



Anexo 5 Línea de Base Medio Físico

DIA Proyecto Línea de Transmisión Eléctrica Suministro Mina Cerro Negro Norte y Planta Desalinizadora Punta Totalillo

Región de Atacama

Julio de 2010

ÍNDICE

1. CLIMA Y METEOROLOGÍA	1
1.1. Clima.....	1
1.1.1 Clima Desértico con Nublados Abundantes (BWn).....	1
1.1.2 Clima Desértico Normal (BWk).....	1
1.2. Meteorología.....	3
1.3. Geología	5
1.3.1 Unidades Geológicas	5
1.4. Geomorfología.....	7
1.4.1 Contexto Regional	8
1.4.2 Contexto Local.....	9
1.4.2.1 Unidad 1: Planicies Litorales	10
1.4.2.2 Unidad 2: Cordillera de la Costa.....	11
1.4.2.3 Unidad 3: Pampa Ondulada	11
1.4.2.4 Unidad 4: Llanos de Sedimentación Fluvial	12
1.4.2.5 Unidad 5: Pampas Transicionales.....	12
1.4.3 Indicadores Morfológicos.....	12
1.4.3.1 Altitud.....	12
1.4.3.2 Pendiente.....	14
1.4.3.3 Orientación y Exposición	15
1.5. Edafología.....	17
1.5.1 Contexto Regional	17
1.5.2 Contexto Local.....	18
1.5.3 Erodabilidad y Erosividad	20
1.6. Hidrología	23
1.6.1 Río Copiapó.....	23
1.6.2 Quebradas Intermitentes	24
1.7. Hidrogeología	26
1.7.1 Contexto Regional	26
1.7.2 Contexto Local.....	27
1.8. Riesgos Naturales	29
1.8.1 Sismos.....	29
1.8.2 Volcanes	31
1.8.3 Tsunamis	31
1.8.4 Remoción en Masa.....	32
1.8.4.1 Flujos de Barro	32
1.8.4.2 Aluviones	33

1.8.4.3 Subsistencia y Hundimiento	33
--	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Precipitación registrada en la Estación Caldera para el período 2006-2009.....	4
Tabla 2: Variables meteorológicas estación Copiapó para el periodo 2002-2004.....	4
Tabla 3: Clasificación de Pendientes según Araya y Börgel (1972)	14
Tabla 4: Caudales instantáneos mensuales (m ³ /seg), estaciones Copiapó y Angostura.....	23
Tabla 5: Perfiles hidrogeológicos existentes en el área del proyecto	27
Tabla 6: Registro de terremotos en zona costera de la Región de Atacama	30
Tabla 7: Registro de tsunamis en la Región de Atacama	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clima regional	2
Figura 2: Temperaturas registradas en la Estación Caldera para el periodo 2006-2009	3
Figura 3: Geología en el área del Proyecto.....	6
Figura 4: Relieve Regional	9
Figura 5: Geomorfología en el área del Proyecto	10
Figura 6: Altitud en área del Proyecto	13
Figura 7: Pendientes en área del Proyecto	15
Figura 8: Orientación de laderas en área del Proyecto.....	16
Figura 9: Suelos en el área del Proyecto	19
Figura 10: Erodabilidad del área del Proyecto	21
Figura 11: Erosividad del área del Proyecto	22
Figura 12: Hidrografía del área del Proyecto	25
Figura 13: Hidrogeología del área del Proyecto.....	28
Figura 14: Distribución de los epicentros de los sismos (1964-1995)	30

1. CLIMA Y METEOROLOGÍA

1.1. Clima

En términos generales, las condiciones climáticas en la Región de Atacama son estables durante el año, con predominio de las condiciones anticiclónicas, alta radiación solar e insolación, atmósfera limpia con gran coeficiente de transmisión; sólo con una pequeña variación en el invierno en donde se producen precipitaciones ocasionales, las cuales no logran alterar la condición del paisaje marcado por la carencia de recursos superficiales y la sequedad del desierto.

Según la clasificación de Köppen, el proyecto se inserta dentro de dos zonas climáticas: La zona de Clima Desértico con Nublados Abundantes (BWn) y la zona de Clima Desértico Normal (BWk)¹ (Figura 1).

