científico-culturales. Del mismo modo, *los lugares donde se hallaren objetos paleontológicos* se

homologan en el presente estudio al término **Yacimiento Paleontológico**.

b) Normativas pertinentes a patrimonio paleontológico

El patrimonio paleontológico (categoría informal no definida en la Ley de Monumentos Nacionales), se encuentra protegido bajo la categoría de Monumento Arqueológico según el Título V, Artículo 21° de la Ley N° 17.288/1970. Integran el patrimonio paleontológico, todos los fósiles (*objetos paleontológicos*) que ocurran dentro de las fronteras del territorio chileno, tanto en superficie como en profundidad; también los yacimientos paleontológicos, ya sea afloramientos en superficie o volúmenes en profundidad, existentes en Chile; finalmente, todas las piezas paleontológicas existentes en repositorios institucionales tanto en Chile como en el extranjero.

En su categoría de Monumento Arqueológico, los fósiles son Monumento Nacional por el solo ministerio de la Ley N° 17.288, Artículo 1° y su tuición y protección son responsabilidad del Estado. En consecuencia, los fósiles y yacimientos paleontológicos también están sujetos al Reglamento sobre Excavaciones y/o Prospecciones Arqueológicas, Antropológicas y/o Paleontológicas (Decreto Supremo N° 484 de 1990).

La letra f) del Artículo 11 de la Ley N° 19.300/1994 sobre Bases Generales del Medio Ambiente señala que la alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural, forma parte de los efectos, características y circunstancias para la presentación de Estudios de Impacto Ambiental. Ante la afectación de monumentos arqueológicos, en este caso representados por fósiles y/o yacimientos paleontológicos, esta normativa establece en su Artículo 11°, letra f el requerimiento de elaborar un Estudio de Impacto Ambiental. El Decreto 40/2013, donde aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. En su Artículo N° 132 se modifican las condiciones del PAS 76 de la Ley N° 19.300/1994, siendo la normativa ambiental vigente al momento de presentación de este documento.

3.7.2.4.4 Antecedentes Bibliográficos

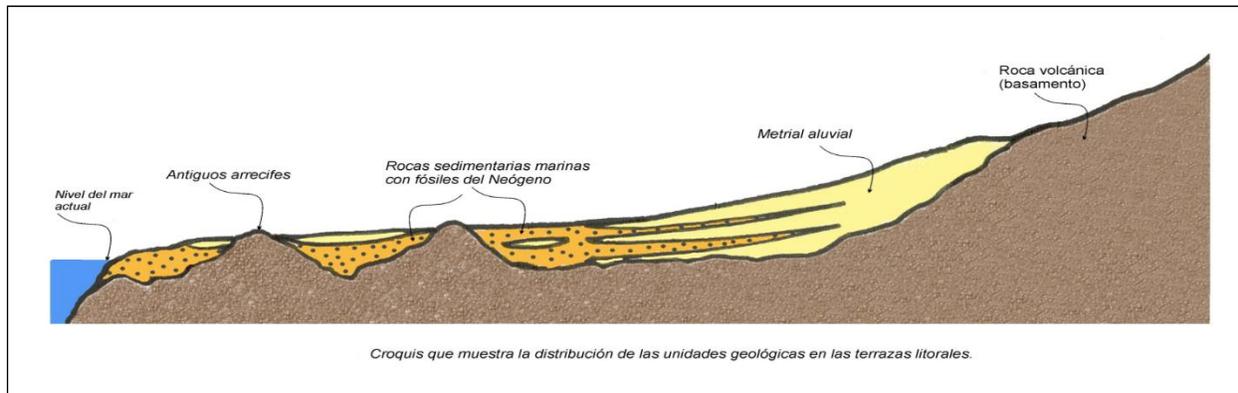
a) Marco Geológico

En la definición de un marco geológico local se pueden separar cuatro unidades, asociadas a rasgos geomorfológicos mayores, que corresponden a las Terrazas Litorales, la Cordillera de la Costa, la Depresión Central y la zona de la Precordillera - Cordillera. Sus características geológicas y paleontológicas son las siguientes:

Las Terrazas Litorales (asociadas al Área Puerto), llamadas así en sentido genérico, corresponden a las plataformas de abrasión marina labradas en el basamento de la costa del norte de Chile entre Iquique y Coquimbo, con ejemplos relevantes en Mejillones, Antofagasta y Caldera (Charrier et al., 2007). El basamento lo conforman rocas marinas y volcánicas del Jurásico, sedimentarias del Cretácico e intrusivas y metamórficas del Paleozoico. Sobre ellas se han depositado potentes secuencias sedimentarias marinas desde el Mioceno, que en sus etapas

más jóvenes (Cuaternario - Plioceno) se intercalan con sedimentos continentales del tipo aluvial (Figura 3.7.2-2).

Figura 3.7.2-2 Distribución de Unidades Geológicas en Terrazas Litorales.



Fuente: Chong 2014.

La Cordillera de la Costa (asociada a parte del trazado de Obras Lineales) es una unidad geomorfológica principal de Chile y en la zona de trabajo supera los 40 km de ancho con un abrupto acantilado al oeste y un contacto gradual hacia el este.

Geológicamente la componen unidades del Jurásico compuestas por rocas volcánicas de la Formación La Negra (García, 1967; Tellez, 1986); sedimentarias marinas, principalmente de las Formaciones Oficina Viz, Caleta Lígate, El Godo y Huantajaya (Gómez, 2002; Kossler, 1998; Thomas, 1970; Macci, 2004; Oliva, 2004); rocas intrusivas del Mesozoico y Paleozoico; rocas sedimentarias - metamórficas del Paleozoico como areniscas, lutitas, conglomerados y calizas con un bajo grado de metamorfismo de la Formación El Toco (García, 1967; Macci, 2004). También hay afloramientos que se pueden asignar a la formación cretácica Atajaña (García, 1967) y se ha mencionado la posible presencia de la Formación Blanco (García, 1967; Macci, 2004). Al Neógeno es asignada la Formación Soledad que incluye diversidad de unidades salinas, la más notoria de todas el Salar Grande de edad miocena superior - pliocena (Macci, 2004; García-Veigas et al., 1996; Cabrera et al., 1995; Chong et al., 1999). Finalmente existe una variedad de depósitos aluviales antiguos, con intercalaciones de ceniza, que son cortados en el borde del Acantilado Costero, de probable edad neógena, además de los materiales aluviales del Cuaternario.

La Depresión Central (asociada al trazado de Obras Lineales y Área Pampa) en esta zona recibe el nombre de Pampa del Tamarugal y es una gran planicie de más de 30 km de ancho y pendiente regional al oeste. Es el nivel de base principal donde se depositan los sedimentos aluviales de la Precordillera y Cordillera, y de los depósitos eólicos del oeste que forman numerosos sistemas de dunas. Eventualmente aparecen cerros islas como es el caso del Cerro Challacollo y también se presentan cuencas en los frentes de los conos aluviales que forman salares. El basamento sedimentario de la Pampa del Tamarugal puede alcanzar cerca de los 1000 m.s.n.m.

La Zona Precordillerana – Cordillerana (asociada al trazado de Obras Lineales y el área Mina), está conformada en esta zona por las Sierras del Medio y Moreno que comparten las Regiones de Antofagasta y Tarapacá. Es una de las zonas de más difícil acceso en el norte de Chile y, probablemente, la que mantiene gran número de áreas desconocidas en la Geología del Norte Grande. A esto se suma el hecho de que su geología es muy compleja y está presente prácticamente la totalidad de las unidades geológicas que se conocen en esta región.

En general se trata de relieves controlados tectónicamente por grandes estructuras regionales que se alcanzan varios miles de metros sobre el nivel de la Pampa del Tamarugal. Una particularidad de esta zona es que no hay una transición entre Precordillera y Cordillera. En esta unidad afloran rocas metamórficas asignadas al Precámbrico o basamento Pre Paleozoico que corresponden a gneises, esquistos y filitas. Siguen rocas paleozoicas también metamórficas, sedimentarias e intrusivos graníticos. Las unidades mesozoicas están representadas por secuencias sedimentarias y volcánicas del Triásico, Jurásico y Cretácico. El Paleógeno- Neógeno está representado por rocas sedimentarias y volcánicas. Las relaciones entre las distintas unidades son complejas y variadas dada la presencia de fallas inversas, grandes plegamientos y discordancias.

Las rocas más antiguas que se han reconocido corresponden a esquistos micáceos y gneises que se asignan al basamento precámbrico. Sobre éstas hay secuencias sedimentarias mesozoicas que se consideran con edades desde el Triásico hasta el Cretácico donde hemos identificado sólo secuencias del Jurásico y del Cretácico, marinas y marino - continentales respectivamente. Estas unidades infrayacen a rocas volcánicas y sedimentarias continentales del Cretácico Superior y, a su vez, éstas infrayacen a las formaciones clásticas y volcánicas del Neógeno?. Los intrusivos reconocidos son mayoritariamente del Paleógeno?.

La relación entre estas unidades corresponde a un sistema de fallas inversas mediante el cual las rocas antiguas están sobreescuriendo las rocas mesozoicas del Jurásico y Cretácico Inferior. Una discordancia separa estas unidades de las del Cretácico continental - volcánico y otra, probablemente más de erosión, a éstas últimas de las formaciones clásticas y volcánicas del Neógeno.

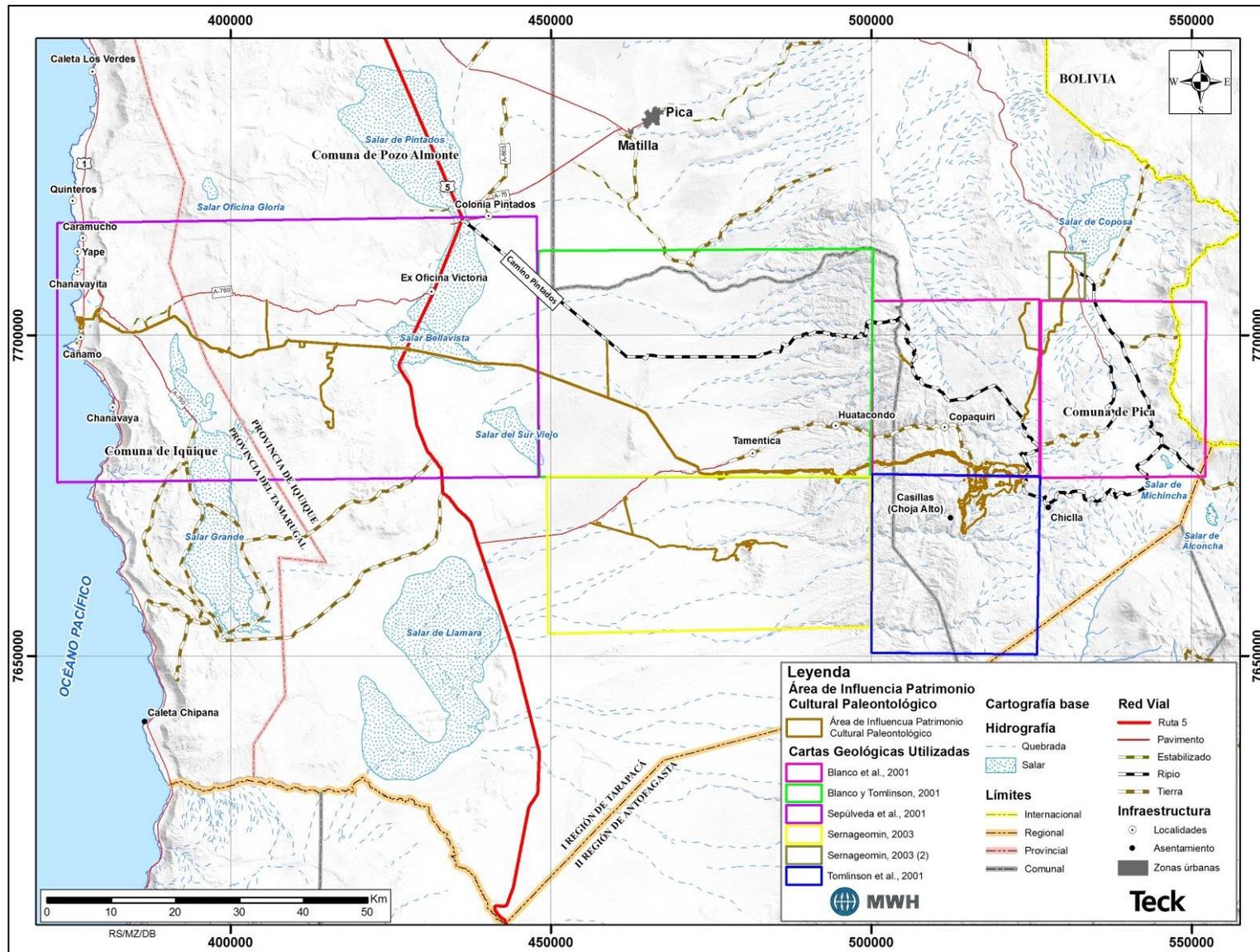
a.1) Principales unidades geológicas presentes en el área de influencia

Como primera aproximación, se ha utilizado el Mapa Geológico 1:1.000.000 de Sernageomin (2003). En consideración de este mapa, se ha subdividido la descripción de las unidades según las principales zonas geomorfológicas. De esta forma, el sector costero y el sector de la Cordillera de la Costa presentan una densidad moderada de unidades expuestas en superficie. A su vez, el sector de pampa (Depresión Central) muestra pocas unidades de edades y génesis similares. Finalmente, el sector Precordillera y Cordones Altiplánicos muestra una mayor densidad de unidades en superficie.

De acuerdo a los estándares de evaluación establecidos por CMN (2012), se han identificado aquellos mapas geológicos de menor escala disponible. Lo anterior, orientado al máximo detalle

de la distribución de unidades con potencial fosilífero y/o susceptibles. De este modo, para el sector costero se ha considerado la Carta Patillos y Oficina Victoria (Sepúlveda et al., 2014), de escala 1:100.000. Adyacente a ésta y hacia el este, se ha utilizado la Carta Guatacondo (Blanco y Tomlinson, 2013), también de escala 1:100.000. Para las obras próximas al Proyecto en el sector precordillerano, se ha tomado como referencia primaria los mapas geológicos 1:50.000 de los respectivos cuadrángulos Quehuita (Tomlinson et al., 2001), Copaquiri y Ujina (Blanco et al., 2001). Al sur del cuadrángulo de Guatacondo, permanece un sector sin mapeo a escala 1:100.000 o inferior, correspondiente al cuadrángulo Ramaditas. Para cubrir dicho sector, se ha utilizado como aproximación el mapa 1:1.000.000 de Sernageomin (2003), extrapolarlo aquellas unidades que se extienden desde el cuadrángulo Guatacondo al sur y descritas en detalle en Blanco y Tomlinson (2001). Se señalan en la Figura 3.7.2-3, la distribución de los respectivos mapas geológicos utilizados en el presente informe.

Figura 3.7.2-3. Ubicación de los respectivos mapas geológicos utilizados en la elaboración de la presente Línea de Base.



Fuente: Elaboración propia.

- **Área Puerto y Obras Lineales**

El Área Puerto está conformado principalmente por depósitos de origen marino, geológicamente recientes. Por su parte, el trazado de las obras lineales en la Cordillera de la Costa y en la Depresión Central presentan las siguientes unidades, de base a techo (de acuerdo a Sepúlveda et al. 2014) [ver Figura 3.7.2-3 a Figura 3.7.2-6].

Estratos De Sierra De Lagunas (TrJsl) (Unidad informal): Corresponde a una unidad volcano-sedimentaria que presenta dos tipos de facies: una de lavas andesíticas a andesitas basálticas con lentes de tobas y areniscas ricas en cuarzo, y otra compuesta por brechas piroclásticas y aglomerados volcánicos, con intercalaciones de areniscas y lavas andesíticas subordinadas. Sus afloramientos se localizan en el segmento central de la cordillera de la Costa en el área de las cartas, aproximadamente entre el borde oriental del salar Grande y la sierra de Lagunas, y cubren una superficie de ca. 236 km². Estos estratos están intruidos por cuerpos hipabisales coetáneos (TrJh), así como también por la Monzonita Cerro Vetarrón, el Complejo Intrusivo Montevideo y los cuerpos hipabisales del Cretácico Inferior (Kibh y Kis). Además, están cubiertos en aparente concordancia por la Formación Oficina Viz. La unidad consiste principalmente de lavas andesíticas a andesítico-basálticas, porfídicas ubicadas preferencialmente, en el centro del área de las cartas, en una sección de aproximadamente 2.250 m de espesor. Dataciones radioisotópicas señalan edades U-Pb en circón entre 219 Ma. y 174 Ma en distintas localidades y litologías. En consecuencia, la unidad es asignada al Triásico Superior-Jurásico Inferior.

Intrusivos hipabisales del Triásico superior-Jurásico Inferior (TrJh): Corresponden a pórfidos andesítico-basálticos y dioríticos, asociados espacial y genéticamente al volcanismo de los Estratos de Sierra de Lagunas, unidad a la que intruyen. Sus afloramientos cubren un área de ca. 69 km² y se presentan en el sector central y oriental de la cordillera de la Costa. En varias localidades se observó que las areniscas de los Estratos de Sierra de Lagunas fueron intruidas por este pórfido mientras éstas no estaban consolidadas. Estos cuerpos se encuentran intruidos por la Monzonita Cerro Vetarrón, los Intrusivos hipabisales del Cretácico Inferior Bajo, los Intrusivos subvolcánicos del Cretácico Inferior y por diques andesíticos, monzoníticos y dioríticos asociados a éstos últimos cuerpos. La unidad está principalmente conformada por rocas con un color de meteorización violeta oscuro, mientras que el color de la roca fresca varía entre gris y gris verdoso. Además, presentan abundantes fenocristales de plagioclasas y piroxenos. La relación de intrusión entre los cuerpos de esta unidad y los sedimentos de los Estratos de Sierra de Lagunas permite asumir que ambas unidades son contemporáneas. Además, estos cuerpos están intruidos por la Monzonita Cerro Vetarrón, lo que acota su edad mínima al Triásico superior.

Formación Oficina Viz (Jimov) (Thomas, 1970): Secuencia masiva y monótona de basaltos porfídicos a lavas andesitas basálticas, con un espesor mínimo de 1.000 a 1.500 m. Sus afloramientos se presentan en la porción occidental del área de estudio, ampliamente distribuidos tanto en la cordillera de la Costa como en la planicie litoral, abarcando un área de aproximadamente 87 km². Esta formación subyace concordantemente a rocas sedimentarias marinas de la Formación Caleta Lígate (Jmcl) y su base no está expuesta en el área. Las rocas

de esta unidad están intruidas por el Complejo Intrusivo Oyarbide, el Complejo Intrusivo Cerro Carrasco, Diorita Patache y filones y diques asociados a estos cuerpos intrusivos. Las relaciones de contacto con la Formación Caleta Lígate permiten estimar una edad mínima bajociana para el techo de la Formación Oficina Viz. Lo anterior se basa tanto en la edad bajociana de los fósiles de la Formación Caleta Lígate, como en una edad de ca. 170 Ma de un nivel cercano a la base de esta formación. Por otra parte, al norte y fuera del área de estudio, Oliveros et al. (2006) obtuvieron edades $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ en plagioclasa de lavas andesíticas de la Formación Oficina Viz entre 176 y 170 Ma, que corresponden al Toarciano-Bajociano y que son congruentes con las edades obtenidas mediante fósiles para la base de la Formación Caleta Lígate.

Formación Caleta Lígate (Jmcl) (Cecioni y García, 1960; emend. Thomas, 1970, Kossler, 1998): Secuencia marina, compuesta por lutitas negras, limolitas, areniscas verdes amarillentas, con lentes conglomerádicos y abundante fauna fósil. Su localidad tipo está en la caleta homónima, ubicada al norte del Aeropuerto Diego Aracena, a 32 km al sur de Iquique, en la costa norte del área de estudio. En el área de la Estación El Godo, localizada al norte del área de estudio, se expone un mejor desarrollo de las facies sedimentarias de esta formación, conformadas principalmente, por areniscas calcáreas volcanoclásticas con fósiles marinos. Allí, la Formación Caleta Lígate se dispone concordantemente sobre rocas de la Formación Oficina Viz y subyace concordantemente a la Formación El Godo. Thomas (1970), Kossler (1998) y Vásquez y Sepúlveda (2013) reconocieron facies volcánicas interdigitadas con areniscas en afloramientos al norte y cerca de su localidad tipo. Esta facies se desarrolla en la planicie litoral y en el borde occidental de la cordillera de la Costa, acuñándose hacia el este. Esta formación se encuentra intruida por la Diorita Patache, los complejos intrusivos Cerro Carrasco y Oyarbide y por Intrusivos subvolcánicos del Cretácico Inferior. En el sector de Sierra de Pintados, se encuentra en contacto por falla con la Formación Punta Barranco. En el sector de descabezado, es intruido por rocas del Complejo Intrusivo Oyarbide, mientras que al oeste de Alto del Toro, es intruido por el Complejo Intrusivo Cerro Carrasco.

En niveles de calizas se han reconocido fragmentos de conchas, crinoideos y espinas de equinodermos, así como también moluscos (gastrópodos y bivalvos), braquiópodos, colonias de corales, corales solitarios, equinodermos, y fragmentos de ostras y escasos amonites. Sobre la base de ammonoideos y bivalvos, Corvalán (1963) asigna parte de la unidad al Bajociano Medio. Kossler (1998) describe una asociación de fauna presente en las calizas del área de Gallinazos, que consiste en *Andivaugonia radixcripta* en la base de esta columna y hacia el techo *Lissochilus* sp., *Megasphaeroceras* sp., Stephanoceratidae gen. et sp. indet, *Clypeus* sp., *Stomechinus? andinus*, cuyo rango estratigráfico también las confina en el Bajociano. En dos localidades en el área de las cartas, en el sector noreste de la cordillera de la Costa, la presencia de *Trigonia* aff. *corderoi* Lambert, *Gryphaea* sp. y *Leptosphinctes?* sp. en el techo de esta unidad permite asignarle una edad posible Bajociano Superior (Rubilar, 2014, en Sepúlveda et al., 2014). Por otra parte, Vásquez y Sepúlveda (2013) obtuvieron una edad U-Pb en circones de $170,8 \pm 2,5$ Ma (límite Bajociano-Aaleniano) en una brecha piroclástica cerca de la base de esta formación, lo que concuerda con la edad bajociana determinada por medio de fósiles.