1.1.1 Clima Desértico con Nublados Abundantes (BWn)

Está presente en todo el sector costero de la región y penetra hasta las proximidades de Copiapó y Vallenar, ya que el relieve no presenta barreras a la influencia marítima. Se caracteriza por abundante y densa nubosidad que se presenta durante la noche y disipa durante la mañana, a veces acompañada de intensas nieblas y lloviznas. Esto también define una alta cantidad de días nublados y pocos días despejados.

La influencia oceánica produce un régimen térmico moderado con poca amplitud térmica tanto diaria como anual. Las precipitaciones son mayormente de tipo frontal y aumentan de norte a sur.

1.1.2 Clima Desértico Normal (BWk)

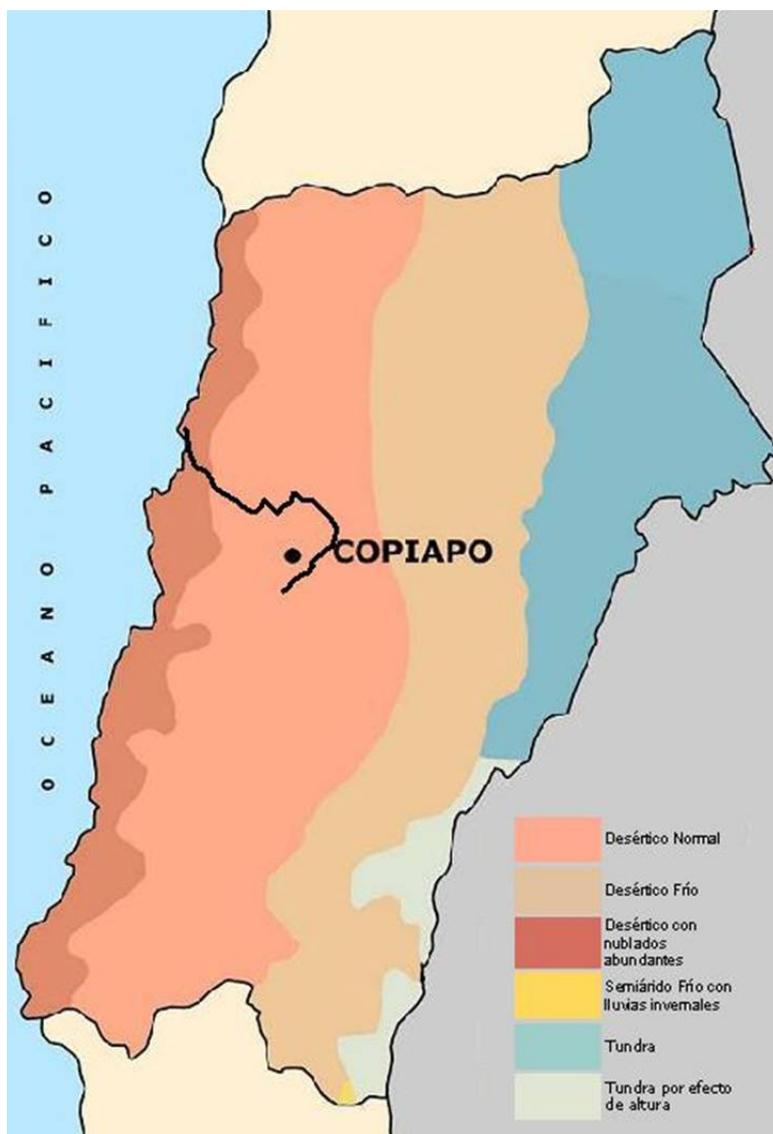
Sobrepasando la Cordillera de la Costa, este clima se desarrolla en la depresión intermedia. De Copiapó al norte es de una rigurosa sequedad, en cambio de Copiapó al sur, la inexistencia de la Cordillera de la Costa permite alguna forma de efecto marítimo en la humedad sin nubosidad, que atenúa las características desérticas. Aún así, la evaporación supera la precipitación y las formaciones vegetales son escasas, salvo por estepas en sectores bajos.

Existe una gran limpidez de la atmósfera, baja humedad relativa, fuerte oscilación térmica diaria y carencia casi absoluta de precipitaciones, las que se dan en forma torrencial cada cierta cantidad de años

¹ Fuenzalida, H. 1965. Clima. En: Geografía Económica de Chile. Texto Refundido. Corporación de Fomento de la Producción. Stgo. Pp: 99-126

sin obedecer a ningún patrón establecido. Las precipitaciones aumentan con la latitud y con la altura, concentrándose en los meses de invierno.

Figura 1: Clima regional



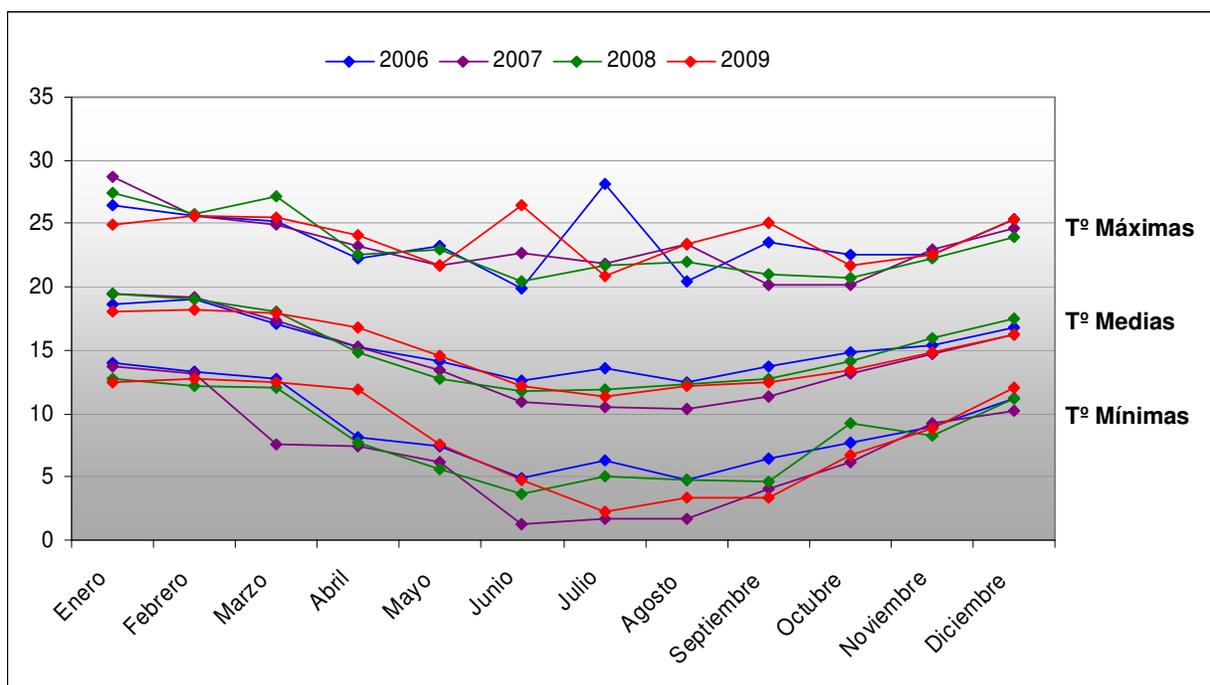
— Línea Eléctrica. Fuente: www.mapasdechile.com/clima_region03

1.2. Meteorología

La descripción meteorológica se realizó a partir de las estaciones de monitoreo Caldera de Atacama (27°15'41" Sur y 70°46'45" Oeste) y Copiapó (27° 18' Sur y 70° 25' Oeste) respectivamente.

La estación Caldera registra para los últimos 4 años una temperatura media de 14,9° C, siendo la máxima registrada en este período de 28,7° C en el mes de enero del año 2007 y una mínima de 1,3° C en el mes de junio de este mismo año. Como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la temperatura promedio para el sector se registra sobre los 10° C a lo largo de todo el año y en todo el periodo, mostrándose relativamente uniforme a lo largo de todo el año, lo que habla de una amplitud térmica poco significativa, característica del clima descrito para la zona. A lo largo de todo el año se registran temperaturas máximas por sobre los 20° C.