Diorita Patache (Jsp): Cuerpo intrusivo de composición diorítica de grano medio que aflora entre las localidades de Pabellón de Pica y Patillos abarcando un área aproximada de 5 km². Este cuerpo intruye a las volcanitas de las formaciones Oficina Viz y Caleta Lígate, generando en ellas metamorfismo de contacto. La Diorita Patache es intruida por dioritas de anfíbola grano más fino del Complejo Intrusivo Cerro Carrasco, causando una alteración caracterizada por la presencia de epidota y mineralización menor de cobre diseminada. Los afloramientos de este cuerpo están cubiertos por los Depósitos de Guano (PIHg), Litorales (PIHl) y antrópicos (Han). En las dioritas que afloran en el área de Punta Patache, se obtuvo una edad U-Pb en circón de 159,5±1,7 Ma. Además, se determinó una edad de 40Ar/39Ar 157,2±0,3 Ma en biotitas asociadas a una milonita en una zona de falla que corta a esta unidad. Lo anterior permite asignarla al Jurásico Superior.

Intrusivos Hipabisales del Cretácico Inferior bajo (Kibh): Rocas hipabisales de composición dacítica a daciandesítica de textura porfídica, caracterizadas por su color blanquecino y la abundante presencia de “ojos de cuarzo”. Sus afloramientos están principalmente distribuidos en la parte media de la Carta Oficina Victoria, con una extensión de ca. 20 km². Esta unidad intruye a rocas asignadas a los Estratos de Sierra de Lagunas (Triásico Superior-Jurásico Inferior), a cuerpos hipabisales asociados a esta última unidad (TrJh) y a la Monzonita Cerro Vetarrón. Sepúlveda et al. (2014) obtuvieron cuatro edades en rocas de esta unidad con el método U-Pb en circón, lo cual permite acotar la edad de la unidad al Cretácico Inferior Bajo.

Formación Cerro Rojo (Kicr): Corresponde a una sucesión de rocas sedimentarias clásticas de color rojo y de origen continental, conformada por una facies de brechas sedimentarias con intercalaciones de conglomerados y areniscas subordinadas (a), la cual se interdigita con facies de areniscas y limonitas (b). Los afloramientos de esta formación cubren ca. 15 km² y se distribuyen en la porción más occidental de la cordillera de la Costa. La facies de brechas se expone tanto en el Gran Escarpe Costero, frente a Punta Patillos, como en la cordillera de la Costa desde la misma latitud hacia el sur. Por otro lado, la facies más fina se dispone en los afloramientos más orientales de esta unidad, al norte del cerro Rojo y directamente al oeste del salar Grande. La base de la unidad no está expuesta y los contactos con las unidades estratificadas e intrusivas del Jurásico son de carácter tectónico. De la misma manera, las relaciones estratigráficas entre las formaciones cretácicas Cerro Rojo y Punta Barranco son de carácter estructural, lo que, a pesar de la posible contemporaneidad entre ambas unidades, impide establecer un orden estratigráfico entre éstas. En los afloramientos de la facies de brechas sedimentarias en el Gran Escarpe Costero, al sur de la ruta A-750, es posible apreciar que la Formación Cerro Rojo está cubierta en discordancia de erosión y angular por las Gravas de Alto Hospicio (OPah). Esta relación también se presenta, en menor extensión, en afloramientos ubicados directamente entre el salar Grande y el cerro Carrasco. Dataciones radioisotópicas señalan edades de 158,6±1,7 Ma y 144,8±1,4 Ma, asignando la unidad al Jurásico Superior – Cretácico Inferior.

Gravas de Alto Hospicio (OPah) (Marquardt et al., 2008): Secuencia de gravas matriz-soportadas con matriz de arena gruesa, que incluyen en menor proporción capas de gravas clasto-soportadas con intercalaciones de cenizas y, localmente, niveles evaporíticos. Los

afloramientos de esta unidad presentan una amplia distribución en la cordillera de la Costa y están limitados al oeste por el Gran Escarpe Costero. En el área de estudio, cubren una superficie aproximada de 1.606 km² y constituyen la unidad de mayor extensión areal en las cartas. Las Gravas de Alto Hospicio cubren en discordancia angular y de erosión a las unidades estratificadas mesozoicas, y en disconformidad a todas las unidades intrusivas. Esta unidad está cubierta, parcialmente, en para concordancia, y en forma local, con ligera incisión, por depósitos aluviales del Pleistoceno-Holoceno. (**PIHa**), depósitos coluviales (**PIHc**), depósitos salinos (**PIHs**) y depósitos eólicos (**PIHe**). Además, en el borde oriental de la cordillera de la Costa, la parte superior de las Gravas de Alto Hospicio tendría una relación de engrane lateral con la Formación Soledad (**Pso**). Las Gravas de Alto Hospicio han sido referidas al Oligoceno sobre la base de diferentes dataciones radioisotópicas (Sepúlveda et al., 2014 y referencias ahí incluidas).

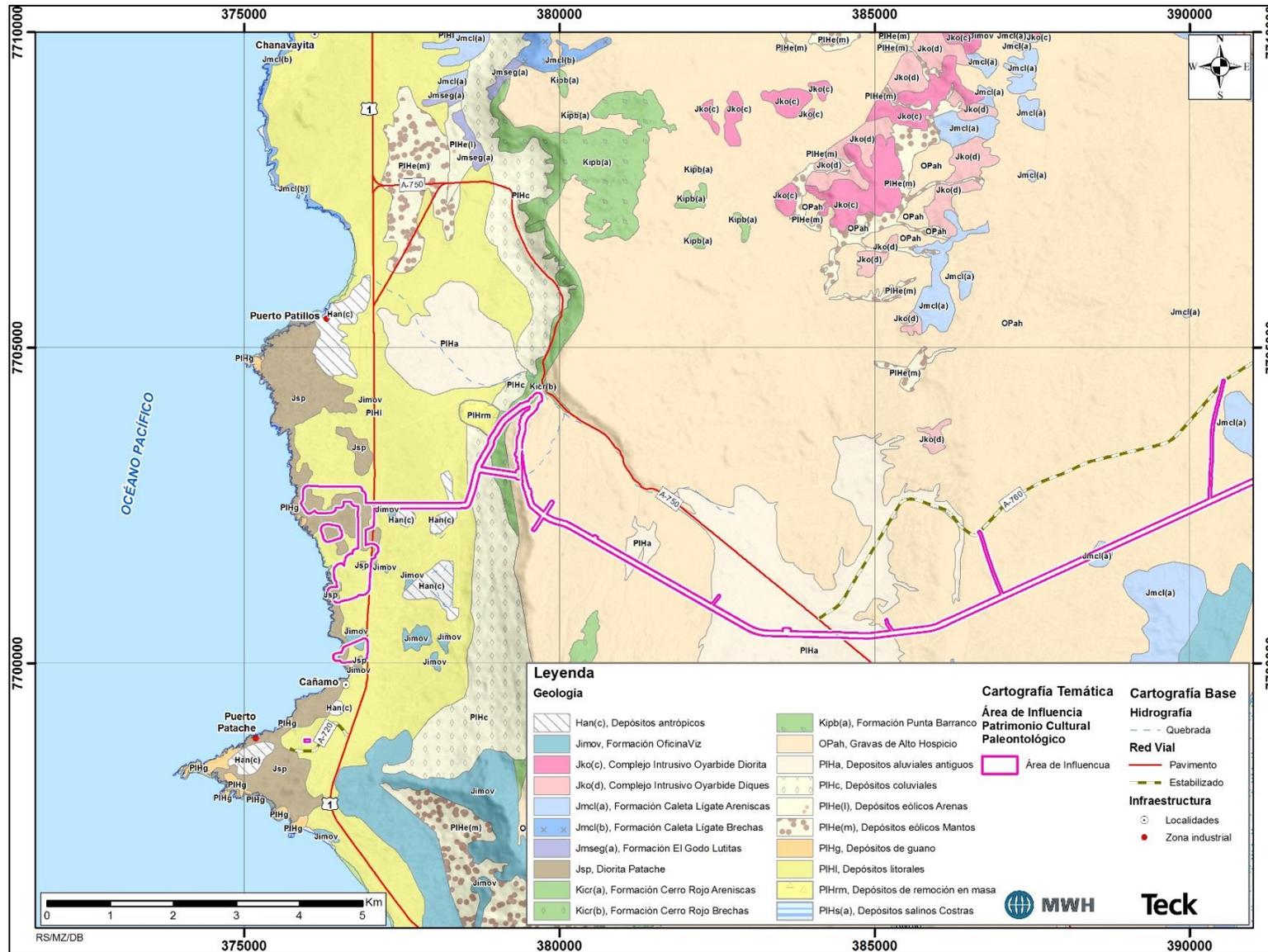
Depósitos Litorales (PIHl): Estos depósitos afloran, discontinuamente, sobre el substrato rocoso en la franja costera y están conformados por areniscas calcáreas, conglomerados y coquinas, con un grado de cementación y consolidación variable (Marquardt et al., 2008). Además, se incluyen en esta unidad los depósitos de arenas de bioclastos, de tamaño medio a grueso, que se acumulan en las playas actuales. Estos depósitos se disponen en bancos de superficies aterrazadas y sus afloramientos, en las presentes cartas, cubren un área de aproximadamente 70 km². Tanto al norte como al sur de punta Patache, está preservada una sucesión de seis niveles de terrazas marinas donde la terraza más alta y su escarpe asociado, alcanzan cotas cercanas a los 100 m s.n.m, inmediatamente al sur de punta Patache. Esta unidad presenta una relación de engrane con depósitos de guano (PIHg), por lo que se infiere que, al menos, en parte se depositaron simultáneamente. La fauna presente en los depósitos aterrazados incluye *Priene rude* (Broderip), *Prisogaster niger* (Wood) y *Argopecten purpuratus* (Lamarck), entre otras especies (Rubilar y Pérez, 2007), cuyo rango estratigráfico acotaría la edad máxima de estos depósitos al Pleistoceno-Holoceno.

Depósitos de Guano (PIHg): Corresponden a depósitos sedimentarios biogénicos masivos constituidos por fosfatos de calcio, que fueron depositados como materiales fecales y restos orgánicos de aves marinas litorales, y que se presentan como depósitos puros o cementando depósitos litorales y coluvios (Marquardt et al., 2008). Estos depósitos se caracterizan por poseer un color blanco amarillento y/o rojo oscuro, predominando el primero. Sus afloramientos (ca. 1,1 km²) se presentan en la costa actual como mantos de espesor variable, cubriendo rocas mesozoicas y/o engranando con depósitos litorales (PIHl), y como relleno de fracturas de espesores métricos. La relación de engrane entre los depósitos de guano y los depósitos litorales fue observada en las zanjas de explotación de guano en punta Patache, donde se evidencia una interdigitación de depósitos de guano rojo y areniscas bioclásticas. Los depósitos de guano blanco y rojo coexisten aflorando en promontorios aledaños a la costa en el sector de punta Patillos, punta Patache, punta Negra, punta Colina y Pabellón de Pica. En estos lugares se observa que, en general, el guano rojo se encuentra bajo el guano blanco, y que existe alternancia de depósitos de guano con capas ricas en restos orgánicos, tales como plumas y/o huesos de aves. En el sector de punta Patache se obtuvieron edades mediante ¹⁴C en muestras de guano blanco y rojo que rellenan fracturas en dioritas y depósitos litorales aterrazados. Para el guano blanco se

obtuvo una edad de 45.773 (+3.507/-2.423) años cal AP, mientras que para el guano rojo se obtuvo (promedio ponderado de dos análisis) 51.155 (+10.175/-4.428) años cal AP (Vásquez et al., 2012). En consecuencia, son asignados al Pleistoceno superior – Holoceno.

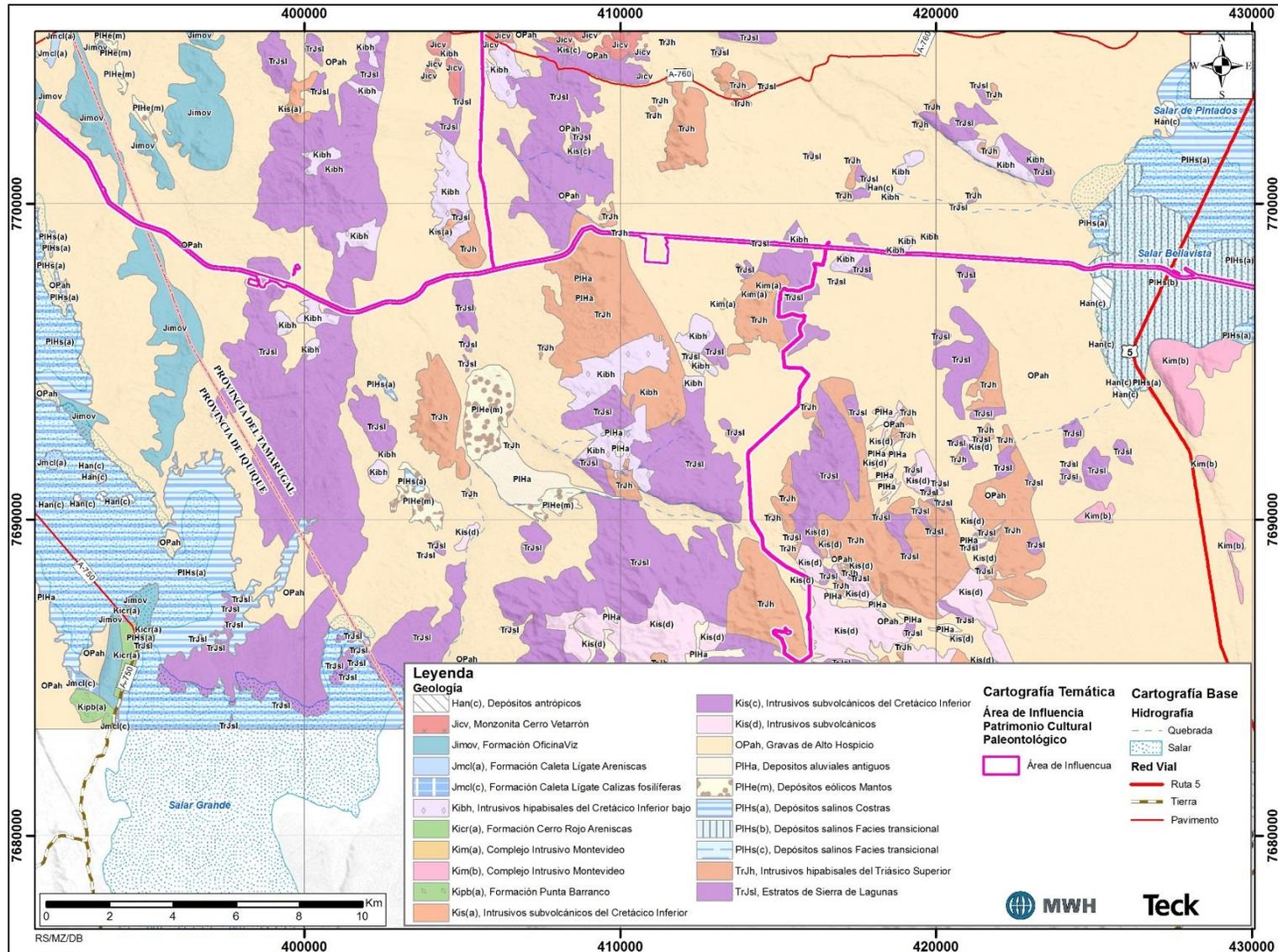
Depósitos de Remoción en Masa (PIHrm): Depósitos no consolidados que se encuentran al pie del Gran Escarpe Costero, cubriendo a depósitos litorales (PIHl), y que se generaron por el colapso del material que lo compone, debido a procesos gravitacionales y, probablemente, sísmicos. Cabe destacar, además, que en éstos depósitos se preservan fracturas en las cicatrices de las cabeceras de los deslizamientos, que sugieren que estos procesos están activos. Estos depósitos cubren tanto a los depósitos litorales como a los depósitos coluviales. Litología. Consisten en depósitos bien consolidados y clasto-soportados, compuestos por bloques métricos a centimétricos, muy angulosos y mal seleccionados. La remoción de punta Patillos, al contrario de las que ocurren al norte del área, representa un solo evento gravitacional. Estos depósitos cubren tanto a los depósitos litorales como a los depósitos coluviales. En el área de estudio no existen dataciones directas, pero al norte del área, en el sector Los Verdes de la Carta Iquique, Yugsi et al. (2012) realizaron dataciones ^{14}C en una de las remociones que afloran en ese lugar, y obtuvieron una edad de 40.250 ± 520 años A.P. Además, Yugsi et al. (2012) dataron con el mismo método el guano de la terraza donde se apoya el depósito de otra remoción, situada frente a punta Santiago, y obtuvieron edades mayores a 43.500 años A.P. (en este caso, el límite máximo de detección instrumental), la que constituye una edad máxima para esta remoción. Las relaciones de contacto, junto con las edades obtenidas para el norte del área, sugieren que la remoción en masa registrada frente a caleta Patillos se depositó durante el Pleistoceno-Holoceno.

Figura 3.7.2-4 Detalle de las unidades geológicas presentes en Área Puerto y Obras Lineales.



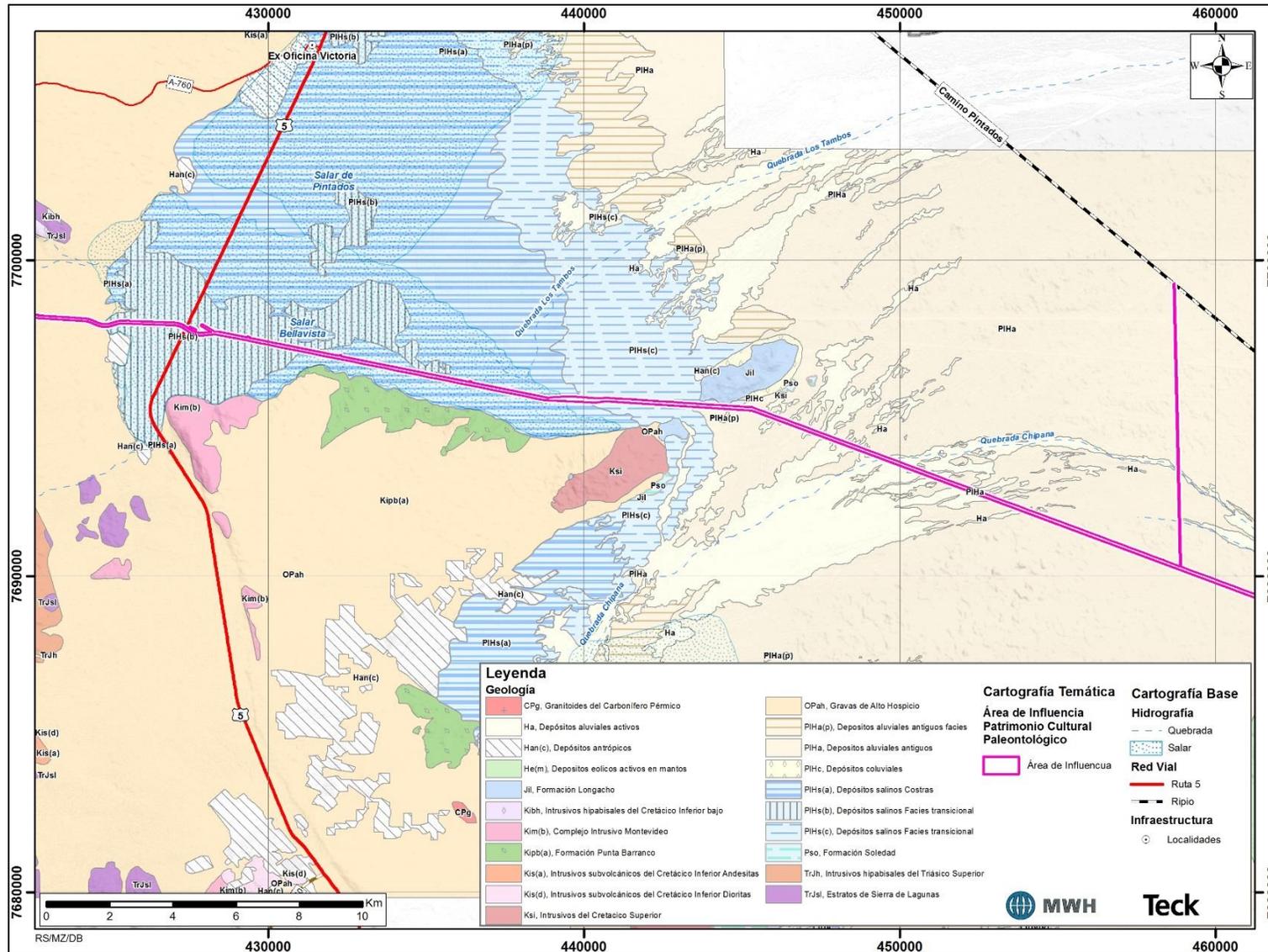
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.2-5 Detalle de las unidades geológicas en Área Obras Lineales.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.2-6. Detalle de las unidades geológicas en Área Obras Lineales.



Fuente: Elaboración propia.