Figura 2: Temperaturas registradas en la Estación Caldera para el periodo 2006-2009



Fuente: www.clima.meteored.com

En relación a las precipitaciones, se registran entre los meses de abril a septiembre, concentrándose principalmente en el mes de julio. Como indica en la Tabla 1, los años 2007 y 2009 fueron

particularmente secos en comparación con los años 2006 y 2008. Esto concuerda con información histórica que indica una sucesión de años lluviosos –con precipitaciones promedio de alrededor de 18 mm anuales – intercalados por un par de años secos.

Tabla 1: Precipitación registrada en la Estación Caldera para el período 2006-2009

Precipitación (mm)	2006	2007	2008	2009
Enero	3,0	0,0	0,0	0,0
Febrero	0,0	0,0	0,0	1,0
Marzo	0,5	0,0	0,0	0,0
Abril	0,2	0,2	1,2	0,2
Mayo	1,0	0,5	1,0	0,2
Junio	0,7	0,2	2,2	0,5
Julio	9,9	0,5	8,1	0,0
Agosto	0,5	0,5	0,2	0,0
Septiembre	4,3	0,2	0,2	0,0
Octubre	0,5	0,5	0,0	0,0
Noviembre	0,0	0,7	3,0	0,0
Diciembre	0,0	0,0	0,7	0,0
Anual	20,60	2,8	16,6	1,9

Fuente: www.clima.meteored.com

La estación Copiapó cuenta solo con información para el período 2002-2004. La temperatura promedio para el periodo se registra en 18,1° C con una amplitud térmica anual que oscila entre los 7 y 9° C. Las precipitaciones se concentran en los meses de Julio y Agosto, presentándose gran parte del año sin éstas.

Tabla 2: Variables meteorológicas estación Copiapó para el periodo 2002-2004

Mes	2002		2003		2004	
	T ^o media °C	Pp (mm)	T ^o media °C	Pp (mm)	T ^o media °C	Pp (mm)
Enero	22,2	0,0	21,8	0,0	22,6	0,0
Febrero	22,1	0,0	21,5	0,0	21,9	0,0
Marzo	21,4	0,0	20,2	0,0	20,9	0,0
Abril	17,7	2,2	17	0,0	19,2	0,0
Mayo	16,1	0,5	14,6	0,0	15,8	0,0
Junio	13,0	0,0	14,4	0,0	15,1	0,0
Julio	14,2	8,8	13,4	0,0	15,0	7,1

Mes	2002		2003		2004	
	Tº media °C	Pp (mm)	Tº media °C	Pp (mm)	Tº media °C	Pp (mm)
Agosto	15,2	10,6	14,9	0,0	15,9	5,0
Septiembre	16,0	0,0	15,7	0,0	17,1	0,0
Octubre	18,4	0,0	17,9	0,0	18,4	0,0
Noviembre	19,5	0,0	19,6	0,0	19,9	0,0
Diciembre	20,7	0,0	20,4	0,0	21,7	0,0
Anual	18,04	22,10	17,62	0,00	18,63	12,1