- **Área Obras Lineales y Área Pampa**

Las unidades que afloran en este sector han sido caracterizadas a partir de Blanco y Tomlinson (2013) [Carta Guatacondo, mapa geológico escala 1:100.000]. De base a techo, el trazado del proyecto intersecta las siguientes unidades (Figura 3.7.2-7):

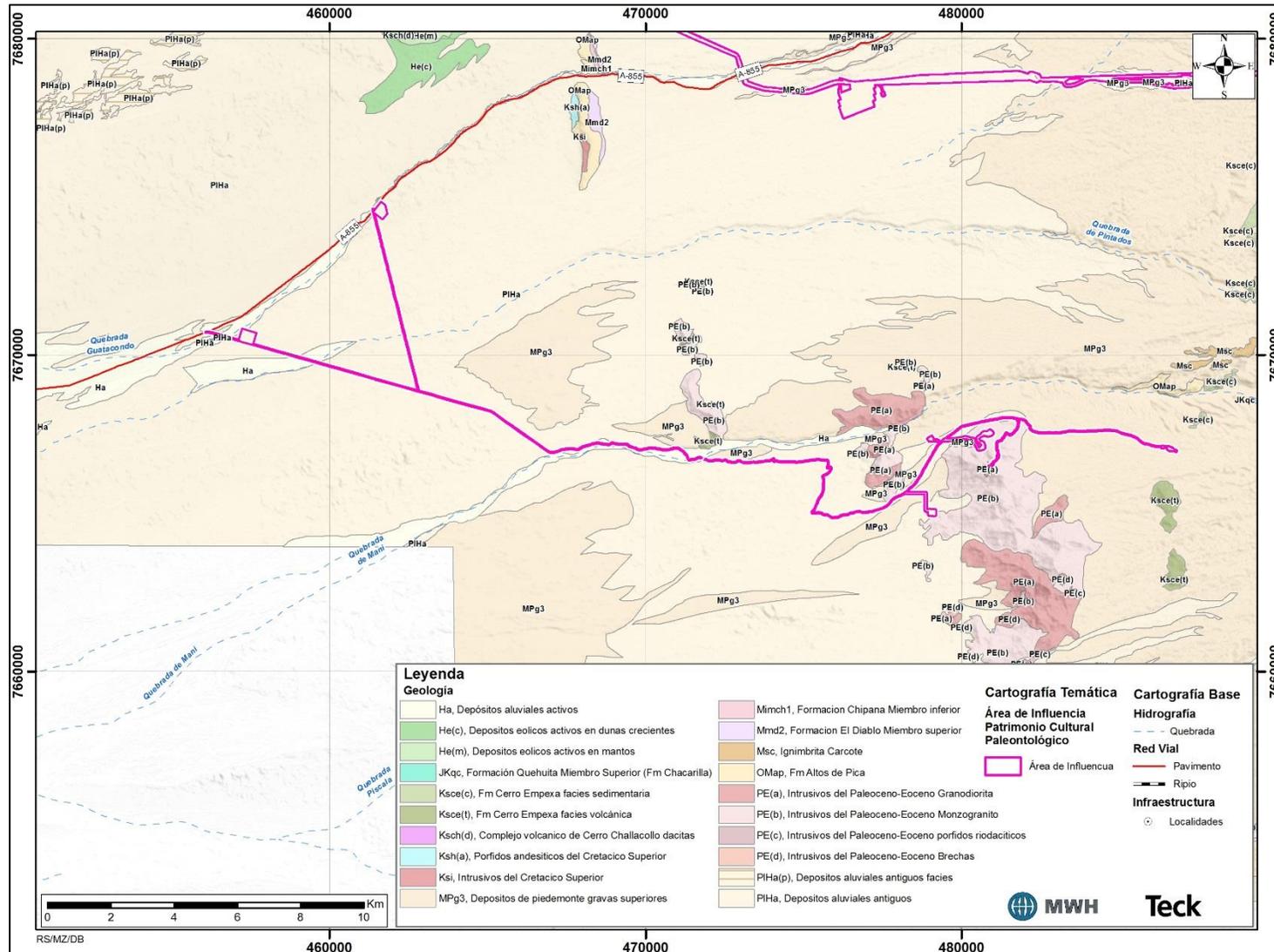
Intrusivos Hipabisales del Cretácico Inferior bajo (Kibh): Rocas hipabisales de composición dacítica a daciandesítica de textura porfídica. Esta unidad ya ha sido descrita para el sector costero, y también aflora en el margen oeste del sector pampa.

Formación El Diablo (Mmsd) (Tobar et al., 1968): Secuencia sedimentaria clástica, con intercalaciones de evaporitas, expuesta en la confluencia de las quebradas Azapa y El Diablo, a unos 15 km al E de Arica, a la cual le asignaron una edad cuaternaria. Posteriormente, Vogel y Vila (1980), dividieron la formación, que atribuyen al Plioceno Superior-Pleistoceno, en dos miembros: uno inferior, constituido por areniscas, limolitas y arcillolitas, y otro superior, conformado, fundamentalmente, por conglomerados. En la Carta Guatacondo sus afloramientos se encuentran a lo largo de las principales quebradas que drenan el borde occidental de la precordillera (Quimisa, Infiernillo, Chacarilla, La Ramada, Cahuisa, Guañacagua, Chipana y Guatacondo). Las exposiciones más occidentales se localizan en los cerros Challacollito, Challacollo y al N de este último. En la Carta Guatacondo, tal como en la zona de Arica, se divide la formación en dos miembros, y sus rocas se apoyan tanto en para concordancia como localmente en discordancia angular sobre la Formación Altos de Pica, en para concordancia sobre la Formación Chipana y concordante a la Ignimbrita Huasco, y está cubierta, en discordancia erosiva, y localmente angular, por depósitos no consolidados del Mioceno Superior-Plioceno. Tanto la posición estratigráfica como las edades radiométricas obtenidas en la Formación Diablo permiten ubicarla en el Mioceno Medio-Mioceno Superior bajo (Blanco y Tomlinson, 2013).

Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno (PIHa): Unidad informal. Con esta denominación se agrupa a un conjunto de bolones, gravas, arenas y limos no consolidados, expuestas con gran desarrollo en la zona de estudio, principalmente en el sector centro occidental de la misma. Estos depósitos se encuentran incisos en los Depósitos aluviales del Mioceno Superior-Plioceno (MPa), del Mioceno Superior-Plioceno, y se encuentran disecados por los Depósitos aluviales activos (Ha) y cubiertos por los eólicos activos (He), del Holoceno. Morfológicamente, constituyen una sucesión de abanicos en cascada cuyas incisiones dan origen al menos tres grandes niveles de terrazas, expuestas en las partes bajas de las principales quebradas que drenan la precordillera, como son, de norte a sur, Chacarilla, Higuera y Guatacondo. En la Carta Guatacondo los depósitos de esta unidad se distribuyen ampliamente en el sector centro occidental de la misma, donde cubren un área total de 1.348,4 km². Esta unidad está conformada mayoritariamente por gravas de guija a bloques, no consolidadas, con escasas intercalaciones de arenas laminadas y de guijarro. Se asocian a estas gravas, espacial y temporalmente, depósitos de humedales aluviales PIHa(h) y limos de playa aluvial PIHa(p), los que han sido separados como facies.

Depósitos Salinos (PIHs): Si bien esta unidad está ampliamente distribuida en la carta Guatacondo, su definición solo se encuentra disponible en la carta Oficina Victoria (Sepúlveda et al., 2014). Corresponden a depósitos de sales, que se encuentran tanto en cuencas endorreicas y depresiones de la cordillera de la Costa, como en el sector occidental de la depresión Central, cubriendo en total un área de ca. 633 km². En la cordillera de la Costa, conforman salares con extensiones de distinta magnitud, los que de norte a sur son: salar del Carmen (ca. 2 km²), salar de Soronal (ca. 10 km²), y la parte norte del salar Grande (ca. 107 km²). En la depresión Central, los depósitos corresponden, de norte a sur, a: la parte centro-sur del salar de Pintados-Bellavista (ca. 460 km², en el área de estudio), el salar de Sur Viejo (ca. 32 km²), y casi la totalidad del salar de Lagunas (ca. 2 km²). Los depósitos salinos cubren a las Gravas de Alto Hospicio (OPah), se apoyan, en discordancia de erosión, sobre capas de anhidrita de la Formación Soledad, presentan una relación de engrane con los depósitos aluviales del Pleistoceno-Holoceno (PIHa) y se encuentran parcialmente cubiertos, tanto por depósitos aluviales activos (Ha), como por depósitos antrópicos.

Figura 3.7.2-7 Detalle de las unidades geológicas intersectadas por el trazado del Proyecto en sector de Obras Lineales y Área Pampa.



Fuente: Elaboración propia.

- **Área Obras Lineales (Precordillera)**

En la Figura 3.7.2-8, se aprecian las unidades geológicas que intercepta el Proyecto en el sector Obras Lineales.

Para la identificación de las unidades geológicas intersectadas por el trazado del Proyecto en estos sectores, se han utilizado como referencias primarias los siguientes mapas geológicos: cuadrángulos Al sur del cuadrángulo de Guatacondo, permanece un sector sin mapeo a escala 1:100.000 o inferior, correspondiente al cuadrángulo Ramaditas. Para cubrir dicho sector, se ha utilizado como aproximación el mapa 1:1.000.000 de Sernageomin (2003). De este modo, de base a techo, las siguientes unidades geológicas son intersectadas por el trazado del proyecto:

Formación Chacarilla (JKch) (Galli y Dingman, 1962, emend. Blanco y Tomlinson, 2013):

Potente secuencia, bien estratificada, de fangolitas, lutitas, areniscas y ortocuarcitas, de colores gris rojizo o gris verdoso, de ambiente marino en su parte inferior y continental en la superior, cuya sección tipo se ubica 1,5 km SO de la localidad homónima. Los afloramientos de la Formación Chacarilla se extienden a lo largo de una franja de 43 km en sentido meridiano, en el margen oriental de la Carta Guatacondo, formando parte de un amplio sinclinal (Sinclinal Higuieritas), de orientación N-S. Su base corresponde a la Formación Majala (Jsm), a la que sobreyace en contacto concordante y transicional, y está cubierta, en discordancia angular, por la Formación Cerro Empexa (Ksce) del Cretácico Superior. La secuencia aflora, además, tanto en el limbo occidental del Anticlinal Chacarilla, en las quebradas Chacarilla, Higuierita y Guatacondo, como el limbo oriental del Anticlinal Cuesta de López, en la parte superior de la quebrada Empexa, cubriendo un área total en la Carta de 121,6 km². La posición estratigráfica de la Formación Chacarilla, en contacto concordante y transicional sobre la Formación Majala y angularmente subyacente a la Formación Cerro Empexa, en cuya base se dató una toba ignimbrítica de 77 Ma, le confieren un rango amplio comprendido entre el Oxfordiano a Cretácico Superior (Campaniano). En afloramientos de esta formación expuestos en la parte norte de la II Región, Hammerschmidt et al. (1992) reportaron edades 40Ar/39Ar y K-Ar de 99-94 Ma para un filón manto andesítico y 'stock' tonalítico que las intruyen, las que le confieren a esta formación una edad mínima albiense. No obstante aquello, sobre la base del registro icnológico documentado en esta formación (Rubilar-Rogers et al., 2000; 2008; Moreno et al. 2012), particularmente de aquellas grandes pisadas de ornitópodos, confirman la presencia del Cretácico en esta formación y sus equivalentes estratigráficos (Blanco et al., 2000), lo que junto a las relaciones antes mencionadas permiten acotarla dentro del Cretácico Inferior. Hasta la fecha, no se han encontrado otros antecedentes que permitan precisar la edad de esta formación, particularmente de algún piso dentro del Cretácico Inferior. Sobre estos antecedentes, la edad de la Formación Chacarilla queda comprendida en el rango Jurásico Superior (Oxfordiano)–Cretácico Inferior.

Formación Cerro Empexa (Ksce): (Galli y Dingman, 1962): Secuencia continental de 600 m de espesor constituida por brechas, conglomerados, traquitas, areniscas finas y fangolitas. Su localidad tipo se ubica en el Sinclinal Higuieritas, situado aproximadamente 13 km al SE de la localidad de Chacarilla, en el sector centro oriental de la Carta Guatacondo, donde los autores

citados definieron 3 miembros. Los miembros inferior (1) y superior (3) están constituidos por brechas y conglomerados gris rojizos y traquitas grises y moradas, respectivamente, mientras que el miembro intermedio (2) estaría conformado por areniscas finas y fangolitas rojo grisáceas e intercalaciones irregulares de yeso. La edad de la Formación Cerro Empexa está indicada por 11 dataciones radiométricas U-Pb en circones, dos de las cuales corresponden a análisis de circones detríticos separados desde rocas sedimentarias volcánicas, y una edad K-Ar roca total, las se distribuyen entre los 82,5 y 68,2 Ma (Cretácico Superior alto). Según Sernageomin (2003), aflora al sur de la carta Guatacondo una unidad denominada Kia2. Esta unidad corresponde a secuencias sedimentarias y volcánicas, rocas epiclásticas, piroclásticas y lavas andesíticas y basálticas con intercalaciones lacustres y localmente marinas. Dicha litología, edad y ubicación permiten correlacionar los afloramientos de Kia2 con la Formación Cerro Empexa descrita en la Carta Guatacondo.

Intrusiones Hipabisales del Cretácico Superior (Ksh): Corresponden a stocks subvolcánicos hipabisales, raíces intrusivas de domos volcánicos, filones mantos y diques de composición andesítica-microdiorítica a riolítica-microgranítica relacionados con el volcanismo del Cretácico Superior en la zona precordillerana. En la Carta Guatacondo, dos stocks andesíticos tabulares afloran en la ladera sur de la quebrada Alona, donde intruyen la Formación Chacarilla (JKch), un cuerpo andesítico aislado aflora en el cerro Challacollito, sin exposición de su roca huésped, y varios 'stocks' menores riolíticos y un domo intrusivo riolítico se exponen en el cerro Challacollo, donde intruyen a la Formación Cerro Empexa (Ksce), a la que están petrogenéticamente relacionados. También, un stock microgranítico aflora en la parte septentrional del cerro Challacollo y corresponde a un plutón tabular, de 400-600 m de espesor, emplazado en la Formación Challacollo (Jsch), con un piso concordante con la estratificación de la roca de huésped, y techo con tramos tanto concordantes como discordantes. Este stock está cortado por stocks dioríticos-monzodioríticos cretácicos Ksg(d) y filones mantos y diques andesíticos. El stock microgranítico expuesto en cerro Challacollo cuenta con una edad U-Pb en circón (ELA-ICP-MS) de $82,6 \pm 1,5$ Ma, mientras que el domo intrusivo riolítico que aflora en la cumbre de este se obtuvo una edad U-Pb en circón (ELA-ICP-MS) de $81,9 \pm 1,6$ Ma. Finalmente, desde un filón manto andesítico de piroxeno y hornblenda, emplazado en la Formación Cerro Empexa en el Sinclinal Higuieritas, se obtuvo una edad K-Ar en hornblenda de $36,9 \pm 3,0$ Ma. La muestra presenta una alteración hidrotermal débil, por lo cual dicho valor se interpreta como una edad mínima. Los antecedentes permiten asignar estos cuerpos hipabisales al Cretácico Superior.

Granitoides del Cretácico Superior (Ksg): Corresponden a stocks, y subordinados diques y filones mantos de composición principalmente dioríticas y monzodioríticas de dos piroxenos, con subordinadas facies asociadas de pórfidos andesíticos y monzonitas cuarcíferas, que afloran en el cerro Challacollo, donde intruyen a las formaciones Challacollo y Cerro Empexa, e intrusiones hipabisales riolíticos-micrograníticos del Cretácico Superior, y están cortados por vetas epitermales de probable edad Cretácico Superior alto–Paleoceno Inferior bajo. Para este conjunto de intrusiones se disponen dos dataciones U-Pb en circón (ELA-ICP-MS) en muestras recolectadas desde el sector SO del cerro de Challacollo; una monzodiorita que dio $74,9 \pm 0,7$ Ma, y una monzonita cuarcífera porfírica que obtuvo $79,2 \pm 1,9$ Ma.

Formación Altos De Pica (OMap) (Galli, 1957 emend. Blanco y Tomlinson, 2013): Secuencia constituida por fanglomerados y arenas con intercalaciones de tobas cuya sección tipo se ubicaría en el curso medio de la quebrada Chacarilla-Alona, entre las localidades de Algarrobal y Chacarilla. Allí, Galli (1957) diferenció 5 miembros, tres de origen sedimentario clástico y dos de carácter piroclástico, para los que determinó un espesor total de 740 m. Posteriormente, Galli y Dingman (1962) publican la cartografía geológica de cuatro cuadrángulos ubicados en el entorno de Pica, ampliando las descripciones litológicas de las unidades previamente definidas, siendo estas de amplio uso en la literatura geológica hasta el día de hoy. En ambos trabajos se describen los 5 miembros como sigue: 'Miembro 1, de 322 m de espesor, se constituye por conglomerados, areniscas, tobas y tufitas; Miembro 2, de 17 m, conformado por una toba soldada riolítica; Miembro 3, de 173 m, constituido esencialmente por areniscas y conglomerados; Miembro 4, corresponde a una toba riolítica de 23 m y Miembro 5, se compone de arenas y gravas que alcanzan 200 m de espesor'. Por otra parte, en el área ubicada al E de la serranía de Juan de Morales (Carta Mamiña), Galli (1968) diferenció 3 miembros para esta formación, que denominó Sagasca (inferior; conglomerados y areniscas), Tambillo (intermedio; ignimbrita soldada) e Imagua (superior; conglomerado), que en conjunto alcanzan 450 m de espesor. Esta formación se deposita discordantemente sobre todas las unidades pre-neógenas y subyace, con igual relación, a la Formación El Diablo. Los afloramientos de esta formación están distribuidos a través de todo el borde occidental de la precordillera, principalmente a lo largo del curso de las principales quebradas que la drenan. En la Carta Guatacondo, la formación aflora a lo largo de la quebrada Quisma, en los sectores de Salto Chico (Miembro Sagasca) y Salto Grande (Miembro Imagua), en la estribación de Puquio de Núñez (Miembro Imagua), y restringidos afloramientos entre las quebradas Infiernillo y Chacarilla. La más basta exposición de esta formación en la carta se encuentra en quebrada Chacarilla-Alona y sus afluentes orientales (e.g., quebrada Empexa), en quebrada Higuera, Rosario, La Ramada, Cahuisa, Guañacagua, Chipana, y Guatacondo. Los afloramientos más occidentales en esta carta se encuentran ubicados en estribaciones meridionales que sobresalen de la pampa, localizadas inmediatamente al norte de cerro Challacollo y a unos 6 km al SE de este cerro (cerro Challacollito). La formación cubre un área total en la carta de 68,2 km². Galli y Dingman (1962) propusieron para la Formación Altos de Pica un rango de edad comprendido entre el Terciario Superior y el Pleistoceno. Posteriormente, diversas dataciones radioisotópicas permitieron acotar la unidad al Oligoceno superior – Mioceno inferior (Blanco y Tomlinson, 2013 y referencias ahí incluidas).

Depósitos Aluviales Del Mioceno Superior-Plioceno (MPa): Conjunto de gravas y arenas pobremente consolidadas, con delgadas intercalaciones de cenizas volcánicas, expuestas en el sector central de la carta, donde cubren un área total de 621,7 km². Se apoyan en discordancia de erosión y angular sobre la Formación El Diablo y se encuentran cubiertos y/o disecados por depósitos aluviales del Pleistoceno-Holoceno (PIHa). En la Carta Guatacondo aflora a lo largo de una franja de orientación meridional de aproximadamente 55 km de largo por 20 km de ancho, desde quebrada Quisma por el norte hasta el límite sur de la carta. En quebrada Infiernillo alcanzan los 250 m de espesor, 200 m en quebrada Chacarilla y 130 m en quebrada Guatacondo. Su espesor disminuye a 50 m al occidente de Tamentica y NE de cerro Challacollo. La posición

estratigráfica que ocupa esta formación y las edades radiométricas obtenidas en ella permiten situarla en el Mioceno Superior-Plioceno Inferior.

Depósitos Eólicos Antiguos (MPe): Unidad informal referenciada por Blanco y Tomlinson (2013). Se agrupan bajo esta denominación a un conjunto de areniscas pardas, bien estratificadas y compactadas, en parte ligeramente litificadas por una moderada cementación de carbonato de calcio, que se sitúan tanto debajo como intercaladas en los Depósitos aluviales del Mioceno Superior-Plioceno, y en discordancia y localmente en paraconcordancia sobre la Formación El Diablo. En la Carta Guatacondo los afloramientos de esta unidad, se distribuyen desde quebrada Quisma por el norte hasta quebrada Guatacondo por el sur, alcanzando en promedio 50 m de potencia y hasta 100 m en la quebrada Cahuisa, cubriendo un área total de 66,0 km². La posición estratigráfica que ocupan estos depósitos permite situarlos en el lapso Mioceno Superior-Plioceno.

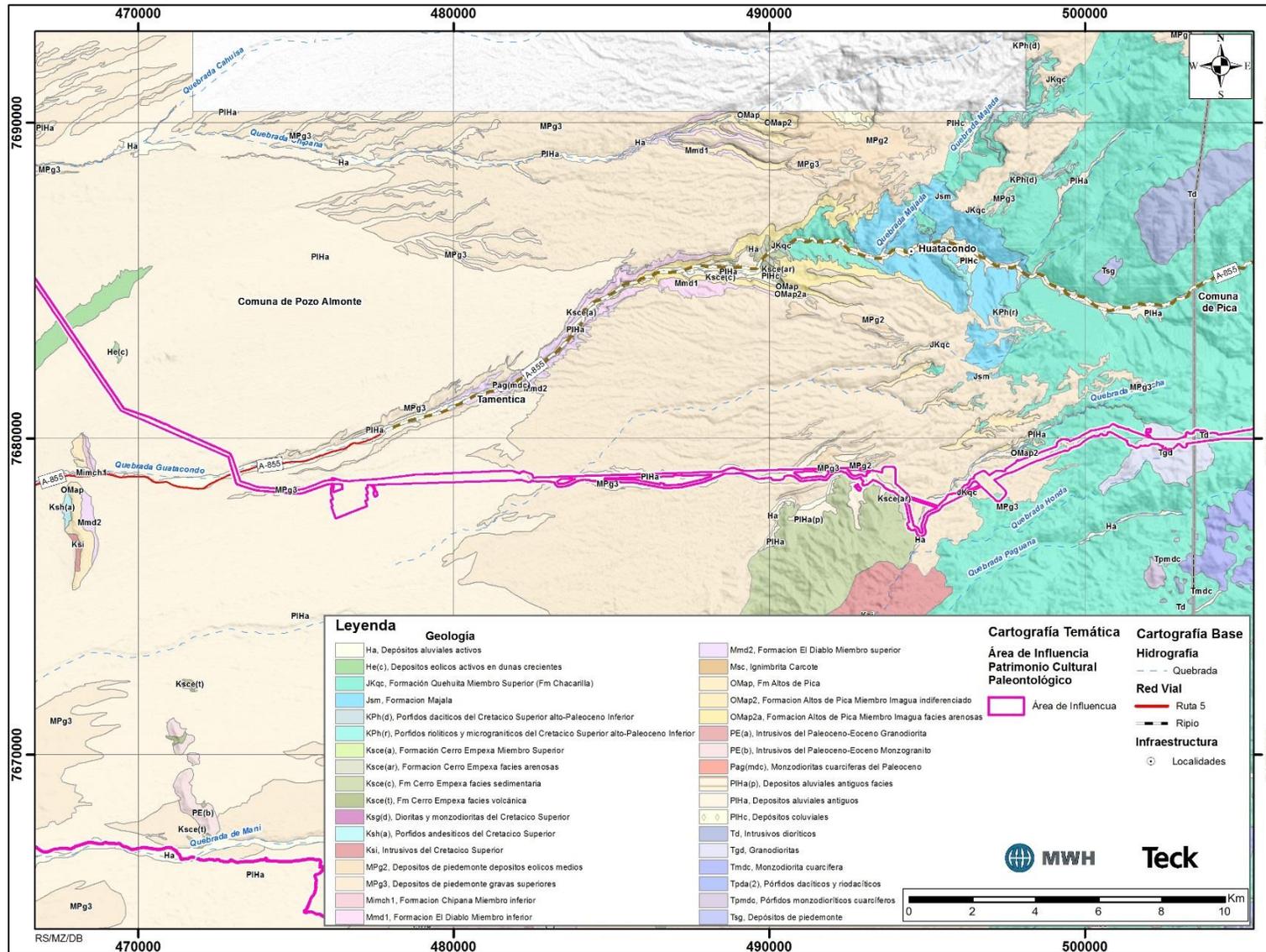
Depósitos Aluviales Del Pleistoceno-Holoceno (PIHa): Conjunto de bolones, gravas, arenas y limos no consolidados, expuestas con gran desarrollo en la zona de estudio, principalmente en el sector centro occidental de la misma. Estos depósitos se encuentran incisos en los Depósitos aluviales del Mioceno Superior-Plioceno (MPa), del Mioceno Superior-Plioceno, y se encuentran disecados por los Depósitos aluviales activos (Ha) y cubiertos por los eólicos activos (He), del Holoceno. Morfológicamente, constituyen una sucesión de abanicos en cascada cuyas incisiones dan origen al menos tres grandes niveles de terrazas, expuestas en las partes bajas de las principales quebradas que drenan la precordillera, como son, de norte a sur, Chacarilla, Higuierita y Guatacondo. En sectores se encuentran abundantes impresiones de *Equisetum* o *Stipeae* sp. (Gayó, comunic. escrita en Blanco y Tomlinson, 2013). Los Depósitos aluviales del Pleistoceno-Holoceno, están encajados en los Depósitos aluviales del Mioceno Superior-Plioceno (MPa), cuya edad más joven registrada en la región alcanza a los 4,5 Ma, lo que sitúa a esta unidad por encima del Plioceno Inferior. Varias edades 14C obtenidas en las terrazas más bajas y en las facies de paleohumedales (13-8,8 ka AP; Blanco y Tomlinson, 2013), permiten extender esta unidad hasta el Holoceno inferior. Todos estos antecedentes sitúan a los Depósitos aluviales del Pleistoceno-Holoceno en el Pleistoceno Medio-Holoceno Inferior.