Fuente: www.clima.meteored.com

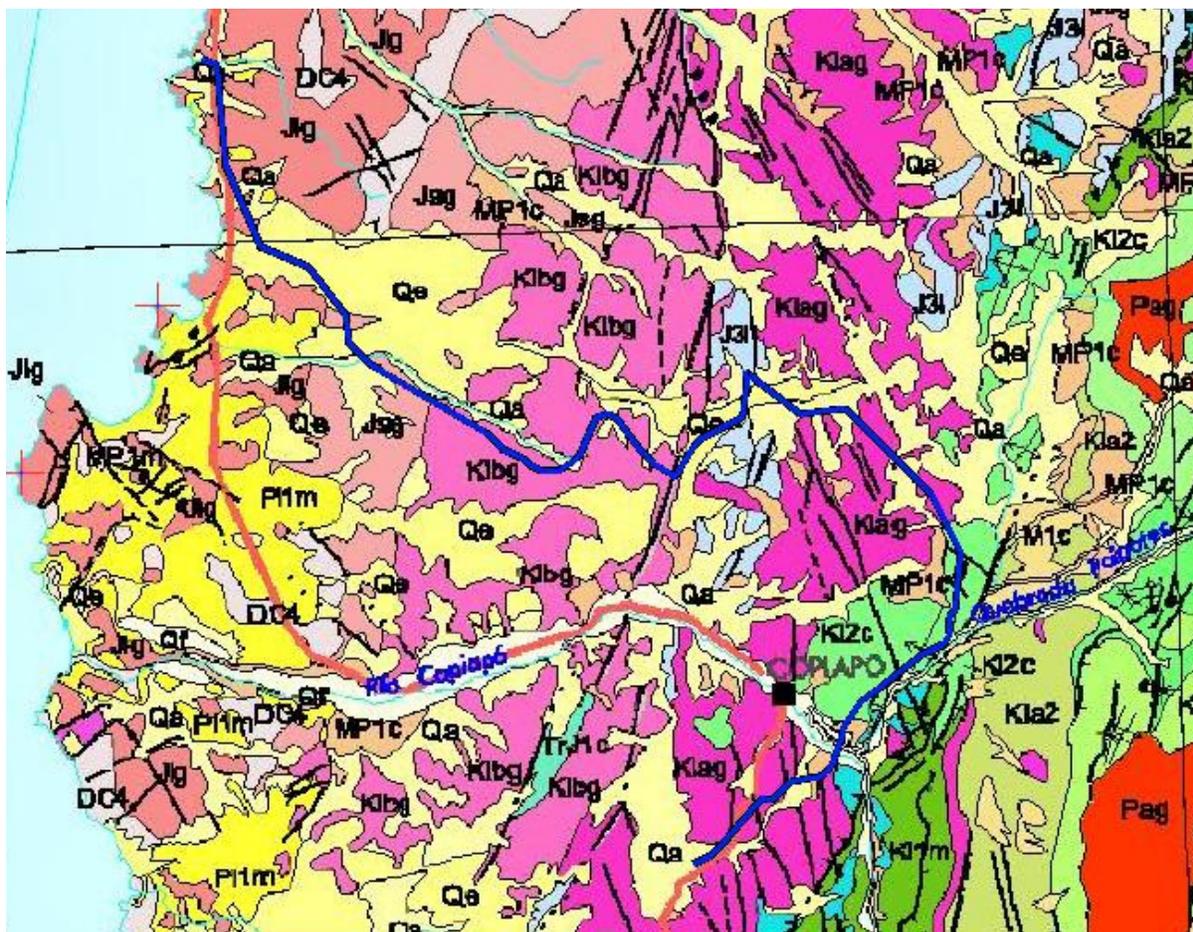
1.3. Geología

La definición de la geología del área del proyecto se basó en información aportada por la carta geológica del SERNAGEOMIN (2003). No se definen áreas de influencia ya que las obras del proyecto no generarán efectos directos o potenciales sobre este componente ambiental.

1.3.1 Unidades Geológicas

Los distintos afloramientos por los que atraviesa el trazado de la línea eléctrica se observan en Figura 3. Se distinguen así siete unidades con diferentes características geológicas.

Figura 3: Geología en el área del Proyecto



— Línea Eléctrica. Fuente: Mapa Geológico de Chile, SERNAGEOMIN

En el sector de Totalillo, se desarrolla una planicie con sectores de depósitos aluviales, subordinadamente coluviales y lacustres (**Qa**), formados por gravas de mala selección, pseudo estratificadas, que incluyen pequeños lentes de arenas y limos derivados de dos quebradas importantes existente en el área: quebrada Pajonales y quebrada Lechero Amarrado. Así mismo, en la zona se reconocen depósitos aluviales inactivos pertenecientes al Pleistoceno.

El trazado continúa emplazándose en una zona en la que predominan las rocas y los materiales intrusivos, con dioritas, grabos y monzodioritas de piroxeno (**Jlg**), en cuyo sector occidental, de grano

grueso, se reconocen sectores de texturas porfídicas y en el sector oriental desarrolla una textura más fina.