Depósitos Aluviales Activos (Ha): Serie de depósitos no consolidados, distribuidos ampliamente en toda la zona de estudio como a una red de estrechos cauces aluviales, de actividad efímera, encausados primariamente por los drenajes de primer orden que se asocian a las principales quebradas que drenan el margen occidental de la precordillera, y que se diversifican en una serie de canales menores a salir del confinamiento que estos le otorgan. Disecan a los Depósitos aluviales del Pleistoceno-Holoceno (PIHa) y cortan y/o se encuentran cubiertos por los Depósitos eólicos activos (He). En la Carta Guatacondo estos depósitos se restringen a las quebradas Chacarilla y afluentes de segundo orden, Higuieritas, Cahuisa, Chipana y Guatacondo, y en conjunto sus depósitos cubren una superficie aproximada de 92,15 km².

Depósitos Eólicos Activos (He): Conjunto de depósitos no consolidados, constituido por arenas de grano medio, fino y grueso, de origen eólico y carácter activo, distribuidos, esencialmente, en

el borde oriental de la Pampa del Tamarugal. Los depósitos de esta unidad cubren a todas las unidades precedentes y se encuentran, localmente cortados y/o cubiertos por los Depósitos aluviales activos (Ha). Sus espesores son muy variables, desde unos pocos decímetros a menos de 15 m. Por lo general forman cuerpos elongados en dirección OSO-ENE asociados, aparentemente, a corredores de viento, y algunas zonas donde los depósitos se encuentran bloqueados por altos topográficos. En la Carta Guatacondo, los depósitos se localizan mayormente entre la quebrada de Quisma y la localidad de Puquio de Núñez y entre la quebrada Higuieritas hasta cerro Challacollo. El conjunto de estos depósitos cubren una superficie aproximada de 80,6 km². Por tratarse de depósitos cuya sedimentación se encuentra activa, se restringen al Holoceno.

Figura 3.7.2-8. Detalle de las unidades geológicas presentes en Área Obras Lineales, sector de Precordillera.



Fuente: Elaboración propia.

- **Cordones Prealtiplánicos (Área Mina y Variante Ruta A-97B)**

La distribución en superficie de las unidades geológicas intersectadas por el Proyecto se muestra en Figura 3.7.2-9 y Figura 3.7.2-10. Para este sector se han considerado como referencias primarias los mapas geológicos de los cuadrángulos Quehuita (Tomlinson et al., 2001), Copaquiri y Ujina (Blanco *et al.*, 2001). Un pequeño segmento en la parte norte del cuadrángulo Copaquiri y Ujina se encuentra sin mapeo inferior a escala 1:100.000. Este breve segmento ha sido evaluado con el mapa geológico 1:1.000.000 de Sernageomin (2003). De base a techo se tienen las siguientes unidades:

Granito Chara (Pzgch): Sienogranito de biotita, equigranular de grano medio a grueso, en parte gráfico y localmente porfírico con fenocristales de cuarzo. Asignado al Pérmico mediante dataciones radioisotópicas (Blanco et al., 2001).

Granodiorita El Escorial (Pzgdee): Granodiorita y monzodiorita cuarcífera de biotita, hornblenda y piroxeno subordinado. Asignada tentativamente al Pérmico en consideración de las edades de las rocas cristalinas que la confinan tanto en su base como techo.

Formación Collahuasi (Pzc): Unidad volcanosedimentaria subdividida en múltiples subunidades. Blanco et al. (2001) enmiendan la edad jurásica inicialmente propuesta por Vergara (1978b), reasignando la Formación Collahuasi al Carbonífero Superior-¿Triásico inferior?. Algunas de las subunidades se encuentran presentes en el sector del presente estudio. Estas son, de base a techo, las siguientes: **Pzci6**, riolitas porfíricas, conglomerados y areniscas; **Pzci9**, riolitas, areniscas y calizas; **Pzci5**, andesitas porfíricas; **Pzci7**, andesitas porfíricas; **Pzci11**, areniscas y calizas; **Pzci10**, areniscas y conglomerados de guijarros; **Pzca(i)**, andesitas y andesitas basálticas del miembro inferior; **Pzcr(s)**, riolitas y dacitas del miembro superior. La edad de la Formación Collahuasi ha sido también discutida por diferentes autores. Tomlinson y Blanco (2008) señalan edades SHRIMP de 300.3 ± 1.8 Ma para rocas de la Formación Collahuasi, similares a las dataciones obtenidas previamente por Mpodozis et al. (1993) con valores de 299.3 ± 1.7 Ma, y a los resultados de Munizaga et al. (2008), con valores de 298.8 ± 2.2 Ma. Masterman (2003) también obtuvo valores similares (293 ± 14 Ma). Maksaev et al. (2014) resumen estos resultados y añaden nuevas dataciones, proponiendo una edad Carbonífero inferior-Pérmico inferior para la Formación.

Pórfidos Riolíticos (Pzpr): Cuerpos subvolcánicos asociados con las riolitas de la Formación Collahuasi. Asignados al Paleozoico superior sobre la base de correlaciones con unidades equivalentes.

Formación Quehuita (JKq, Jq): Tomlinson et al. (2001) describen esta unidad como una secuencia sedimentaria de origen principalmente marino, en los niveles inferiores, y continental en los niveles superiores. Miembro Inferior: lutitas fisibles, calcilutitas, calcarenitas, calizas y lutitas fisibles yesíferas. Marino, litoral a plataforma carbonática infralitoral. Miembro Punilla: areniscas cuarcíferas medias a finas, lutitas pardas y areniscas calcáreas sin fósiles. Fluvial

anastomosado. Miembro Los Tambos: areniscas rojas laminadas y limolitas pardas. Estratificación sigmoide e icnitas de dinosaurios. Se asigna al Jurásico Inferior?-Cretácico Inferior sobre la base de correlaciones estratigráficas.

Formación Cerro Empexa (KTe(s); KTe(i)): Definiciones, litología y edad se encuentran ya indicadas arriba en el texto.

Formación Tolar (KTt): Secuencia sedimentaria clástica de color rojizo, de origen continental. Incluye intercalaciones de brechas gruesas en la base, con areniscas y areniscas guijarrosas asignadas a los miembros KTt1 y KTt2, indiferenciados. Se le asigna al Cretácico Superior – Eoceno inferior sobre la base de correlaciones estratigráficas (Blanco et al., 2001). Fuera del área de influencia del presente proyecto, se han hallado en esta unidad restos de dinosaurios titanosáuridos (Kellner et al., 2011).

Formación Icanche (TEi): Secuencia volcánica consistente, al menos en el área de estudio, en riolitas y tobas brechosas riolíticas, parcialmente soldadas (miembro TEir). Se asignan al Eoceno inferior a medio sobre la base de su contacto concordante sobre la Formación Tolar.

Monzonita Cuarcifera (Tmc): Stocks y cuerpos menores de composición variable entre monzonitas cuarcíferas, granodioritas y monzodioritas cuarcíferas. Se le asignan edades radioisotópicas entre 46 a 41 Ma.

Monzodiorita cuarcífera (Tmdb): Monzodioritas con alto contenido de cuarzo, hornblenda y biotita. Datadas radiométricamente en 42-38 Ma (Blanco et al., 2001).

Granodioritas (Tgd): Granodioritas de hornblenda y biotita, de grano medio a fino, en parte con tendencia porfírica. Datadas en 43-38 Ma (Blanco et al., 2001).

Complejo Intrusivo Quebrada Blanca (Tmcb): rocas cristalinas con diques porfíricos. Han sido datadas en 39-35 Ma (Blanco et al., 2001).

Ignimbrita huasco (TMih): Depósitos conformados por flujos piroclásticos riolíticos, soldados. Se asignan al Mioceno inferior sobre la base de dataciones radioisotópicas (Blanco et al., 2001).

Formación Papajoy (TOp): Secuencia sedimentaria clástica y carbonática continental, situada en subcuencas a lo largo de la Falla Este en el sector de cordones precordilleranos. Se ha dividido en tres miembros (inferior, TOp1; medio TOp2; superior, TOp3), diferenciados por sus respectivas litologías. Se asigna al Oligoceno - ¿Mioceno inferior? sobre la base de correlaciones estratigráficas.

Ignimbrita Carcote (TMic): Depósito de flujo piroclástico de composición dacítica-riolítica, soldado. Dataciones radioisotópicas señalan una edad de $5,8 \pm 0,4$ Ma, señalando el Mioceno superior alto (Blanco et al., 2001).

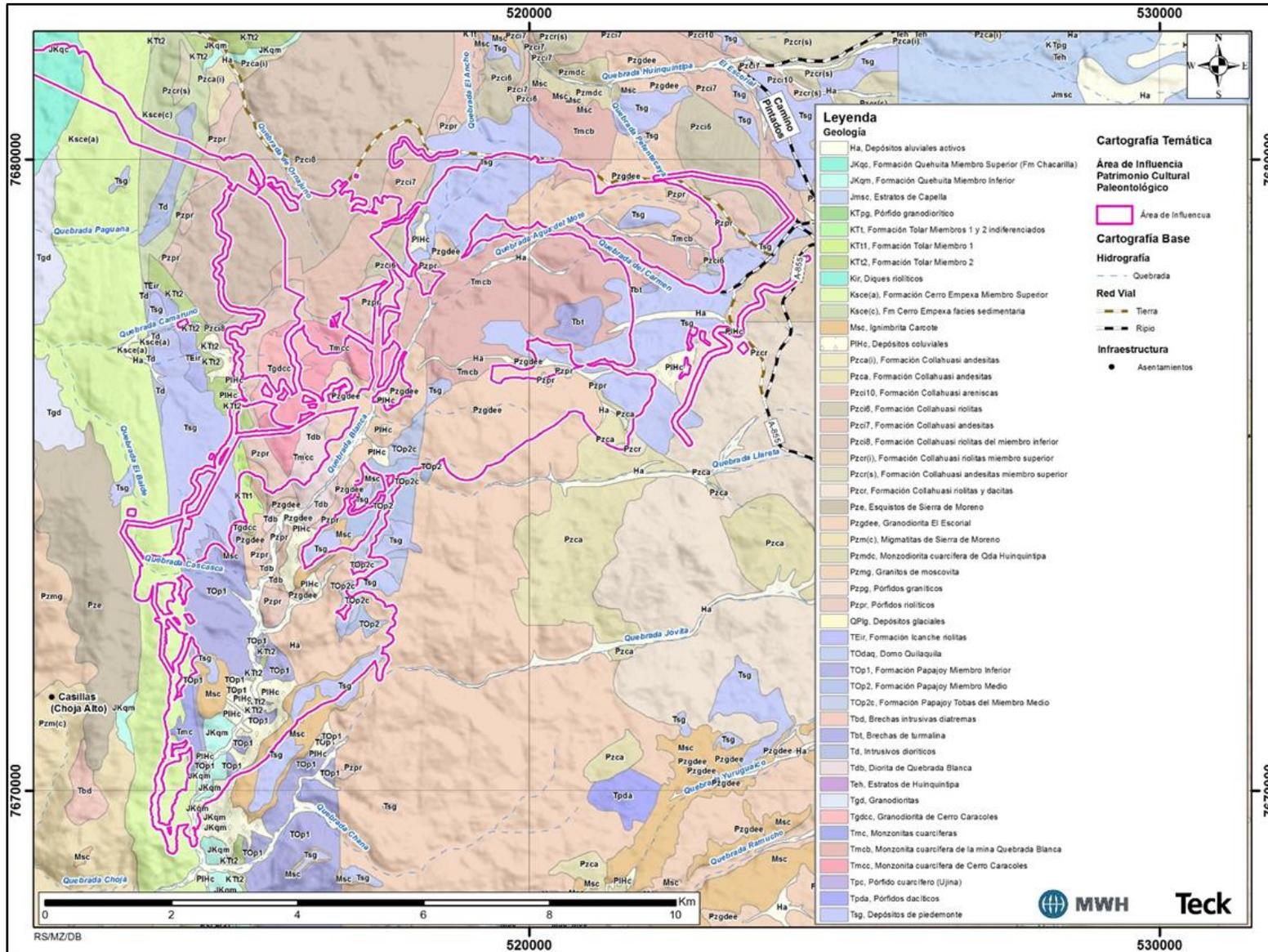
Depósitos de Piedemonte (Tsg): Gravas y ripios polimícticos de mala selección y consolidación con intercalaciones de limolitas y arcillolitas, y niveles de cineritas expuestos en la zona de la precordillera. Asignados al Mioceno inferior - Plioceno superior.

Depósitos Aluviales Antiguos (PPIg): Gravas y ripios polimícticos, mal seleccionados, en abanicos y paleocanales aluviales que disectan piedemontes antiguos (Tsg) y son cortados por drenajes aluviales activos (Qal). Asignados al ¿Plioceno superior?-Pleistoceno sobre la base de correlaciones estratigráficas (Blanco et al., 2001).

Depósitos Coluviales (Qc): Gravas, ripios y arenas situados en conos de faldeos abruptos.

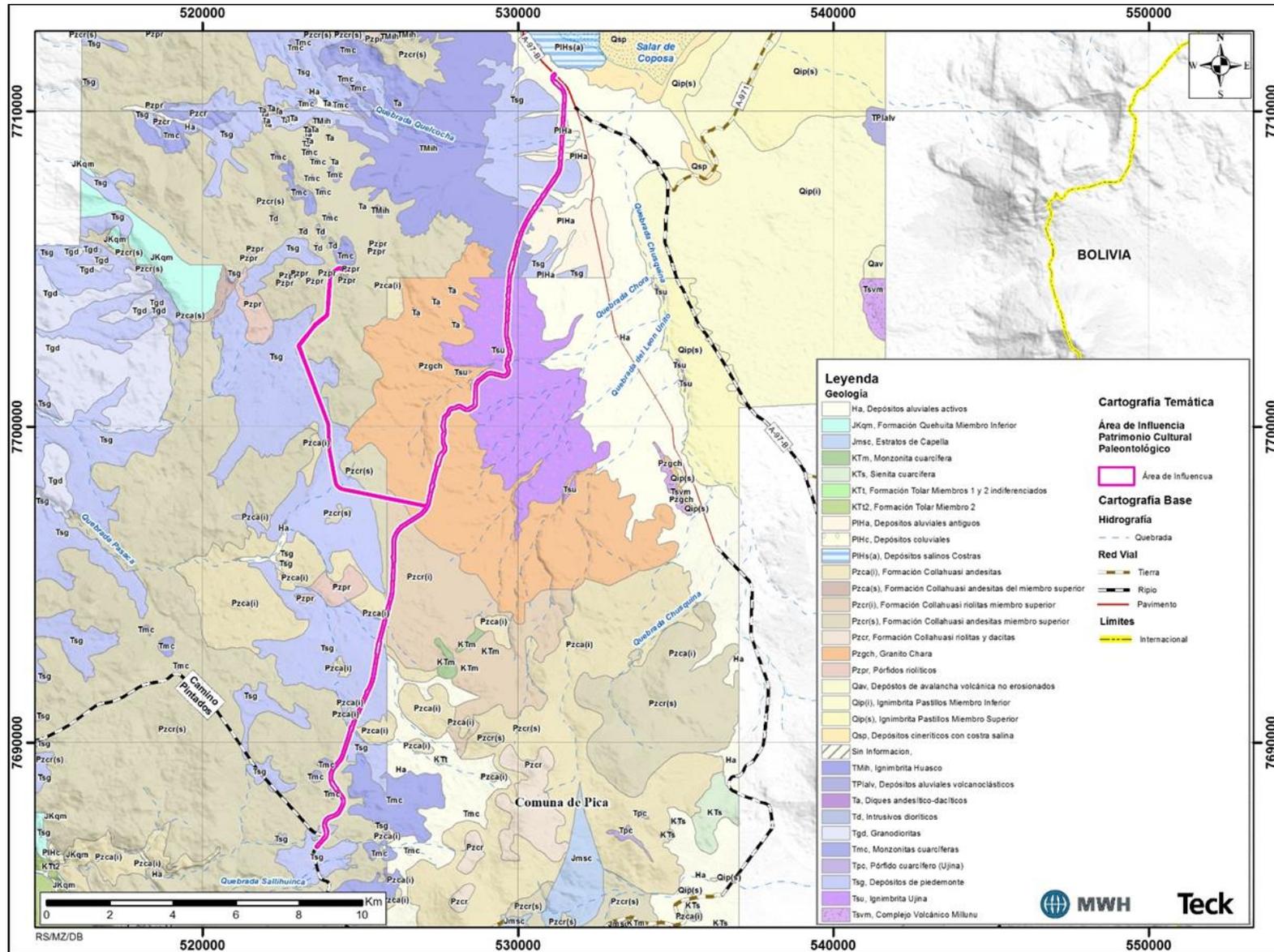
Depósitos Aluviales (Qal): Gravas y ripios polimícticos, no consolidados y activos en parte.

Figura 3.7.2-9. Detalle de las unidades geológicas presentes en el Área Mina.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.2-10. Detalle de las unidades geológicas en el sector de la Variante A-97B (Área Obras Lineales).



Fuente: Elaboración propia.

b) Antecedentes paleontológicos

A continuación se entrega la información bibliográfica recopilada sobre el contexto paleontológico de las unidades geológicas descritas en el apartado previo.

Área Puerto y Cordillera de la Costa: Chong (com. pers. 2014) señala que ha encontrado restos de troncos en la parte sur del Salar Grande (lejos del área de influencia del Proyecto), similares a los mencionados por García (1967). También se menciona el hallazgo de fósiles marinos (ammonites, corales, bivalvos) en rocas jurásicas de la Formación Cajamaraca (García, 1967; Thomas, 1970; Oliva, 2004; Andía, 2007; Tellez, 1986). Chong (com. Pers. 2014) señala el hallazgo de ammonites y corales en un cerro isla a unos 3 km al oeste de la actual mina de sal Tenardita (de la Compañía Minera Cordillera) en el Salar Grande, a unos 15 km al suroeste de las Obras Lineales asociadas al Proyecto. En las proximidades de Puerto Patache han sido descritos fósiles marinos del Jurásico (Kossler, 1998), también marinos del Terciario - Cuaternario (Padilla y Elgueta, 1992; Oliva, 2004) y abundantes restos de invertebrados marinos asignados al Pleistoceno – Holoceno, niveles equivalentes en Mejillones (Valenzuela Toro et al. 2015) y Caldera (Yury et al. 2012).

Por otra parte, Corvalán (1963) describe amonites y bivalvos en afloramientos aledaños al extremo norte del salar Grande, asignando estas capas al Bajociano Medio, para la Formación Caleta Lígate. El ambiente de depositación corresponde a un ambiente epicontinental de mar abierto en aguas someras (litoral a sublitoral) para los sedimentos (areniscas) de esta formación. A su vez, la presencia de calizas con oolitas, pisoides y oncoides con una fauna consistente en corales, ostras y equinodermos, permitieron a Kossler (1998) indicar un ambiente de plataforma carbonática para esta facies. Este mismo autor, describe una asociación de fauna presente en las calizas del área de Gallinazos (a más de 30 km al norte del Área de Influencia), que consiste en *Andivaugonia radixcripta* en la base de esta columna, y hacia el techo *Lissochilus* sp., *Megasphaeroceras* sp., *Stephanoceratidae* gen. et sp. Indet, *Clypeus* sp., *Stomechinus?* andinus, cuyo rango estratigráfico también las restringe al Bajociano. Este rango de edad es coincidente con el determinado en las facies de arenisca al norte y fuera del área del Proyecto (Kossler 1998; Vásquez y Sepúlveda 2012).

Finalmente, Vásquez et al. (2012) reconocen algunos niveles con especies de corales tales como *Microphyllia* sp., *Isastrea* sp., *Thamnasteria* (?) sp., cuyo rango estratigráfico es Jurásico Medio. En dos localidades en el área de las cartas, en el sector noreste de la cordillera de la costa (Fuera del área del Proyecto), la presencia de *Trigonia* aff. *corderoi* Lambert, *Gryphaea* sp. y *Leptosphinctes?* sp. en el techo de esta unidad, permite asignarle una edad posiblemente asociada al Bajociano Superior.

Depresión Central: Se han registrado vertebrados del Cuaternario, que corresponden a restos craneales y post-craneales del mamífero *Megatherium medinae* ("Perezoso gigante") en las cercanías de Pica (Canto et al., 2010). Además, restos de megafauna, entre ellos *Lama* sp., han sido reportados también en este lugar por Frassinetti y Alberdi (2000).

Precordillera: Hallazgos paleontológicos de relevancia han ocurrido en la Región, sin embargo, estos distan decenas de kilómetros del área de influencia del presente proyecto. Entre ellos, destaca el hallazgo de huellas de dinosaurios saurópodos, terópodos y ornitópodos en Quebrada Chacarilla (Rubilar-Rogers et al., 2000; 2008), ubicadas unos 45 km al norte del presente proyecto. A su vez, también se han hallado huellas de dinosaurios terópodos en la localidad de Huatacondo (Salinas et al., 1991; Rubilar-Rogers et al., 2012), distante unos 23 km al noroeste del área de QB2. Las unidades geológicas portadoras de este registro corresponden a las formaciones Chacarilla y Quinchamale, respectivamente, ambas de edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Rubilar-Rogers et al., 2012).