En adelante, el trazado de la línea cruza un sector de dunas activas y una zona de mantos de arena (**Qe**), ambas de edad Cuaternaria. Estas arenas se identifican con un sedimento híbrido, constituido por componentes clásticos calcáreos muy abundantes, a veces dominantes, y componentes fundamentalmente monominerales, mientras que los líticos se notan por su escasez.

En su recorrido sobre la zona dunaria, el trazado pasa por áreas con diferentes características geológicas: rocas intrusivas que datan del Jurásico medio-superior (Jsg), como monzodioritas cuarcíferas, dioritas y granodioritas de biotita, piroxeno y hornblenda.

Ya como parte de la depresión intermedia, antes y después de pasar por el sector de Cerro Negro Norte, las zonas de rocas intrusivas que aparecen son del Cretácico (**Kibg** y **Kiag**), con monzodioritas y dioritas de piroxeno, hornblenda o biotita, granodioritas, tonalistas, monzogranitos de hornblenda y biotita, asociadas al sistema de Fallas Atacama – El Romeral. Posterior a esto, la sección del trazado que pasa más cerca de Copiapó se emplaza sobre una zona que involucra secuencias sedimentarias y volcánicas: rocas epiclásticas, piroclásticas y lavas andesíticas y basálticas con intercalaciones lacustres, localmente marinas (**Ki2c**).

Finalmente, el trazado llega una vez más a un área cubierta con depósitos aluviales y coluviales. Los primeros son del tipo gravas, ripios y limos, mientras que los depósitos coluviales, corresponden a gravas y ripios sueltos de mala selección, que se restringen a conos en faldeos abruptos de quebradas y cerros.

En general, las estructuras de mayor importancia que se observan en el área de estudio corresponden a fallamientos y lineamientos de rumbos NNE y NW: los primeros, siguen la tendencia de macrolineamiento de la falla de Atacama y los segundos, corresponden a fallas y estructuras secundarias posteriores al primer sistema.

Con todo, en el área de estudio, la dirección de los lineamientos más importantes corresponde a los asociados con el sistema NNE, al que se asocian las grandes fallas que generan zonas de inestabilidad en su traza.

1.4. Geomorfología

El área de influencia de este componente ambiental corresponde a las áreas en que se emplazarán las obras físicas del proyecto, más una franja de 15 m alrededor de éstas.

1.4.1 Contexto Regional

Región de Atacama (Figura 4) presenta las cinco unidades de relieve características de la zona norte del país: Cordillera de los Andes, Depresión intermedia, Cordillera de la Costa, Farellón costero y Planicies litorales. Según la clasificación de Börgel², la región se encuentra inserta en la agrupación correspondiente a la Región Septentrional de las Pampas desérticas y Cordillera prealtiplánicas.

La Cordillera de los Andes presenta un conjunto de variadas alturas de carácter volcánico que generalmente presentan hielo y nieve en sus cumbres, con continuidad en su desarrollo y albergando en su interior cuencas salinas de carácter endorreico.

Se destaca la presencia de la precordillera de Domeyko, que se desarrolla a continuación de la cordillera altiplánica con una altitud media de 3.000 m.s.n.m. Se origina en el oligoceno como una serranía baja, pero su altura y envergadura actuales corresponden a las dislocaciones tectónicas pliocénicas, luego de las grandes efusiones de liparitas que sepultan las cordilleras altiplánicas.

La Depresión Intermedia se presenta como la gran pampa central desértica limitada al oeste por la cota 600 m y al este por la cota 1.500 m, sumergida entre el relieve costero y la precordillera andina respectivamente. Se originó por la tectónica de bloques, diferenciados entre sí por fallas E-W, aún activas en el norte del país. Presenta una apariencia ondulada debido a la fuerte intervención de los cordones de la precordillera de Domeyko y a los orígenes tectónicos antes mencionados. Adicionalmente numerosas sierras y quebradas seccionan la continuidad de la pampa en cuencas y llanos.

La Cordillera de la Costa se desarrolla como serranías con alturas que se elevan por sobre los 1.500 m.s.n.m., sin embargo considerando la altura de la depresión intermedia y el desarrollo de la pampa en esta zona, la cordillera de la costa se manifiesta como cerros de 400 a 600 m.s.n.m. Por su estrecha relación con el tronco costero, la geomorfología de esta cordillera se encuentra sometida a procesos de erosión que minimizan los accidentes orográficos existentes, a formas simples de lomas suaves y convexas (dunas).