En la zona precordillerana también se ha reportado el hallazgo de Plantas vasculares (troncos): Herbst y Troncoso (1996), invertebrados marinos: Bogdanic y Chong (1985); Galli y Dingman (1962); García,(1967); Gröschke et al. (1988); Hillebrandt et al.(1986); MaksaeV, (1978; 1990); Vargas et al. (1984); Vergara y Thomas (1984); Vergara (1978a; b); Niemeyer et al. (1985); Orrego (1992) y vertebrados fósiles: Blanco et al. (2000); Moreno (2001); Moreno y Benton (2005); Moreno et al. (2000; 2004); Rubilar (2003; 2006); Rubilar et al.(2008; 2000a; 2000b).

A su vez, existen registros de restos óseos de cocodrilos pseudosuquios en las localidades de Sierra Moreno, en niveles calovianos de la Formación Quinchamale, y en Quebrada Cherejara, desde niveles calovianos de la Formación Quehuita (Soto-Acuña y Otero, 2014; Soto-Acuña et al., 2015). Ambas localidades se ubican unos 100 km al suroeste del presente proyecto. También se han hallado restos óseos de dinosaurios saurópodos recuperados desde niveles de edad Cretácico Superior de la Formación Tolar. Los restos han sido diagnosticados como una nueva especie, *Atacamatitan chilensis* (Kellner et al., 2011). El sitio del hallazgo se encuentra aproximadamente unos 100 km al sur del área de QB2.

Finalmente, es de interés señalar que en otros puntos del altiplano chileno, en dominios estructurales similares al de QB2, pero existentes en la Región de Arica y Parinacota a más de 200 km del área de influencia del presente proyecto, se han hallado varios sitios conformados depósitos volcánicos (tobas), los que incluyen una diversidad de mamíferos fósiles (Flynn et al., 2002; Croft et al., 2004). La unidad portadora corresponde a la Formación Chucal. La propia diversidad de mamíferos reconocida en esta localidad señala una edad Mioceno inferior-Mioceno superior (Flynn et al., 2002; Charrier et al., 2005).

Cordillera: No han sido registrados antecedentes bibliográficos paleontológicos para el Área Mina, sin embargo, cabe destacar que con motivo del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto “Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca”, se reconoce la unidad geológica Formación Papajoy, de carácter sedimentario continental. No se reconocieron restos fósiles en esta unidad, sin embargo, se reconoce su carácter “susceptible” a presentar restos fósiles.

En el sector del Depósito de Relaves, la Formación Quehuita, se encuentra altamente subordinada por unidades volcánicas continentales y los estratos se encuentran altamente fracturados por la acción del sistema de fallas normales y de rumbo que se desarrolla entre la Falla Choja y Falla Oeste. Por otro lado, los afloramientos son poco extensos arealmente y los

estratos de areniscas tienen poco espesor (15 a 20 cm). Estas condiciones son una limitante para la preservación del afloramiento. De acuerdo a la prospección en terreno, no se hallaron restos fósiles en el sector del Depósito de Relaves.

b.1) Antecedentes paleontológicos disponibles en el SEIA

Se revisaron 94 proyectos (19 EIAs y 75 DIAs) emplazados en las cercanías del área del Proyecto actual, presentados al SEIA entre 1995 y 2016. Del total de proyectos revisados, sólo tres presentaron Línea de Base Paleontológica, cuyos resultados principales se detallan a continuación:

- **Proyecto Espejo de Tarapacá (EIA 2014):**

Se efectuaron hallazgos de bienes paleontológicos en los depósitos de terrazas marinas del Holoceno (Tabla 3.7.2-2), representados principalmente por gastrópodos (11 taxa) y bivalvos (6 taxa), además de restos de un poliplacóforo y un equinodermo. Además, se hallaron restos con preservación regular en los depósitos aluviales, correspondientes a un gastrópodo pulmonado (*Bostryx?* sp.). Finalmente se reporta el hallazgo de representantes de tres phylla de invertebrados marinos (corales, moluscos y equinodermos) en depósitos jurásicos de la Formación Caleta Ligate (Mourgues et al., 2015).

Además, se reportan restos de invertebrados terrestres de edad cuaternaria provenientes de las Gravas de Alto Hospicio y la presencia de niveles de coquina con restos de moluscos bivalvos y gastrópodos marinos de edad pleistocena en afloramientos de depósitos litorales (Gutstein y Valenzuela-Toro, 2015).

Tabla 3.7.2-2 Elementos registrados en el EIA “Espejo de Tarapacá” (2014) y su distancia al Proyecto.

ID Puntos de Control	Tipo de elemento	Coordenada UTM, Datum WGS84, Huso 19 Sur		Área Proyecto QB2
		Este	Norte	
Punto 320	Terraza marina con abundantes restos de gastrópodos y bivalvos	383703	7665854	Fuera del área; ~ 35 km al sur del área del Proyecto QB2. Sector costero.
Punto 324	Depósito marino con alternancia de niveles coquináceos y detríticos. Presencia de abundantes gastrópodos, bivalvos y en menor medida equinodermos	380113	7672017	Fuera del área; ~ 30 km al sur del área del Proyecto QB2. Sector costero.
Punto 325	Depósitos marinos predominantemente detríticos, con bioclastos aislados, entre ellos	379892	7677838	Fuera del área;

ID Puntos de Control	Tipo de elemento	Coordenada UTM, Datum WGS84, Huso 19 Sur		Área Proyecto QB2
		Este	Norte	
	gastrópodos, bivalvos y en menor proporción restos de poliplacóforos			~ 20 km al sur del área del Proyecto QB2. Sector costero.
Punto 17	Gravas de Alto Hospicio con restos de invertebrados (Gastrópodos terrestres) presumiblemente cuaternarios	385964.00	7666096.00	Fuera del área; ~ 35 km al sur del área del Proyecto QB2. Sector costero.
Punto 19	Gravas de Alto Hospicio con restos de invertebrados (Gastrópodos terrestres) presumiblemente cuaternarios	386055.00	7665878.00	Fuera del área; ~ 35 km al sur del área del Proyecto QB2. Sector costero.
Punto 23	Afloramientos de Depósitos litorales con niveles de coquina cuaternaria con presencia de bivalvos y gastrópodos cuaternarios	383980.00	7665930.00	Fuera del área; ~ 35 km al sur del área del Proyecto QB2. Sector costero.

Fuente: Paleosuchus 2016.

- **Estudio de Impacto Ambiental Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca (EIA, 2014):**

Se reporta la presencia de unidades de la Fm. Papajoy, en las cuales no se realizaron hallazgos fósiles, durante las actividades de prospección en terreno de la Línea de base paleontológica; sin embargo, por la génesis de estas unidades, y los criterios de potencial fosilífero, se considera como susceptible de contener bienes paleontológicos.

- **Pampa Solar (EIA 2013):**

Durante las labores de prospección en terreno se evidenció la presencia de trazas fósiles, asignadas al icnogénero *Rizolitos* en depósitos de la Formación Quillagua (Tabla 3.7.2-3).

Tabla 3.7.2-3. Elementos registrados en el EIA “Pampa Solar” (2013) y su distancia al Proyecto.

ID Puntos de Control	Tipo de elemento	Coordenada UTM, Datum WGS84, Huso 19 Sur		Área Proyecto QB2
		Este	Norte	
Punto 389	Sucesión de carbonatos, limos y arenas salinas (cementadas por sales) con estratificación fina y maciza en algunos bancos.	421649	7755385	Fuera del área; ~ 50 km al norte del área del Proyecto QB2.

ID Puntos de Control	Tipo de elemento	Coordenada UTM, Datum WGS84, Huso 19 Sur		Área Proyecto QB2
		Este	Norte	
	Presencia de rizolitos de diámetros entre 0,5 y 2 mm.			
Punto 391	Rizolitos en pequeño afloramiento	421126	7755735	Fuera del área; ~ 50 km al norte del área del Proyecto QB2.

Fuente: Paleosuchus 2016.

3.7.2.4.5 Resultados

a) Área Mina

Las áreas localizadas en la parte norte, fueron recorridas en sentido este-oeste (Chong, 2014). Las observaciones realizadas, indican que se trata exclusivamente de rocas volcánicas y sedimentarias clásticas. Si bien la génesis de estas rocas admite una susceptibilidad de hallazgos paleontológicos, **durante las prospecciones en terreno no se observaron fósiles en el área de influencia del Proyecto**, por parte de ninguno de los tres equipos que relevaron el área.

En la sección oeste en su parte más occidental, Punto 159, se observó que afloran rocas volcánicas andesíticas. Las áreas de la sección sur, mantienen el mismo marco geológico que las zonas anteriores. Sus características geológicas, indican una baja susceptibilidad de contener material fosilífero.

El área donde se considera la instalación de la Planta Concentradora, (Puntos 159, 225, 187) sólo se observaron rocas volcánicas andesíticas. Las características del área fueron corroboradas con los geólogos residentes de la Mina Quebrada Blanca, quienes confirmaron el hecho de que la zona no contiene material paleontológico.

Fotografía 3.7.2-1. Vista sureste Área Mina.



Fuente: Chong 2014.

El sector del futuro depósito de relaves fue inspeccionado en terreno por Paleosuchus (2016), levantando catorce puntos de control en esta área, los que permiten evaluar las condiciones geológicas y la eventual presencia de restos fósiles y/o unidades fosilíferas.

Fotografía 3.7.2-2. Vista panorámica del sector del futuro Depósito de Relaves.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 3.7.2-3. Arriba, punto de control 38. Se observan sedimentos de la unidad Depósitos Aluviales (Qal). Abajo, punto de control 39. Los Depósitos Aluviales cubren rocas de la unidad Ignimbrita Carcote (Tmic), que conforma principalmente la elevación al E de la Quebrada Blanca. Barra de escala = 5 m.



Fuente: Paleosuchus 2016.

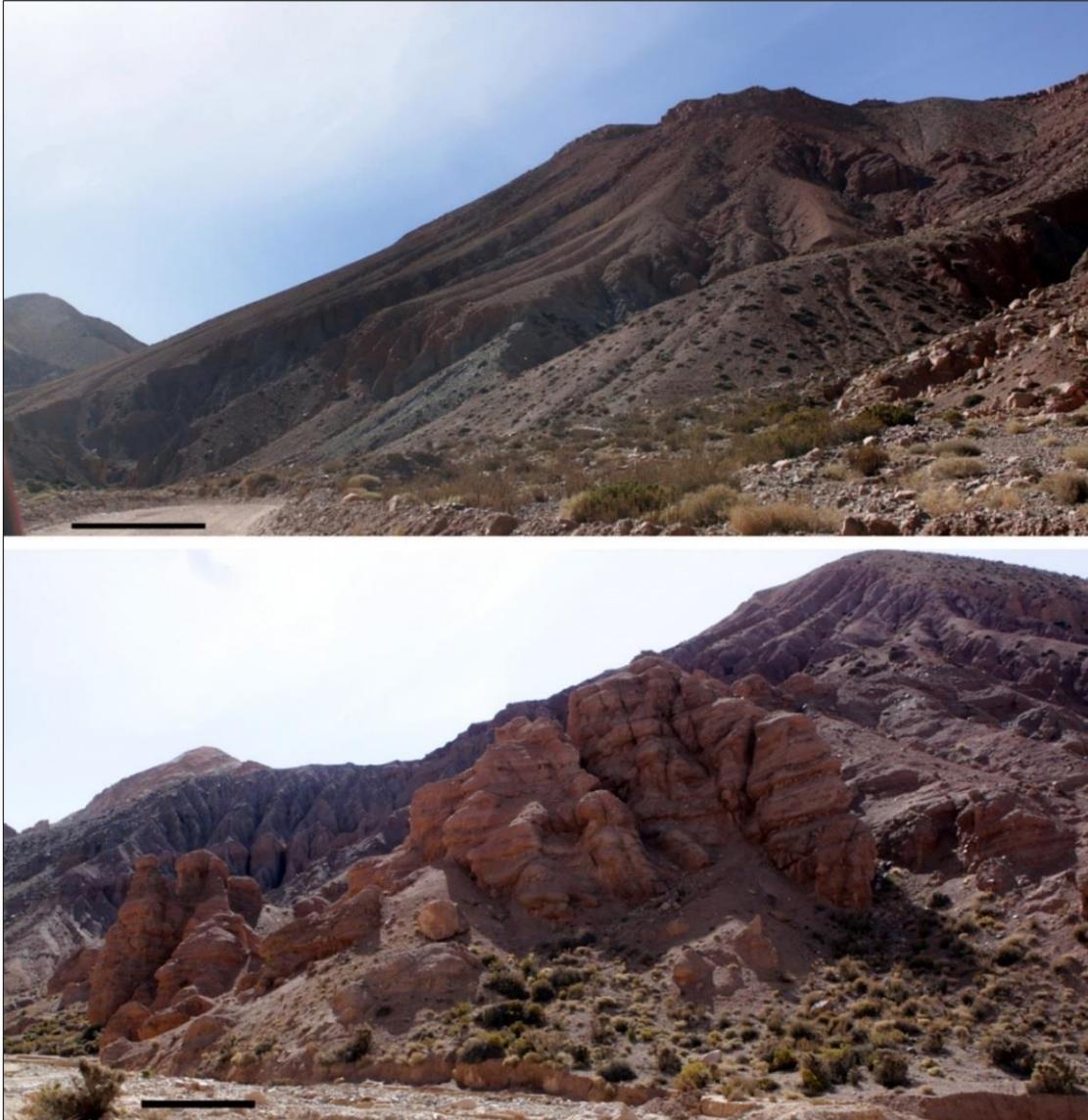
Fotografía 3.7.2-4. Punto de control 42 (arriba). Afloramiento masivo de la Ignimbrita Carcote (Tmic), parcialmente cubierto por Depósitos Aluviales (Qal). Punto de control 43 (abajo), material aluvial principalmente conformado por piroclastos erosionados a partir de la Ignimbrita Carcote y formando Depósitos de Piedemonte (Tsg).

Barra de escala = 5 m.



Fuente: Paleosuchus 2016.

Fotografía 3.7.2-5. Punto de control 44 (arriba), donde se observa la unidad Depósitos de Piedemonte (Tsg) cubriendo la Ignimbrita Carcote, en el margen E de la Quebrada Blanca. Punto de control 45 (abajo). Se observan en primer plano rocas sedimentarias continentales, referibles a la Formación Papajoy (TOp). Barra de escala = 5 m.



Fuente: Paleosuchus 2016.

Fotografía 3.7.2-6. Punto de control 48 (arriba), rocas intrusivas de la unidad Dioritas de Quebrada Blanca (Tdb) y/o Granodioritas El Escorial (Pzgdee) en vista al NE. Punto de control 49 (abajo), Depósitos de Piedemonte (Tsg) y Depósitos Aluviales (Qal) cubriendo las rocas intrusivas en el eje de la Quebrada Blanca. Barra de escala = 3 m.



Fuente: Paleosuchus 2016.

b) Área Obras lineales

Para el trazado de las obras lineales en el sector costero, no se ha hecho un trabajo geológico de detalle que llegue a definir formaciones y en general, sus terrazas marinas se correlacionan lito y bioestratigráficamente con unidades neógenas similares entre Cobija y Mejillones y las unidades de Caldera, Mejillones y Coquimbo (Ortlieb y Guzmán, 1994; Niemeyer et al., 1996 en Oliva, 2004). En áreas próximas a la Ruta 1, que las atraviesa, se observan horizontes fosilíferos hasta profundidades de 1 m en excavaciones y laboreos superficiales.

De lo que se puede observar, en este grado de detalle, los fósiles son principalmente bivalvos y gastrópodos. Autores como Padilla y Elgueta (1992), y Rivadeneira y Carmona (2008) reconocen decenas de taxas. La continuidad de estas terrazas, hace evidente que estos horizontes fosilíferos se extienden arealmente, bajo una cubierta aluvial y eólica muy delgada, como se confirma hacia el sur y norte de este sector.

En el Puerto de Patillos y lugares próximos, se han encontrado secuencias fosilíferas con diatomitas e invertebrados marinos, que se asignan al Mioceno – Plioceno - Cuaternario. También se ha asumido, a través de una línea sísmica en ese sector, la continuidad de estas unidades a profundidad (Padilla y Elgueta, 1992).

Desde el punto de vista paleontológico, el tramo inicial del concentraducto, considerando desde las Obras de Puerto hasta aproximadamente el km 3, es el área más sensible de esta obra lineal.

Esto se debe a que en el subsuelo del 80 - 90% del área de influencia, y a sólo centímetros bajo de los materiales aluviales y eólicos, se dispone un horizonte continuo de coquinas que se estiman, son del Cuaternario (ver Fotografía 3.7.2-7). Esto da cuenta de que es altamente probable que, ante cualquier obra de corte, los horizontes fosilíferos sean intervenidos.

Fotografía 3.7.2-7. Coquinas con fósiles del Cuaternario en la sección este de la Ruta 1.

Fuente: Chong 2014.

Esta zona, donde se intersectan las áreas de las tuberías (concentraducto y agua desalinizada) y Puerto, se ha comprobado la continuidad de las capas fosilíferas entre los Puertos de Patillos y Patache, es decir, corresponden a un basamento con fósiles del Neógeno – Cuaternario sensu Padilla y Elgueta, (1992) que está infrayaciendo a una delgada capa de sedimentos aluviales y eólicos. De acuerdo a estos antecedentes, es una zona con certeza de contener fósiles.

Fotografía 3.7.2-8. Fósiles del periodo Neógeno-Cuaternario.



Fuente: Chong 2014.

Las terrazas litorales, presentan la singularidad de contener abundantes fósiles marinos del Neógeno-Cuaternario, similares a los que se encuentran a lo largo de cientos de kilómetros del litoral del norte de Chile. Los niveles fosilíferos del Cuaternario siguen hacia el acantilado y se asume que éstos engranan, en el subsuelo, con los conos aluviales producto de la erosión del acantilado.

Se observa en las terrazas litorales, cómo las capas fosilíferas se van acuñando hacia el oeste, infra yaciendo las capas fosilíferas cuaternarias de las Terrazas Litorales. La continuidad del trazado a través del Acantilado Costero, se hace a través de rocas volcánicas y brechas, que no tienen relevancia paleontológica (ver Fotografía 3.7.2-9).

Fotografía 3.7.2-9. Rocas sedimentarias aluviales e intercalaciones de ceniza en el Acantilado Costero.



Fuente: Chong 2014.

Se puede considerar que el trazado entra a la Cordillera de la Costa, desde el borde del acantilado hacia el este, donde existe un relieve plano con cerros bajos y redondeados que sobresalen de la Pampa (ver Fotografía 3.7.2-10).

Fotografía 3.7.2-10. Vista sector Depresión Central.

Fuente: Chong 2014.

En esta zona, parte de las rocas, corresponden a sedimentitas marinas y a rocas sedimentarias con bajo grado de metamorfismo, principalmente silicificación, del Paleozoico (ver Fotografía 3.7.2-11). En el recuadro de la Fotografía 3.7.2-11, se observan las características de las rocas metamórficas del Paleozoico (Formación El Toco). Estos relieves sobresalen en las pampas al este del Salar Grande, y en ellos afloran rocas sedimentarias del Paleozoico y del Jurásico **donde no se han encontrado fósiles dentro del área de influencia**, por parte de ninguno de los tres equipos que prospectaron el área.

**Fotografía 3.7.2-11. Relieves aislados con rocas metamórficas y sedimentarias.
Fotografía del Punto 31 hacia el este.**

Fuente: Chong, 2014.

En este tramo de las obras del concentrado, se han encontrado afloramientos de rocas marinas del Jurásico, que poseen algunas características que sugieren la presencia de material fosilífero.

Así mismo, se debe considerar que en áreas muy próximas, en rocas similares, se han encontrado amonites y corales del Jurásico Medio, sin embargo, en el área de influencia éstos no fueron detectados¹.

Se estima que en esta zona, existe la posibilidad de encontrar fósiles marinos en rocas jurásicas. Sin embargo, la distribución de estos no es homogénea, tanto por condiciones de paleoambientes, como por los efectos tectónicos. **Considerando que en el área de influencia no se encontró material fosilífero en superficie**, sólo se considera la posibilidad de encontrarlos en eventuales excavaciones, esto hace que la potencialidad de encontrar fósiles sea media a baja. Desde el Punto 36 hacia el este, y hasta llegar a la Ruta 5, todo el trazado transcurre entre el límite oriental de la Cordillera de la Costa y la Pampa del Tamarugal. Se cortan pampas salitreras, afloramientos en relieves relativamente bajos, salares y suelos salinos (ver Fotografía 3.7.2-12).

En líneas generales, en la Cordillera de la Costa, el trazado es continuo a lo largo de relieves tipo pampa. Las rocas que se han encontrado entre los puntos 36 hasta 56, que es donde se intercepta la Ruta 5, son exclusivamente volcánicas e intrusivas, probablemente del Cretácico Superior - Paleógeno. **En todo este tramo, no se detectaron materiales fosilíferos.**

Al interior de la Pampa del Tamarugal, desde la Ruta 5 hasta el Cerro Challacollo (Puntos 67 hasta el 80, ver Fotografía 3.7.2-12), se reconocen pampas salitreras, aluvios y suelos salinos planos cubiertos de dunas. En Cerro Challacollo, fuera del área de influencia, hay rocas sedimentarias marinas de edad jurásica, donde no se observaron fósiles.

Fotografía 3.7.2-12. Vista sector de Pampa.



Fuente: Elaboración propia.

¹ A 1.9 km al norte del trazado de las Obras Lineales se detectó un afloramiento de la Formación Caleta Lígate, parcialmente cubierto por los depósitos más modernos (ver Anexo 3.7.2-2). En este punto se registraron restos rodados fragmentarios correspondientes a moldes negativos de bivalvos y restos de areniscas calcáreas que incluyen fragmentos de ostreoides (UTM 390833.18E / 7704083.43N)

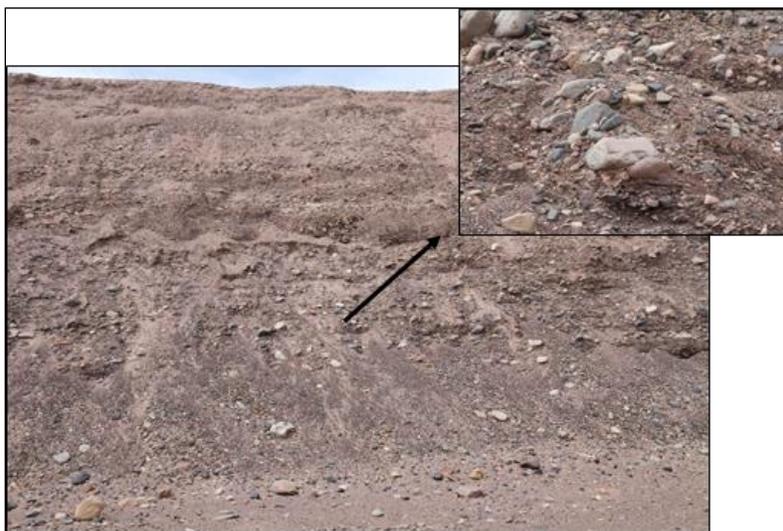
Desde el punto 88, el trazado del concentrado ya comienza la aproximación a la Precordillera, y se puede seguir a través de un camino que en partes está muy cubierto por dunas. En general el paisaje ya es de Precordillera y comienzan a aparecer las rocas mesozoicas del Jurásico y Cretácico debajo de las gravas, (ver Fotografía 3.7.2-13 y Fotografía 3.7.2-14), y las dunas neógenas.

Fotografía 3.7.2-13. Imagen tomada desde el punto 88 hacia el norte.



Fuente: Chong 2014.

**Fotografía 3.7.2-14. Gravas en el trazado del concentrado.
En el recuadro detalle de las gravas.**



Fuente: Chong 2014.

En todo el recorrido (ver Fotografía 3.7.2-15, si bien se revisaron rocas sedimentarias, que se han descrito como de la Formación Chacarillas de edad Jurásico - Cretácico, no se encontraron fósiles. No obstante, donde las obras atraviesan las unidades geológicas (unidad geológica JKqc), podemos señalar que se trata de una zona con certeza o alta probabilidad de contener fósiles,

dado que la Precordillera del norte chileno, es reconocida por sus localidades fosilíferas del Mesozoico. En dicha zona caso existen numerosos sectores con abundantes faunas fósiles de vertebrados e invertebrados marinos del Jurásico, especialmente superior, del Piso Oxfordiano y subordinadamente del Piso Caloviano.

Fotografía 3.7.2-15. Afloramiento de la unidad Chacarillas (JKqc).



Fuente: Yury 2015.

b.1) Variante A97-B

En este sector predominan en superficie las unidades Depósitos Aluviales (Qal), Depósitos de Piedemonte (Tsg) y Depósitos Aluviales Antiguos (PPIg). Las rocas del basamento están conformadas por unidades intrusivas como la Monzonita Cuarzifera (Tmc), que se encuentra aflorando frecuentemente en los márgenes del valle y/o sectores altos, y por rocas de la Formación Collahuasi. Hacia el norte, los intrusivos y dacitas respectivas se encuentran cubiertos por rocas piroclásticas de la unidad Ignimbrita Huasco (Tmih) (ver Fotografía 3.7.2-16 y Fotografía 3.7.2-17).

Fotografía 3.7.2-16. Rocas intrusivas expuestas en el área Variante A97-B. Punto de control 52 (arriba), afloramiento de la unidad Monzonita Cuarcifera (Tmc) al E del trazado. Punto de control 53 (abajo), afloramiento erosionado y rodados de granito, referibles a la unidad Monzonita Cuarcifera (Tmc). Barra de escala = 1 m.



Fuente: Paleosuchus 2016.

Fotografía 3.7.2-17. Punto de control 59 (arriba). Lomajes cubiertos por Depósitos de Piedemonte (Tsg), con afloramientos y rodados de granitos referibles al Granito Chara (Pzgch), indicando que las elevaciones corresponden a intrusivos. Punto de control 60 (abajo), Afloramiento y rodados de la unidad Ignimbrita Huasco (Tmih).

Barra de escala = 1 m.



Fuente: Paleosuchus 2016.

b.2) Camino de Acceso Antena Coposa (Variante A97-B)

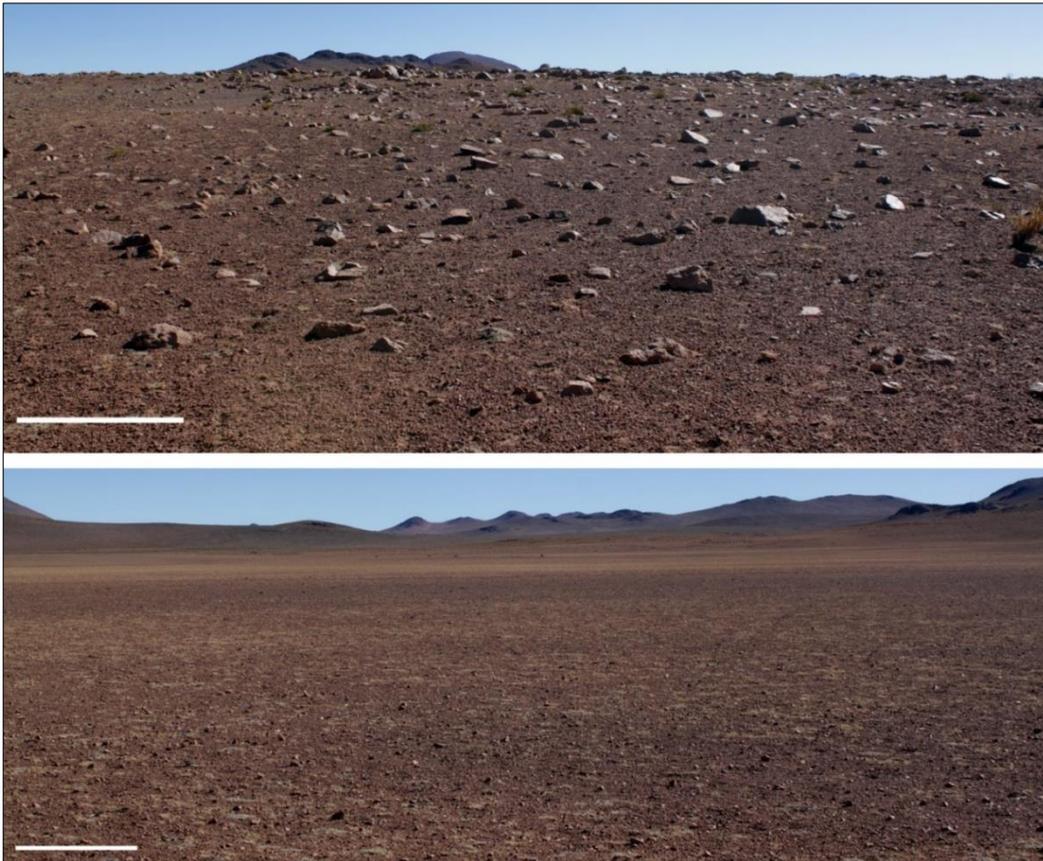
Para caracterizar este sector se levantaron ocho puntos de control (ver Fotografía 3.7.2-18 y Fotografía 3.7.2-19). Estos permiten reconocer que la roca del basamento corresponde principalmente a dacitas y riolitas de la Formación Collahuasi (Pzcr(s)), secundariamente a intrusivo de la unidad Granito Chara (Pzgch), y ambas estando cubiertas por Depósitos de Piedemonte (Tsg), Depósitos Aluviales Antiguos (PPIg), y Depósitos Aluviales (Qal) recientes.

**Fotografía 3.7.2-18. Punto de control 68 (arriba), mostrando un afloramiento de dacitas y riolitas de la Formación Collahuasi (Pzcr(s). Punto de control 69 (abajo). Depósitos de Piedemonte (Tsg) y Aluviales (Qal) conformando la parte baja del valle.
Barra de escala = 1 m.**



Fuente: Paleosuchus 2016.

Fotografía 3.7.2-19. Punto de control 70 (arriba), rodados y afloramiento erosionado de rocas intrusivas referibles a la unidad Granito Chara (Pzgch). Punto de control 71 (abajo), sedimentos de la unidad Depósitos Aluviales (Qal). Barra de escala = 1 m.



Fuente: Paleosuchus 2016.

c) Área Pampa

En este sector (ver Fotografía 3.7.2-20), el suelo está formado por material detrítico de naturaleza aluvial con abundante yeso cubriendo el fondo de amplias quebradas. Las paredes de estas quebradas están formadas por gravas aluviales con yeso como cemento y también como intercalaciones lenticulares. Toda la zona está constituida geológicamente por gravas, con abundante yeso en estratos decimétricos y como matriz y cemento, de edad Neógeno - Cuaternario. En una descripción algo más específica las rocas corresponden a gravas clasto soportadas o matriz soportadas; los estratos son métricos a decimétricos, con colores pardos en tonos claros y oscuros; hay depósitos de ríos trenzados, siendo en su mayoría del tipo flow debris. En partes existen intercalaciones de ceniza. Regionalmente se puede hablar de una morfología de pediplano, similar a las Gravas de Atacama. El yeso se asume procedente de la oxidación de azufre volcánico. Los lentes de sedimentos finos se interpretan como intercalaciones de playa lake. Eventualmente hay clastos redondeados a sub redondeados de tamaño superior a un metro.

Fotografía 3.7.2-20. Superficie del futuro campamento Pampa.



Fuente: Chong 2014.

Cabe mencionar que en esta área no existen posibilidades de encontrar material fosilífero dado la naturaleza de las rocas y su edad geológica, lo que genera una condición no apta para la presencia y conservación de fósiles, salvo en condiciones muy específicas. A su vez, de este tipo y edad de rocas existen miles de kilómetros cuadrados de afloramientos y, a la fecha, no se han encontrado fósiles en ellos.

d) Área Puerto

En el Puerto de Patillos cercano a Patache, y en varios sectores próximos, se describen secuencias fosilíferas con diatomitas e invertebrados marinos del Mioceno - Plioceno - Cuaternario, mayoritariamente pelecípodos y gastrópodos, explicitados en los trabajos de Padilla y Elgueta (1992) y Rivadeneira y Carmona (2008). En otros sectores, cercanos al área en cuestión, se encuentran rocas calcáreas jurásicas-fosilíferas (Fotografía 3.7.2-21). En la revisión de terreno se evidencian dos situaciones, la primera corresponde al registro de 10 hallazgos de material fósil marino, principalmente gastrópodos y bivalvos (arriba en el texto). La segunda, es determinar la existencia de material fosilífero sub superficial, es decir, aparece inmediatamente a centímetros de la superficie. Por ambos factores el área de Puerto, es una zona que tiene unidades geológicas que presentan elementos fosilíferos. La singularidad de esta unidad de terrazas litorales está asociada a la presencia de abundantes fósiles marinos que, en algunos lugares del litoral chileno norte constituyen localidades paleontológicas clásicas del Neógeno-Cuaternario.

Fotografía 3.7.2-21. Paleo arrecifes rodeados por niveles fosilíferos.

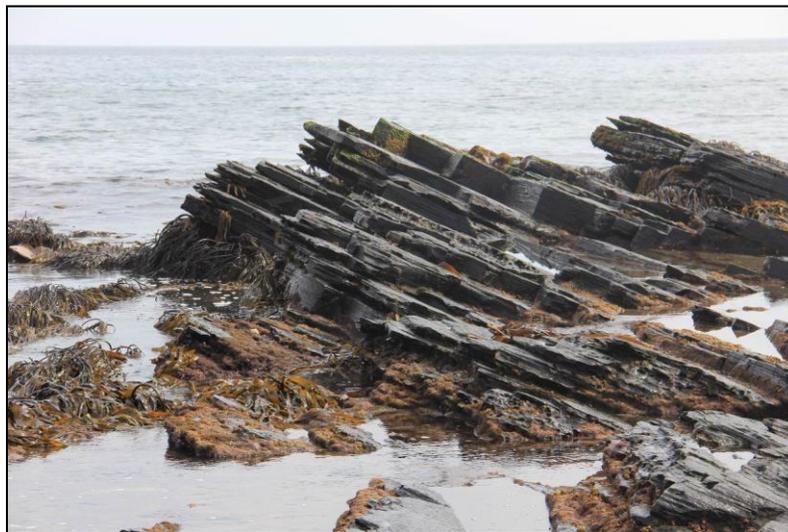


Fuente: Chong 2014.

Fotografía 3.7.2-22. Aspecto de las Terrazas Litorales.

Fuente: Chong 2014.

A partir de los hallazgos en las terrazas litorales, se establece que el área de influencia en este sector, presenta abundantes fósiles marinos del Neógeno-Cuaternario. Estos mismos fósiles abundan a lo largo de cientos de kilómetros del litoral chileno norte. En localidades como Caldera y la Península de Mejillones, existen localidades paleontológicas clásicas del Neógeno-Cuaternario.

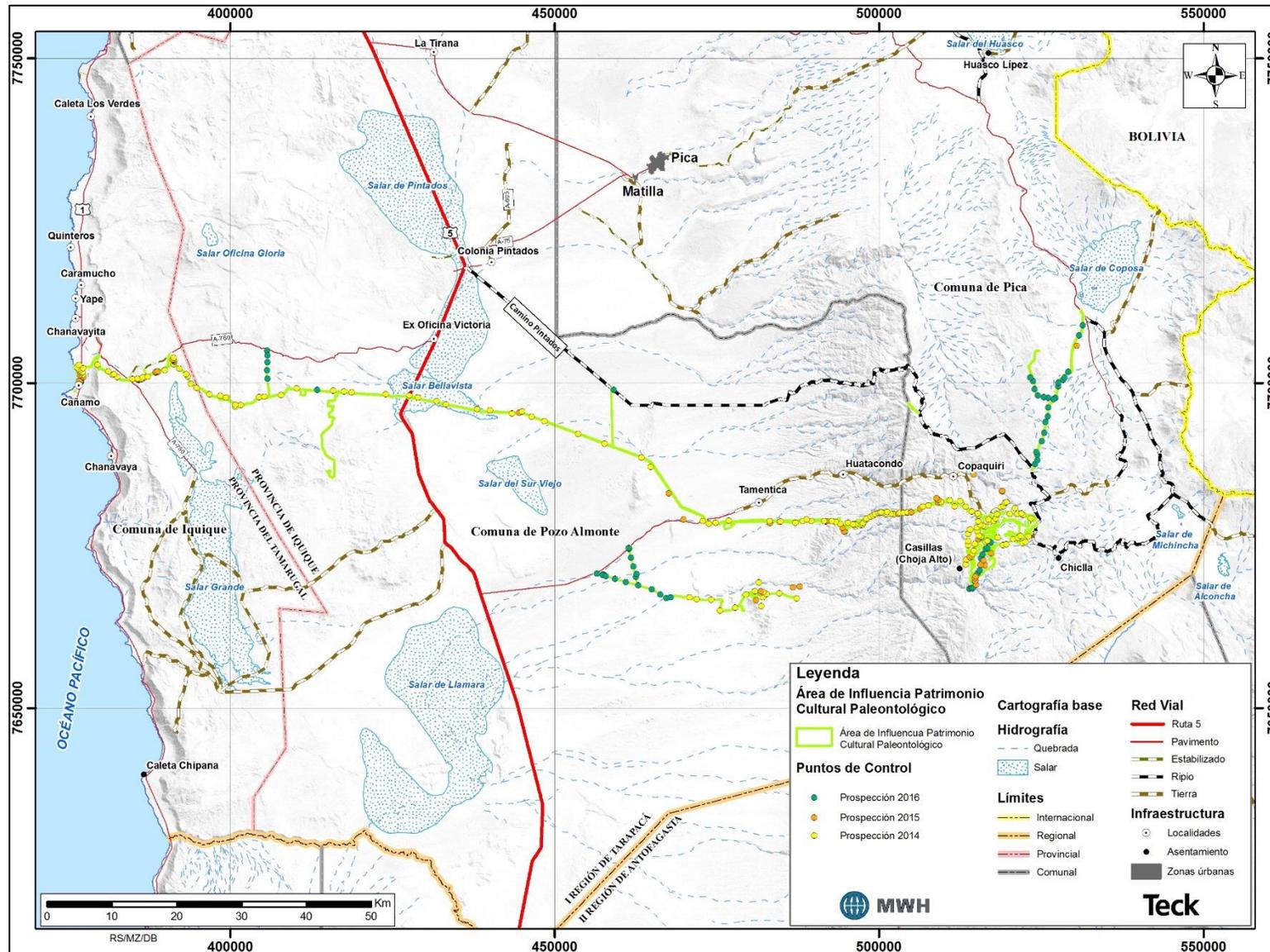
Fotografía 3.7.2-23. Basamento de rocas jurásicas fosilíferas de las Terrazas Litorales.

Fuente: Chong 2014.

3.7.2.4.6 Mapa compilatorio de sectores evaluados

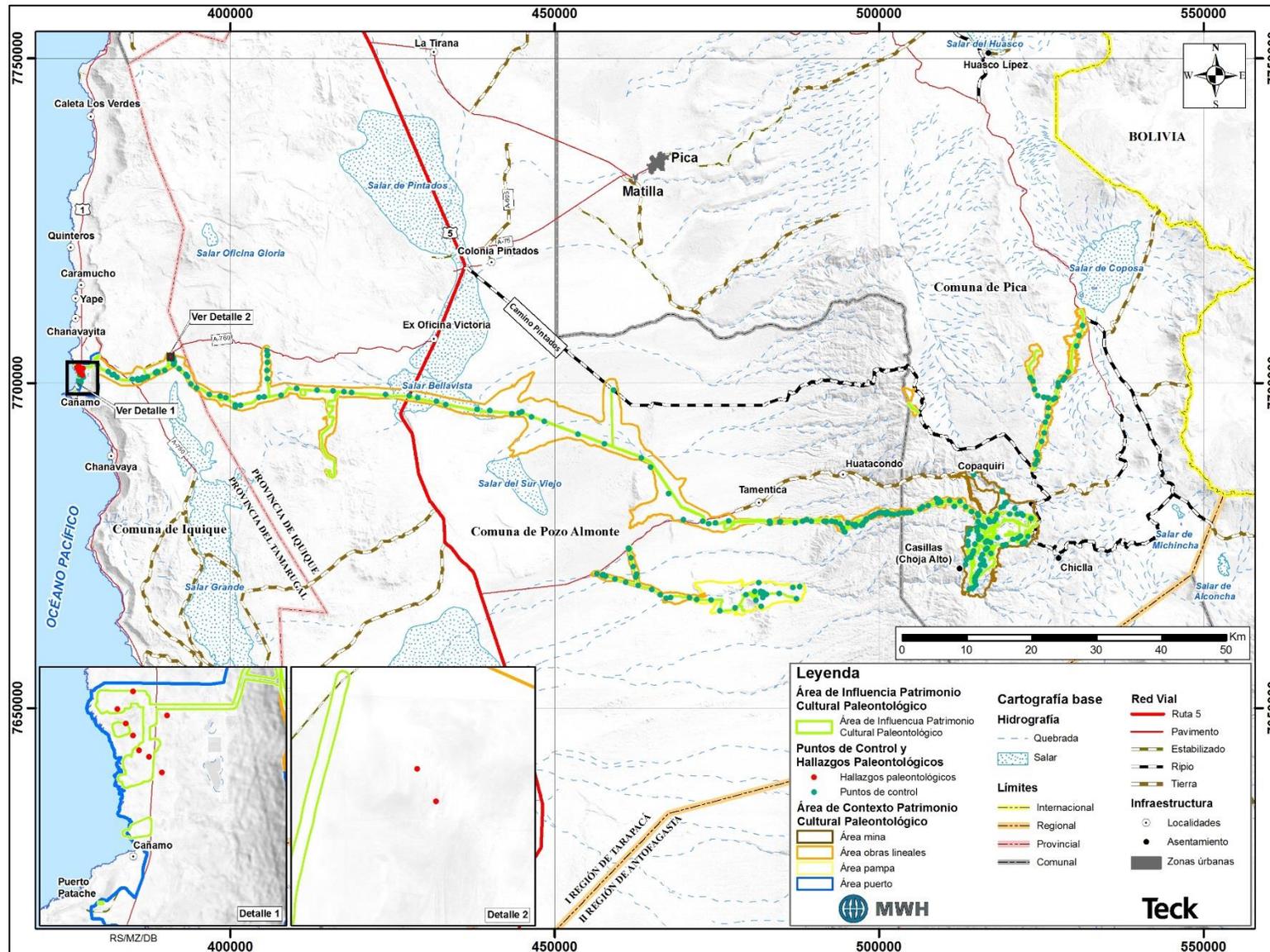
A continuación, se presentan las figuras con los puntos de control paleontológicos levantados en las distintas campañas de terreno y la distribución de los hallazgos paleontológicos:

Figura 3.7.2-11. Mapa de distribución de los puntos de control paleontológicos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.2-12. Mapa de distribución de los hallazgos paleontológicos realizados en terreno.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.2.4.7 Profundidad de las Obras Consideradas en el Proyecto

- a) Se presentan en el detalle de las profundidades consideradas para cada una de las obras contempladas en el Proyecto.

Tabla 3.7.2-4. Detalle de profundidades consideradas según tipo de obra proyectada en el Proyecto.