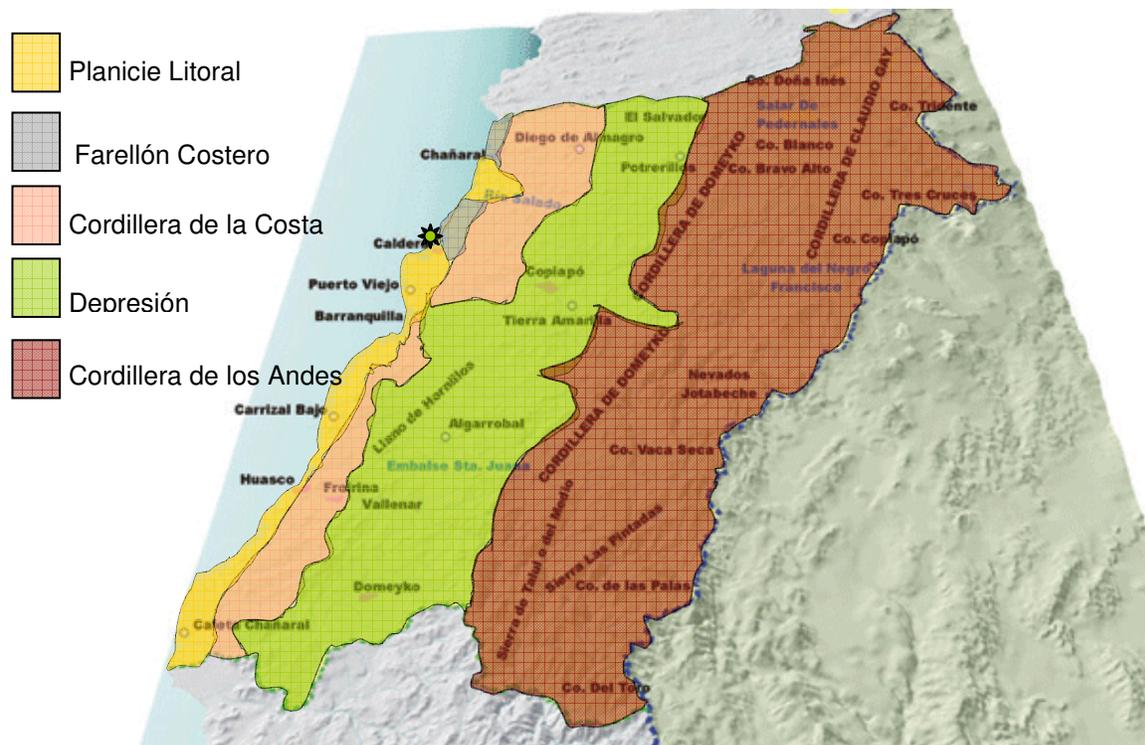
El Farellón Costero alcanza una altura de 1.000 m.s.n.m. hasta Taltal, luego va degradándose paulatinamente siendo interrumpido por quebradas que llegan hasta el mar, hasta desaparecer por completo dando lugar a las planicies litorales a la altura de la VI Región. Este proceso comienza al sur de Iquique donde comienza a desplazarse ligeramente al interior, transformándose en un acantilado inactivo alejado de la influencia directa del mar.

La Planicie Litoral se presenta con un escaso desarrollo, estrecha e interrumpida por estribaciones desprendidas desde la pampa alta y de la cordillera de la costa. Estas estribaciones descienden hasta el

² IGM, Borgel, 1983. Geografía de Chile. Geomorfología. pp: 25-67

borde mismo de la playa generando la fuente de origen para una activa erosión marina (Börgel, 1983). Particularmente en esta zona, las playas existentes entre las estribaciones, tienen forma de arco, con un estrato de arena que recubre levemente un estrato rocoso que queda al descubierto en períodos de marea baja.