Área	Sub-Área	Oficinas	Profundidad	Aclaración
Mina	Mina	Rajo	720 m	desde la superficie, correspondiente a la cota 3.640 m.s.n.m.
	Depósito de relaves	Zanja interceptora de infiltraciones (bajo la huella del muro de partida)	20 m	
		Dren basal de fondo de valle (bajo la huella del muro de arena)	1.5 m	se ubica bajo la huella de crecimiento del muro de arena
		Dren bajo el relleno de roca del estribo izquierdo en Valle 3	3 m	
	Manejo de Agua	Zanja cortafugas	15 m	
		Pozos de bombeo en la zanja cortafugas	40	
		Pozos de monitoreo aguas debajo de la zanja cortafugas	40	
		Canal de contorno Este (existente a modificar) Tramo 1 Tramo 2 Tramo 3 Tramo 4 Tramo 5 Tramo 6 Tramo 7 Tramo 8	Tramo 1: 1 metros Tramo 2: 1.5 metros Tramo 3: 1.8 metros Tramo 4: 1.8 metros Tramo 5: 2 metros Tramo 6: 2 metros Tramo 7: 2 metros Tramo 8: 2 metros	
		Canal de Contorno Depósito de Relaves (proyectado) Tramo 1 Tramo 2	Tramo 1: 2.4 metros Tramo 2: 1.7 metros	
		Instalaciones auxiliares	Piscina de agua fresca (proyectada)	5 m

Área	Sub-Área	Oficinas	Profundidad	Aclaración
		Línea de transmisión 23 kV Depósito de Relaves	0.3 m	En el caso de la línea de media tensión (23 kV) del tramo 6 del área Mina – Depósito de Relaves, las huellas se derivarán del camino que se realice para la canaleta con un escarpe promedio de 3 metros de ancho y 0,3 metros de profundidad.
		Piscinas de agua de proceso	5 m	
Obras lineales	Sistema de Transporte de Concentrado (STC)	Tubería de transporte de concentrado	0.8 m a 1.2 m	aumenta en cruce de quebradas importantes
	Sistema de Transporte de Agua Desalinizada (STAD)	Tubería de transporte de agua desalinizada,	0.8 m a 1.2 m	aumenta en cruce de quebradas importantes
	Sistema de Suministro y Transmisión de Energía Eléctrica	Conexiones desde LAT del SING a subestaciones seccionadoras	0.6 m	
Puerto	Sistema de Desalinización de Agua de Mar	Sistema de captación de agua de mar	30 metros bajo el nivel del mar	Las tuberías estarán conectadas a una cámara de toma de agua de mar situada al fondo del lecho marino
		Sistema de descarga de afluente salino	40 bajo el nivel del mar	

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la cartografía geológica disponible, se cuenta con algunos perfiles con interpretaciones en profundidad. Vergara (1978) proporciona 3 perfiles (escala 1:50.000) para el Cuadrángulo Ujina. Dichos perfiles corresponden a los siguientes:

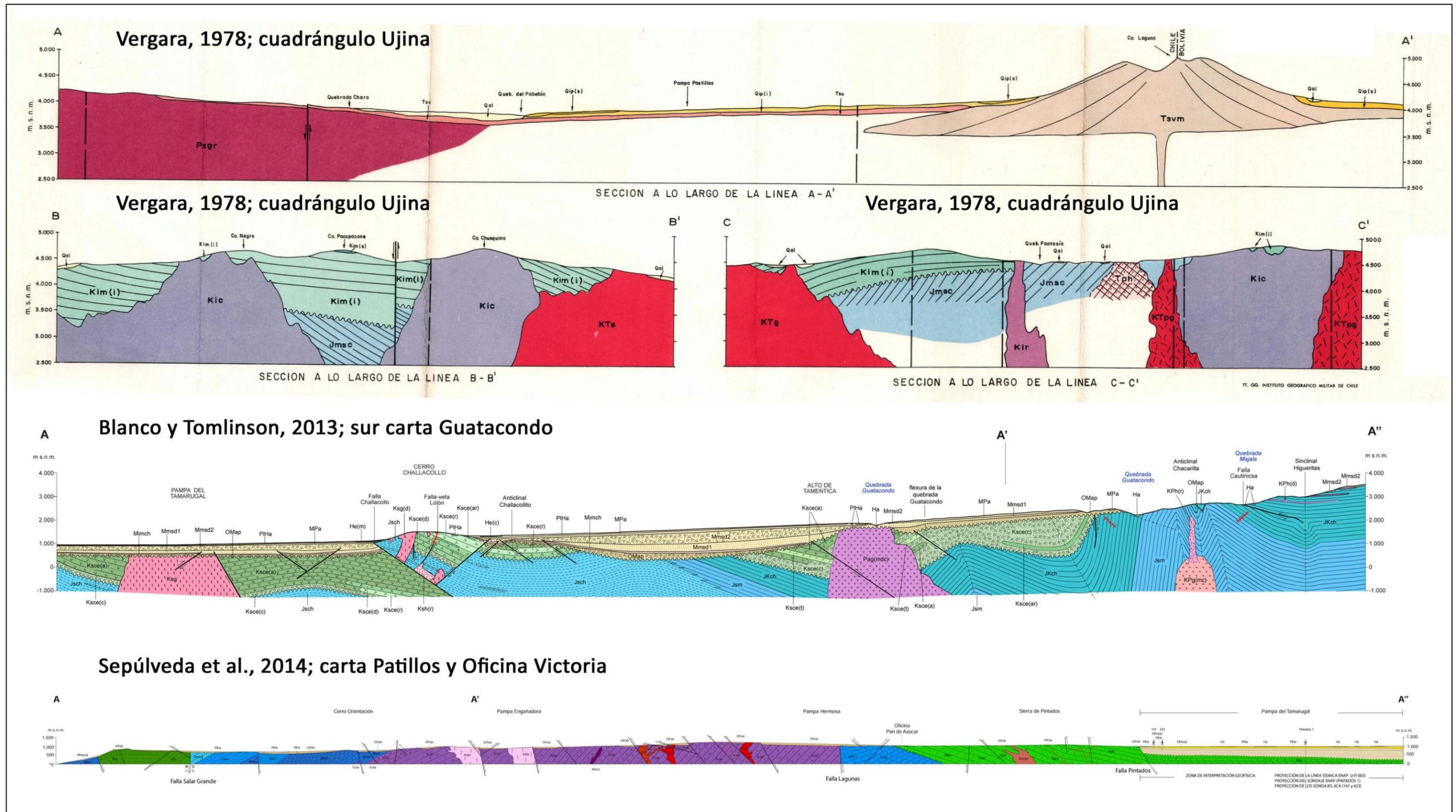
Perfil A-A': se desarrolla entre los 68°45'00"W y los 68°30'00"W, en sentido W-E a los 20°46'30"S; **Perfil B-B'**: se desarrolla desde los 68°45'00"W hasta los 68°39'00"W, y dispuesto diagonal entre los 20°52'00"S y 20°54'30"S; **Perfil C-C'**: Se desarrolla desde los 68°45'00"W hasta los 68°41'00"W. Se dispone en diagonal desde los 20°54'30"S hasta los 21°00'00"S. Se ilustran dichos perfiles en la Figura 3.7.2-13. A su vez, Blanco y Tomlinson (2013) proporcionan un perfil esquemático compuesto para la parte sur de la carta Guatacondo, el que se encuentra muy próximo al trazado del presente proyecto. Este perfil también se ilustra en la Figura 3.7.2-13. Para el sector costero, se cuenta con un perfil en Sepúlveda et al. (2014), el que también se incluye en la Figura 3.7.2-13.

De esta manera, se estiman las siguientes intervenciones sobre unidades geológicas locales:

- b) **Sector Mina:** Según el detalle de faenas, acá se consideran intervenciones de hasta 720 m de profundidad. De acuerdo a la información geológica compilada, las unidades sujetas a la mayor afectación corresponden a unidades sedimentarias que conforman los rellenos del valle, correspondientes a los Depósitos Aluviales del Mioceno Superior – Plioceno (MPa), y a la Formación el Diablo (Mmsd1 y Mmsd2). Hacia el margen oeste del Sector Mina, las excavaciones de mayor profundidad afectarán a los Granitoides del Paleoceno (Pag). A su vez, las excavaciones en el margen este podrían eventualmente intersectar niveles en profundidad de la Formación Chacarilla, sobre la base del perfil geológico W-E proporcionado por Blanco y Tomlinson (2013).

Las faenas de pozo también consideran intervenciones importantes (40 m). Del mismo modo, el levantamiento geológico disponible sugiere que las unidades intervenidas por tales obras corresponden a las unidades Depósitos Aluviales del Mioceno Superior – Plioceno (MPa), y a la Formación el Diablo (solo miembro Mmsd2). Finalmente, existen intervenciones consistentes en zanjados, variables entre 15 y 20 m. Estas representan una intervención de la unidad Depósitos Aluviales del Mioceno Superior – Plioceno (MPa).

Figura 3.7.2-13. Perfiles esquemáticos próximos al trazado del Proyecto.



Fuente: Paleosuchus 2016.

- c) **Obras Lineales:** Para estas se consideran intervenciones menores, no superiores a 2 m. Las unidades afectadas por estas intervenciones corresponden, de E a W, a los Depósitos Aluviales del Mioceno Superior – Plioceno (MPa); en el sector central de la Pampa, Granitoides del Cretácico Superior (Ksg), Formación Cerro Empexa (Ksce), y Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno (PIHa). Hacia el oeste, cercano a la Cordillera de la Costa, las faenas nuevamente intervendrían los Depósitos Aluviales del Mioceno Superior – Plioceno (MPa) y también los Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno (PIHa).
- d) **Sector Puerto y Cordillera de la Costa:** Este sector también considera obras en profundidad (30 y 40 m, respectivamente), sin embargo, estas son de carácter subacuático. Debido a esto, no existen datos públicos o de fuente Nacional/Estatal (i.e., Sernageomin) que describan las unidades geológicas presentes en este sector. Sin perjuicio de lo anterior, las unidades descritas en el borde costero y su génesis, sugieren que las faenas consideradas en este sector pueden intervenir a las siguientes unidades geológicas: Depósitos Litorales (PIHl); Depósitos de Guano (PIHg); y Depósitos de Remoción en Masa (PIHrm).

3.7.2.4.8 Análisis de Potencial Paleontológico

En base a lo señalado en la Guía de Evaluación de Impacto Ambiental. Artículo 11 de la ley N° 19.300 letra f) del Consejo de Monumentos Nacionales (SEA 2012), se presenta en la Tabla 3.7.2-5, la síntesis de las unidades geológicas intersectadas por el trazado del Proyecto. Para estas, se detalla el potencial fosilífero según su génesis. Además, en la Figura 3.7.2-14 se entrega la representación de las unidades con alto potencial fosilífero y su relación con las obras del Proyecto.

Tabla 3.7.2-5. Potencial fosilífero según unidad geológica presente en el trazado del Proyecto.

Dominio geomorfológico	Unidad litoestratigráfica	Edad	Origen	Antecedentes paleontológicos	Referencias	Reconocimiento de fósiles en terreno	Potencial paleontológico
Área Puerto y cordillera de la costa	Estratos De Sierra De Lagunas (TrJsl)	Triásico superior- Jurásico Inferior	volcano- sedimentario	no	—	—	susceptible ²
	Intrusivos hipabisales del Triásico superior- Jurásico Inferior (TrJh)	Triásico superior- Jurásico Inferior	intrusivo	no	—	—	nulo
	Formación Oficina Viz (Jimov)	Toarciano - Bajociano	volcánico (basaltos y lavas)	no	—	—	bajo
	Formación Caleta Lígate (Jmcl)	Bajociano - Aaleniano	sedimentario y secundariamente volcanosedimentario	si	Corvalán (1963); Kossler (1998); (Rubilar, 2014, en Sepúlveda et al., 2014).	—	alto
	Diorita Patache (Jsp)	Jurásico Superior	intrusivo	no	—	—	nulo
	Intrusivos Hipabisales del Cretácico Inferior bajo (Kibh)	Cretácico Inferior	intrusivo	no	—	—	nulo
	Formación Cerro Rojo (Kicr)	Jurásico Superior - Cretácico Inferior	sedimentario	no	—	—	susceptible

² “Susceptible” se aplica a la unidad que presenta un potencial fosilífero medio o bajo, es un concepto utilitario, no es un criterio en sí mismo. Es una herramienta que debe discutirse en cada caso, de acuerdo a los antecedentes paleontológicos existentes para cada unidad (Mourgues comunicación personal 2016).

Dominio geomorfológico	Unidad litoestratigráfica	Edad	Origen	Antecedentes paleontológicos	Referencias	Reconocimiento de fósiles en terreno	Potencial paleontológico
	Gravas de Alto Hospicio (OPah)	Oligoceno	sedimentario	no	—		susceptible
	Depósitos Litorales (PIHl)	Pleistoceno	sedimentario	si	Rubilar y Pérez (2007)	Chong, 2014; Yury, 2015; Paleosuchus, 2016	alto
	Depósitos de Guano (PIHg)	Pleistoceno – Holoceno	sedimentario	si	Sallaberry et al. (2015)	Yury, 2015	alto
	Depósitos de Remoción en Masa (PIHrm)	Pleistoceno - Holoceno	sedimentario	no	—		bajo
Pampa	Intrusivos Hipabisales del Cretácico Inferior bajo (Kibh)	Cretácico Inferior	intrusivo	no	—	—	nulo
	Formación El Diablo (Mmsd)	Mioceno medio - superior	sedimentario	no	—	—	bajo
	Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno (PIHa)	Pleistoceno - Holoceno	sedimentario	no	—	—	bajo
	Depósitos Salinos (PIHs)	Pleistoceno - Holoceno	sedimentario	no	—	—	bajo
Precordillera	Formación Chacarilla (JKch)	Jurásico Superior - Cretácico Inferior	sedimentario	si	Blanco et al. (2000); Rubilar-Rogers et al.; 2008; 2012); Moreno et al. (2012)	—	alto

Dominio geomorfológico	Unidad litoestratigráfica	Edad	Origen	Antecedentes paleontológicos	Referencias	Reconocimiento de fósiles en terreno	Potencial paleontológico
	Formación Cerro Empexa (Ksce)	Jurásico Superior - Cretácico Inferior	sedimentario y secundariamente volcanosedimentario	no	—	—	susceptible
	Intrusiones Hipabisales del Cretácico Superior (Ksh)	Cretácico Superior	intrusivo	no	—	—	nulo
	Granitoides del Cretácico Superior (Ksg)	Cretácico Superior	intrusivo	no	—	—	nulo
	Formación Altos De Pica (OMap)	Oligoceno - Mioceno	sedimentario y volcanosedimentario	no	—	—	susceptible
	Depósitos Aluviales Del Mioceno Superior- Plioceno (MPa)	Mioceno superior - Plioceno inferior	sedimentario	no	—	—	bajo
	Depósitos Eólicos Antiguos (MPe)	Mioceno superior - Plioceno inferior	sedimentario	no	—	—	susceptible
	Depósitos Aluviales Del Pleistoceno- Holoceno (PIHa)	Pleistoceno - Holoceno	sedimentario	no	—	—	bajo
	Depósitos Aluviales Activos (Ha)	Holoceno	sedimentario	no (restos orgánicos no tienen antigüedad suficiente para clasificar como fósil sensu stricto)	—	—	bajo

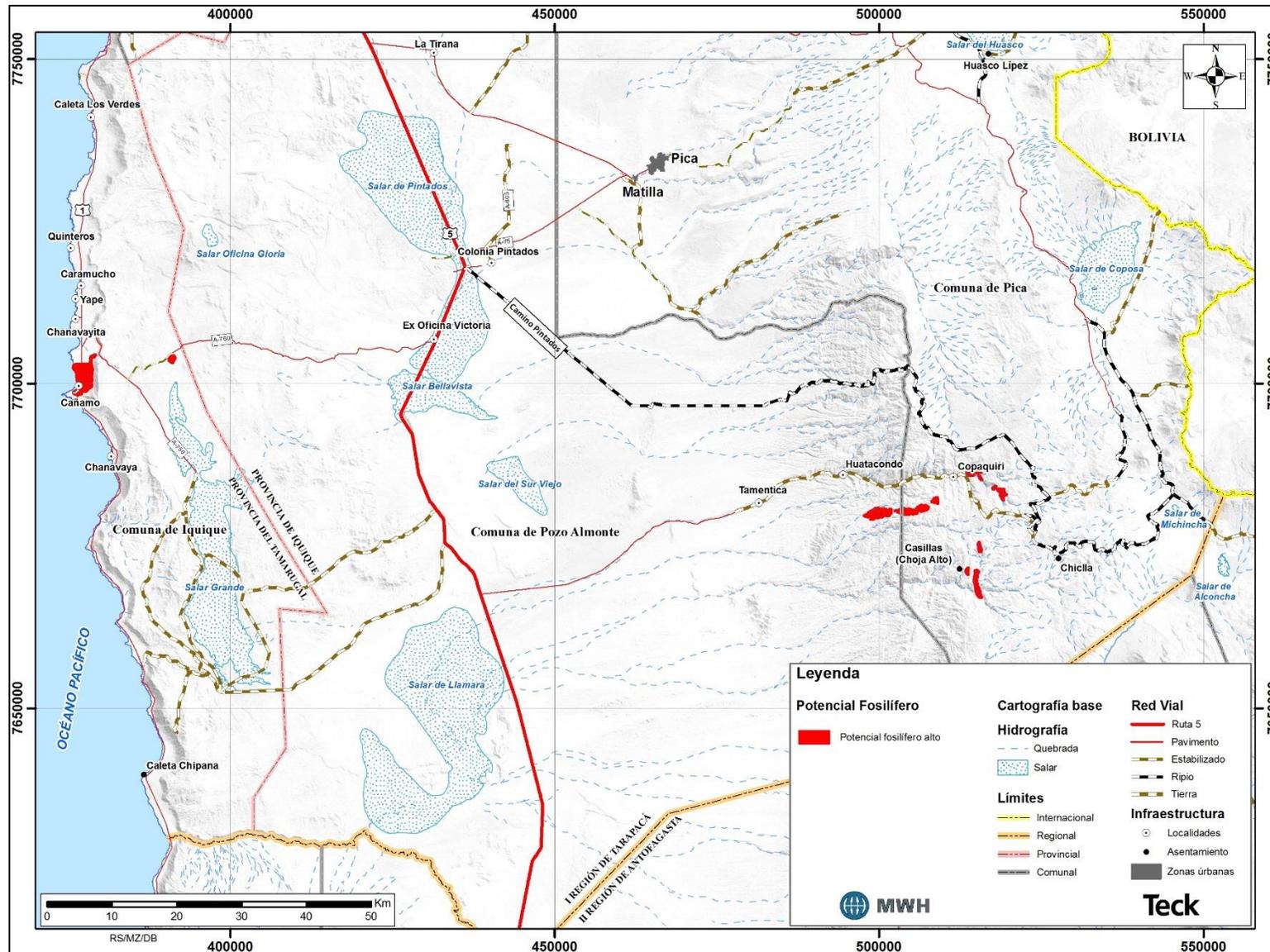
Dominio geomorfológico	Unidad litoestratigráfica	Edad	Origen	Antecedentes paleontológicos	Referencias	Reconocimiento de fósiles en terreno	Potencial paleontológico
	Depósitos Eólicos Activos (He)	Holoceno	sedimentario	no (restos orgánicos no tienen antigüedad suficiente para clasificar como fósil sensu stricto)	—	—	bajo
Cordones prealtiplánicos	Granito Chara (Pzgch)	Pérmico	intrusivo	no	—	—	nulo
	Granodiorita El Escorial (Pzgdee)	Pérmico	intrusivo	no	—	—	nulo
	Formación Collahuasi (Pzc)	Carbonífero - Pérmico	volcano-sedimentario	no	—	—	bajo
	Pórfidos Riolíticos (Pzpr)	Paleozoico superior	volcánico	no	—	—	bajo
	Formación Quehuita (JKq)	Jurásico Superior - Cretácico Inferior	sedimentario	si	Rubilar-Rogers et al. (2012)	—	alto
	Formación Cerro Empexa (KTe)	Jurásico Superior - Cretácico Inferior	sedimentario y secundariamente volcanosedimentario	no	—	—	susceptible
	Formación Tolar (KTt)	Cretácico Superior	sedimentario	si	Kellner et al. (2011); Rubilar-Rogers et al. (2012)	—	alto
	Formación Icanche (TEi)	Paleógeno	volcánico	no	—	—	susceptible

Dominio geomorfológico	Unidad litoestratigráfica	Edad	Origen	Antecedentes paleontológicos	Referencias	Reconocimiento de fósiles en terreno	Potencial paleontológico
	Monzodiorita cuarcífera (Tmdb)	Eoceno	intrusivo	no	—	—	nulo
	Granodioritas (Tgd)	Eoceno superior	intrusivo	no	—	—	nulo
	Complejo Intrusivo Quebrada Blanca (Tmcb)	Eoceno superior	intrusivo	no	—	—	nulo
	Formación Papajoy (TOp)	Oligoceno - Mioceno inferior	sedimentario	no	—	—	susceptible
	Ignimbrita huasco (TMih)	Mioceno inferior	volcánico	no	—	—	bajo
	Ignimbrita Carcote (TMic)	Mioceno superior	volcánico	no	—	—	bajo
	Depósitos de Piedemonte (Tsg)	Mioceno superior - Plioceno inferior	sedimentario	no	—	Chong (2014) reporta invertebrados marinos del Jurásico Superior a modo de rodados. Posiblemente provienen de las formaciones Quehuita o Cerro Empexa	susceptible (como unidad); posee potencial fosilífero dada la presencia de fósiles rodados de unidades mesozoicas
	Depósitos Aluviales Antiguos (PPIg)	Plioceno - Pleistoceno	sedimentario	no	—	—	bajo

Dominio geomorfológico	Unidad litoestratigráfica	Edad	Origen	Antecedentes paleontológicos	Referencias	Reconocimiento de fósiles en terreno	Potencial paleontológico
	Depósitos Coluviales (Qc)	Pleistoceno - Holoceno	sedimentario	no	—	—	bajo
	Depósitos Aluviales (Qal)	Pleistoceno - Holoceno	sedimentario	no	—	—	bajo

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.2-14. Unidades con alto potencial fosilífero y su relación con las obras del Proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.2.5 Síntesis y Conclusiones

Los distintos trazados de las obras propuestas incluyen rocas del paleógeno-neógeno y cuaternarias de las Terrazas Litorales; rocas paleozoicas y mesozoicas en la Cordillera de la Costa y mesozoicas en la Precordillera, susceptibles de contener material fosilífero. Los reconocimientos efectuados han demostrado la presencia de material fosilífero en sólo dos sectores; en el Área Puerto y un sector puntual asociado al Área Obras Lineales (ver Plano 3.7.2-9).

Para el **Área Mina** (que presenta las excavaciones de mayor profundidad; hasta 720 m), se intervendrán unidades de potencial fosilífero bajo, sin antecedentes paleontológicos conocidos (Depósitos Aluviales del Mioceno Superior – Plioceno–(**MPa**). Las excavaciones de mayor profundidad afectarán rocas con potencial nulo (i.e., Granitoides del Paleoceno (**Pag**), sin embargo, también pueden causar intervenciones a la Formación Chacarilla (**JKch**), la cual sí posee antecedentes paleontológicos, aunque distantes del trazado del presente Proyecto (23 km al norte).

Las observaciones realizadas en el Área Mina, indican que se trata exclusivamente de rocas volcánicas y sedimentarias clásticas. Si bien la génesis de estas rocas admite una susceptibilidad de hallazgos paleontológicos, durante las prospecciones en terreno no se observaron fósiles en el área de influencia del Proyecto, por parte de ninguno de los tres equipos que relevaron el área.

Las **Obras Lineales** consideran intervenciones menores, no superiores a 2 m, afectándose solo aquellas unidades geológicas expuestas en superficie. Sin embargo, los antecedentes geológicos y paleontológicos, relevaron que sectores de la zona precordillerana presentan un alto potencial fosilífero, asociado a afloramientos de las Formaciones Chacarilla y Quehuita. También, parte del trazado de las obras lineales en la precordillera, presenta unidades de potencial fosilífero bajo, sin antecedentes conocidos (Cerro Empexa (**KTe**), Depósitos Aluviales del Mioceno Superior – Plioceno (**MPa**); y Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno (**PIHa**). Secundariamente, el trazado en este sector intervendrá rocas con potencial fosilífero nulo (i.e., Granitoides del Cretácico Superior (**Ksg**).

En el **Área Pampa**, el suelo está formado por material detrítico de naturaleza aluvial con abundante yeso cubriendo el fondo de amplias quebradas. Las paredes de estas quebradas están formadas por gravas aluviales con yeso como cemento y también como intercalaciones lenticulares. Toda la zona está constituida geológicamente por gravas, con abundante yeso en estratos decimétricos y como matriz y cemento, de edad Neógeno – Cuaternario. Cabe mencionar que en esta área no existen posibilidades de encontrar material fosilífero dado la naturaleza de las rocas y su edad geológica, lo que genera una condición no apta para la presencia y conservación de fósiles, salvo en condiciones muy específicas.

Finalmente, el **Área Puerto y Cordillera de la Costa** constituyen áreas sensibles desde el punto de vista paleontológico. Acá existen unidades con antecedentes conocidos y que además han sido reconocidas como fosilíferas en los respectivos levantamientos de terreno realizados en el marco de este Proyecto. De este modo, se intervendrán las unidades de alto potencial fosilífero,

correspondientes a Depósitos Litorales (**PIHI**) y Depósitos de Guano (**PIHg**). Del mismo modo, también se intervendrán unidades de bajo potencial, sin antecedentes paleontológicos (i.e., Depósitos de Remoción en Masa (**PIHrm**)). Sin perjuicio de lo anterior, en el borde costero existen bajo las unidades sedimentarias cenozoicas unidades que corresponden a basaltos de la Formación Oficina Viz, y a rocas intrusivas de la unidad Diorita Patache (Jsp). La primera tiene un potencial muy bajo, mientras que la segunda posee un potencial nulo, dada su génesis.

Por otro lado, el hallazgo asociado a la Formación Caleta Lígate (JMcl) [Hallazgo Victoria 1, ver Anexo 3.7.2-2], fue registrado a 1,9 km del área de influencia, sin embargo gran parte de los afloramientos de esta formación están parcialmente cubiertos por depósitos de origen eólico reciente, en consecuencia, la abundancia relativa subsuperficial de restos fósiles en esta localidad pudiese ser mayor que lo observado en terreno.



Roberto Yury
Paleontólogo Responsable

3.7.2.6 Bibliografía

Andía, A. (2007). Geología de los depósitos de nitratos y sales asociadas del sector Oficina La Patria - Quebrada de Retamilla, primera Región de Tarapacá, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad Católica del Norte. Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas. Departamento de Ciencias Geológicas.

Blanco, N.; Tomlinson, A.J.; Moreno, K.; Rubilar, D.(2000). Importancia estratigráfica de las icnitas de dinosaurios de la Formación Chacarillas (Jurásico - Cretácico Inferior) Región de Tarapacá, Chile. *In* Congreso Geológico Chileno N° 9, Actas 1, 441 - 445. Puerto Varas, Chile.

Blanco, N.; Tomlinson, A.; Maksaev, V.; Grunder, A.L. (2001). Geología de la Precordillera Andina de Quebrada Blanca - Chuquicamata, Regiones I y II (20°30'-22°30'). Servicio Nacional de Geología y Minería, Cuadrángulo Ujina, escala 1:50.000. Informe Registrado IR-01-20. Santiago.

Blanco, N.; Tomlinson, A. (2001). Mapa Geológico del Cuadrángulo Copaquiri, región de Tarapacá escala 1:50.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-12-50, 246 p., 7 mapas escala 1:100.000, Santiago.

Blanco, N.; Vásquez, P.; Sepúlveda, F.A.; Tomlinson, A.J.; Quezada, A.; Ladino, M. (2012). Levantamiento geológico para el fomento de la exploración de recursos minerales e hídricos de la Cordillera de la Costa, Depresión Central y Precordillera de la Región de Tarapacá (20°-21°S). Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-12-50, 246 p., 7 mapas escala 1:100.000, Santiago.

Blanco, N.; Tomlinson, A. (2013). Carta Guatacondo, Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile N° 156, escala 1:100.000. Santiago.

Bogdanic, T.; Chong, G. (1985). Biostratigrafía del Jurásico de la Zona Preandina Chilena entre los 24° 30' - 25° 30' de Lat. Sur. Actas del Cuarto Congreso Geológico Chileno, Tomo I, pp. 3/550 - 3/578, Diágrams, mapas. Antofagasta.

Cabrera, L.I.; Chong, G.; Jensen, A.; Pueyo J.J.; Wilke, H. (1995). Cenozoic and Quaternary lacustrine systems in Northern Chile (Central Andes Arc and Forearc zones) Recent and Ancient lacustrine Systems in Convergent Margins. GLOPALS - IAS. Meeting Excursions Guidebook. Antofagasta, Chile.

Canto, J.; Yáñez, J.; Rovira, J. (2010). Estado actual del conocimiento de los mamíferos fósiles de Chile. Estudios Geológicos 66 (2) Julio - Diciembre. pp. 255 - 288.

Carvalho, I.S. (2010). Paleontologia – Volume 1: Conceitos e Metodos 3a edicao, Minas Gerais, 734 p.

Cecioni, G.; García, F. (1960). Observaciones geológicas en la Cordillera de la Costa de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas. Boletín N°6. 28p. Santiago.

CEHP, Centro de Estudios Humanos y Patrimoniales. (2014). Capítulo 3.6.2, Paleontología, pp. 3/1118–3/1128. *En Línea de Base Patrimonio Cultural, Estudio de Impacto Ambiental Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca*. 234 pp.

Charrier, R.; Chávez, A.; Elgueta, S.; Hérail, G.; Flynn, J.; Croft, D.; Wyss, A.; Riquelme, R.; García, M. (2005). Rapid tectonic and paleogeographic evolution associated with the development of the Chucal anticline and the Chucal-Lauca Basin in the Altiplano of Arica, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 19: 35-54.

Charrier, R.; Pinto, L.; Rodríguez, M.P. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. In: *The Geology of Chile* (Moreno, T.; Gibbons, W.; editors.). Geological Society, London, Special Publications, pp. 21-114.

Chong, G.; Mendoza, M.; García-Veigas, J.; Pueyo, J.J.; Turner, P. (1999). Evolution and geochemical forearc evaporitic basin, the Salar Grande (Central Andes of Chile) *En Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 151. 39- 54

Chong-Díaz, G. (2014). Línea Base Paleontología. In: *Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Minero Quebrada Blanca, Fase II*. MWH Chile, documento inédito. 34 pp.

SEIA. (2012). *Guía de Evaluación de Impacto Ambiental. Monumentos Nacionales pertenecientes al Patrimonio Cultural en el SEIA*. Servicio de Evaluación Ambiental (Chile). 29 pp.

Corvalán, J. (1963). Informe sobre fósiles de las minas Flora y Pericos y de quebrada al SW de Pachica, provincial de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas, 3 p. Santiago

Croft, D.; Flynn, J.; Wyss, A. (2004). Notoungulata and Litopterna of the Early Miocene Chucal Fauna, Northern Chile. *Fieldiana, Geology Series* 50: 58 pp.

Flynn, J.J.; Croft, D.; Charrier, R.; Hérail, G.; Wyss, A.. (2002). The first Cenozoic mammal fauna from the Chilean Altiplano. *Journal of Vertebrate Paleontology* 22:200-206.

Alberdi M.T.; Frassinetti, D. (2000). Presencia de *Hippidion* y *Equus* (*Amerhippus*) (Mammalia, Perissodactyla) y su distribución en el Pleistoceno Superior de Chile. *Estudios Geológicos* (España) 56: 279-290.

Galli, C. (1957). Las formaciones geológicas en el borde occidental de la Puna de Atacama, sector de Pica, Tarapacá. *Revista Minerale* N° 12, p. 19 - 26.

Galli, C. (1968). Cuadrángulo Juan de Morales, Provincia Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas. *Carta Geológica de Chile* N° 18, 53 p.

Galli, C.; Dingman R.J. (1962). Cuadrángulos Pica, Alca, Matilla y Chacarilla, con un estudio sobre los recursos de agua subterránea. Provincia de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas, *Carta Geológica de Chile*, N° 7 - 10, 125 p.

García, F. 1967. Geología del Norte Grande de Chile. Empresa nacional del Petróleo. Sociedad Geológica de Chile. Symposium sobre el Geosinclinal Andino, 1962. Santiago, Chile.

García-Veigas, J.; Chong, G.; Pueyo, J.J. 1996. Mineralogy and Geochemistry of Salar Grande salt rock (I Región de Tarapacá, Chile) Genetic Implications. Third International Symposium of Andean Geodynamics, Saint Maló, France.

Gómez, C. (2002). Geología del área Suroccidental del Salar Grande, Sectores Caleta Guanillo del Norte, Cerro Península y Sierra Guanillo, entre las coordenadas 7.650.000 - 7.662.999 N. Línea de costa y 402.000 E. Primera Región de Tarapacá, Chile. memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Ciencias Geológicas. Universidad Católica del Norte.

Gröschke, M.; Hillebrandt A.V.; Prinz, P.; Quinzio, L.A.; Wilke, H.G. (1988). Marine Mesozoic paleogeography in northern Chile between 21° - 26°S. In Lecture Notes in Earth Sciences (Balhburg, H, Breitschütz, C., Giese, P., Editors) Springer Verlag. 105. 117, Berlin.

Gutstein, C.S. y Valenzuela-Toro, A. (2015). Línea de Base Paleontológica. Anexo 3-8 Adenda EIA Espejo de Tarapacá. Consultora Paleosuchus Ltda. Disponible en Sistema de Evaluación Ambiental (Chile).

Hammerschmidt, K.; Dobel, R.; Friedrichsen, H. (1992). Implication of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of early Tertiary volcanic rocks from the north-Chilean Precordillera. *Tectonophysics* 202: 55-81.

Herbst, R.; Troncoso, A. (1996). La taoflora de Juan de Morales del Jurásico medio (Formación Chacarilla) Región de Tarapacá, Chile. *Revista Geológica de Chile*, Vo. 23, N° 7, pp. 3 – 15, 1 Fig., 2 Láminas.

Hillebrandt, A.V.; Gröschke, M.; Prinz, P.; Wilke, H. –G. (1986). Marines Mesozoikum in Nordchile zwischen 21° und 26°. *Berliner Geow. Abh., Reihe A, Bd. 66, Teil I, p. 169-190. Berlin.*

Kellner, A.W.A.; Rubilar-Rogers, D.; Vargas, A.; Suárez, M.E. (2011). A new titanosaur sauropod from the cretaceous of Atacama Desert, Chile. *Proceedings of the Third Gondwanan Dinosaurs Symposium. Anais da Academia Brasileira de Ciencias* 83(1): 211-219.

Kossler, A. (1998). Der Jura in der Küstenkordillere von Iquique (Nordchile) – Paläontologie, Lithologie, Stratigraphie, Paläogeographie. *Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen (A), Band 197, 226 Seite, 7 Abb., 6 Tab., 20 Taf., Berlin.*

Macci, A. (2004). Análisis morfotectónico de las inmediaciones del Salar Grande, I Región de Tarapacá, Chile. Tesis para optar al grado de Geólogo. Universidad Católica del Norte, inédito.

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° and 31°S. *Andean Geology* 41: 447-506.

Maksaev, V. (1978). Cuadrángulo Chitigua y sector occidental del Cuadrángulo Cerro Palpana, Región de Antofagasta. Carta Geol. de Chile N° 31, 1:50.000, 55 p. Inst. Invest. Geol., Santiago.

Maksaev, V. (1990). Metallogeny, geological evolution and thermochronology of the Chilean Andes between latitudes 21° and 24° South, and the origin of major porphyry copper deposits. Ph. D. Thesis. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada. August 1990.

Marquardt, C.; Marinovic, N.; Muñoz, V. (2008). Geología de las ciudades de Iquique y Alto Hospicio, Región de Tarapacá. Escala 1:25.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, serie Geología Básica N° 133. Santiago.

Masterman, G.L. (2003). Structural and geochemical evolution of the Rosario Copper-molybdenum porphyry deposit and related copper veins, Collahuasi District, Northern Chile. Doctorate Thesis (Unpublished), University of Tasmania: 253 p. Australia.

Moreno, K. (2001). Icnocenosis e icnofacies de la Formación Chacarillas (Jurásico Superior - Cretácico Inferior) Norte de Chile. In Reunión Argentina de Icnología N° 4 y Reunión de Icnología del Mercosur N° 2. Actas 59. Tucumán.

Moreno, K.; Rubilar, D.; Blanco, N. (2000). Icnitas de dinosaurios de la Formación Chacarilla, I y II Región, norte de Chile. Ameghiniana, Suplemento Resúmenes 37(4): 30R.

Moreno, K.; Blanco, N.; Tomlinson, A. 2004. New dinosaur footprints from the Upper Jurassic of northern Chile. Ameghiniana 41(4): 535-544.

Moreno, K.; Benton. M.J. 2005. Occurrence of Sauropod Dinosaurs tracks in the Upper Jurassic of Chile (Redescription of *Iguanodonichnus frenki*) Journal of Southamerican Earth Sciences 20 (3) 253 - 257.

Mourgues, A., De los Arcos, S. y Pérez, M. 2015. Línea de Base Paleontológica. Anexo 3.10 Adenda Complementaria EIA Espejo de Tarapacá. Terra Ignota. Disponible en Sistema de Evaluación Ambiental (Chile).

Mourgues, F.A.; Contreras, K. 2012. Relevamiento de Información Paleontológica en el marco del SEIA: Propuesta metodológica de procedimiento. En III Simposio Paleontología en Chile, Libro de Actas: 118-120.

Munizaga, F.; Maksaev, V.; Fanning, C.M.; Giglio, S.; Yaxley, G.; Tassinari, C.C.G. 2008. Late Paleozoic - Early Triassic magmatism on the western margin of Gondwana: Collahuasi area, Northern Chile. Gondwana Research 13: 407-427.

Niemeyer, H.; Venegas, R.; Baeza, L.; Soto, H. 1985. Reconocimiento geológico del sector suroccidental del Cuadrángulo Cerro Yocas, ubicado en la zona de falla Quebrada Blanca-Chuquicamata, Región de Antofagasta. Actas Cuarto Congr. Geol. Chileno, Tomo 4,p. 629-653. Antofagasta.

Niemeyer, H.; González, G.; Martínez de Los Ríos, E. (1996). Evolución tectónica cenozoica del margen continental activo de Antofagasta, norte de Chile. *Revista Geológica de Chile* 23: 165-186.

Oliva, J. (2004). Geología del Salar Grande en el sector comprendido entre las coordenadas 7.678.000 y 7.690.000 N y 396.000E y la línea de costa. primera Región de Tarapacá, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad Católica del Norte. Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas. Departamento de Ciencias Geológicas. Antofagasta.

Oliveros, V.; Morata, D.; Aguirre, L.; Féraud, G.; Formari M. (2007). Jurassic to Early Cretaceous subduction-related magmatism in the Coastal Cordillera of northern Chile (18°30'-24°S): geochemistry and petrogenesis. *Revista Geológica de Chile* 34 (2): 209-232.

Orrego, M. (1992). Estratigrafía y sedimentación de una secuencia triásico jurásica expuesta en el Cuadrángulo Cerro Yocas, Sierra de Moreno, Región de Antofagasta, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad Católica del Norte. Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas. Departamento de Ciencias Geológicas, Antofagasta.

Ortlieb, L.; Guzmán, N. (1994). La malacofauna pleistocena de la Región de Antofagasta: Variaciones en la distribución biogeográfica y potencial paleoceanográfico. *Actas VII Congreso Geológico Chileno*, Actas I: 498-502. Concepción.

Padilla, H.; Elgueta, S. (1992). Neogene marine deposits in the Caleta Patillos, northern Chile, their relationship with the Neogene sediments of the Península de Mejillones. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 19, N° 1, pp. 83 - 89, 2 Figs.

Rivadeneira, M.; Carmona, E. (2008). A Late Pleistocene macrobenthonic assemblage in Caleta Patillos, Northern Chile: paleoecological and paleogeographic interpretations. *revista Geológica de Chile* 35 (1) 163 - 173, January 2008.

Rubilar-Rogers, D. (2003). Registro de dinosaurios en Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural*, 52: 137-150.

Rubilar-Rogers, D. (2006). Icnitas de terópodos de la Formación Baños del Flaco (Jurásico Superior), Chile central. *In Congreso Geológico Chileno*, No.11, Actas 2: 117-120. Antofagasta.

Rubilar, D.; Moreno, K.; Blanco, N. (2000^a). Huellas de dinosaurios ornitópodos en la Formación Chacarilla (Jurásico Superior-Cretácico Inferior), I Región de Tarapacá, Chile. *In Congreso Geológico Chileno*, No. 9, Actas: A550-554. Puerto Varas.

Rubilar-Rogers, D.; Moreno, K.; Blanco, N.; Calvo, J.O. (2008). Theropod Dinosaur Tracks from the Lower Cretaceous of the Chacarilla Formation, Chile. *Revista Geológica de Chile* 35(1), p 173–184.

Rubilar, D.; Moreno, K.; Blanco, N.; Calvo, B. (2000b). Report of theropod trackways from Chacarilla Formation (Upper Jurassic- Lower Cretaceous?), Chile. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 20 (Supplement): 66A.

Rubilar, A.; Pérez, E. (2007). Identificación de fósiles del Jurásico Medio y Superior, recolectados al sureste de Iquique (este y sureste de Pozo Almonte; noreste y sureste de Cerro Gallinazos), Región de Tarapacá. Informe Paleontológico N° 2011-06, 9 p. Servicio Nacional de Geología y Minería, Inédito.

Rubilar-Rogers, D., Otero, R., Yury, R., Vargas, A., Gutstein, C. (2012). An overview of the dinosaur fossil record from Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 37:242-255.

Salinas, P.; Marshall, L.G.; Sepúlveda, P. (1991). Vertebrados continentales de Paleozoico y Mesozoico de Chile. In: *Actas VI Congreso Geológico Chileno*, pp. 310-313.

Sallaberry, M.; Soto-Acuña, S.; Yury, R.; Alarcón, J.; Rubilar-Rogers, D. (2015). Aves fósiles de Chile. En *Vertebrados Fósiles de Chile*. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural (Chile) 63: 265-291.

Sepúlveda, F.; Vásquez, P.; Quezada, A. (2014). Cartas Patillos y Oficina Victoria, Región de Tarapacá. Carta Geológica de Chile, Serie Geológica Básica N°s 167-168, Escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago.

Sernageomin. (2003). Mapa Geológico de Chile. Versión Digital. Publicación Geológica Digital N° 4. Base Geológica escala 1: 1.000.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, 23 pp. Santiago.

Skarmeta, J.; Marinovic, N. (1981). Hoja Quillagua. (Chile), Carta Geológica 51, scale 1:250.000. 63 pp. Instituto de Investigaciones Geológicas

Soto-Acuña, S.; Otero, R.A. (2014). Overview of the fossil crocodyliformes (Archosauria: Pseudosuchia) from Chile. IV Simposio - Paleontología en Chile, Libro de Resúmenes, p. 56. Valdivia, Chile, 8 al 10 de Octubre de 2014.

Soto-Acuña, S.; Otero, R.A.; Rubilar-Rogers, D.; Vargas, A. (2015). Arcosaurios no avianos fósiles de Chile. In: Rubilar-Rogers, D.; Otero, R.A.; Vargas, A.; Sallaberry, M. (eds.), *Vertebrados Fósiles de Chile*. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, 63: 209-263.

Tellez, C., (1986). Estratigrafía de la Formación La Negra en la Cordillera de la Costa a la latitud de Antofagasta, II Región, Chile. Tesis para optar al título de Geólogo. Universidad del Norte. Facultad de Ciencias. Departamento de Geociencias.

Thomas, A. (1970). Cuadrángulos Iquique y Caleta Molle. Provincia de Tarapacá. Carta Geológica de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas N° 21 - 22. 52 p.

Tomlinson, A.; Maksaev, V.; Blanco, N.; Grunder, A.L.; Dilles, J.H. (2001). Geología de la Precordillera Andina de Quebrada Blanca - Chuquicamata, Regiones I y II (20°30'-22°30'). Servicio Nacional de Geología y Minería, Cuadrángulo Quehuíta, escala 1:50.000. Informe Registrado IR-01-20. Santiago.

Tomlinson, A.J.; Blanco, N. (2008). Geología de la franja El Abra-Chuquicamata, II Región (21°45'-22°30'S). Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-08-35: 196 p. Santiago.

Valenzuela Toro, A.; Gutstein, C.S.; Suárez, M. E.; Otero, R.A.; Pyenson, N.D. (2015). Elephant seal (*Mirounga* sp.) from the Pleistocene of the Antofagasta Region, northern Chile. *Journal of Vertebrate Paleontology* 35

Vásquez, P.; Sepúlveda, F.A. (2013). Cartas Iquique y Pozo Almonte, Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica Nos. 162-163, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago. 163 p.

Vásquez, P.; Sepúlveda, F. (2012). Mapa geológico de Patillos, Región de Tarapacá. Escala 1:100000. Informe Registrado IR-12-50. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago.

Vásquez, P.; Sepúlveda, F., Nielsen, S. (2012). Morfoestratigrafía de las terrazas marinas en Punta Patache (20°49'S): Observaciones y edades 14C en guano fósil asociado. Congreso Geológico Chileno, 13, Antofagasta, Chile, 05-09 Agosto, 2012, pp.721-723

Vergara, H. (1978a). Cuadrángulo Quehuíta y sector occidental del Cuadrángulo Volcán Miño, Región de Tarapacá. Carta Geol. de Chile N° 32, 1:50.000, 44 p. Inst Invest. Geol., Santiago.

Vergara, H. (1978b). Cuadrángulo Ujina. Región de Tarapacá. Carta Geológica de Chile. Escala 1:50.000. N° 33. Instituto de Investigaciones Geológicas. Santiago de Chile.

Vergara, H.; Thomas, A. (1984). Hoja Collacagua, Región de Tarapacá. Carta Geológica de Chile. Escala 1:250.000. N° 59. Servicio Nacional de Geología y Minería.

Vogel, S.; Vila, T. (1980). Cuadrángulos Arica y Pucónchile. Región de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile), Carta Geológica de Chile N° 35, 24 p., 1 mapa escala 1:50.000. Santiago. Yugsi, F.X.; Hermanns, R.L.; Dehis, J.; Crosta, G.B.; Sossio, R.; Sepúlveda, S. 2012. Large rock avalanches in northern Chile, an integrated analysis towards regional hazard assessment. In Congreso Geológico Chileno N° 13, Actas 1027-1029. Antofagasta.

Yury, R.E.; Sallaberry, M.; Suárez, M.E.; Gutstein, C.S.; Rubilar-Rogers, D. (2012). Avifauna marina del Pleistoceno de la costa del desierto de Atacama, norte de Chile. XXVI Jornadas Argentinas de Paleontología de Vertebrados, 21 al 23 de mayo de 2012, Universidad Maimónides, Buenos Aires, Argentina. Simposio "Anatomía, Sistemática y Paleobiogeografía de las Aves de Antártida y América del Sur"

Yury, R.E. (2014). Informe de Paleontología. Anexo 3.21.3, Adenda I del Estudio de Impacto Ambiental Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca. 31 pp.

Yury, R.E. (2015). 3.7.2. Paleontología. En Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Minero Quebrada Blanca, Fase 2. MWH Chile, documento inédito. 105 pp.