Figura 4: Relieve Regional

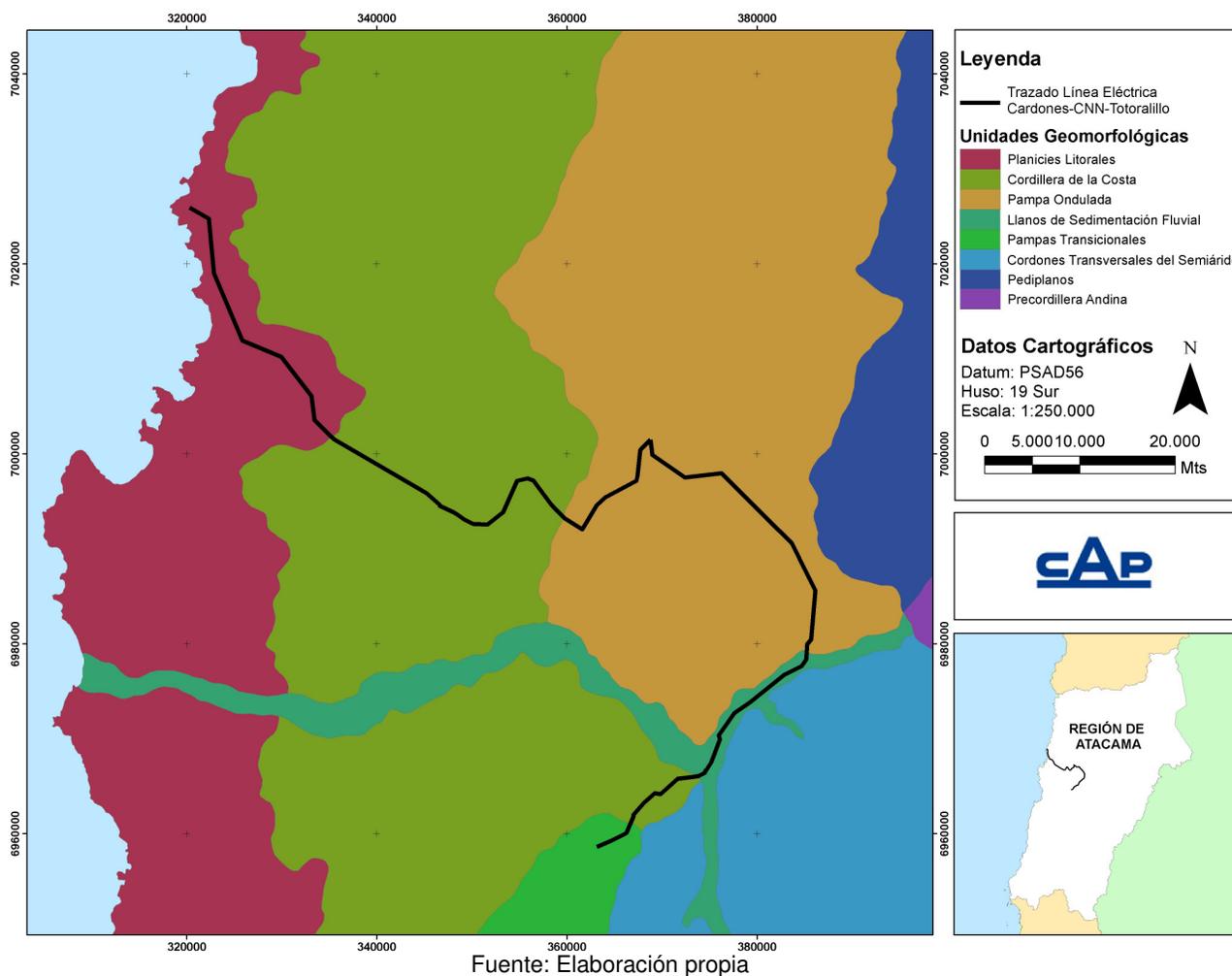


Fuente: <http://www.rmm.cl/usuarios/vsanz/doc/Macroformas.pps> (MINEDUC)

1.4.2 Contexto Local

Con el apoyo de la cartografía geomorfológica del Sistema de Información Geográfica de la Región de Atacama y con cartografía IGM (1:50000), fue posible definir las unidades homogéneas de análisis por las cuales cruzará la línea de transmisión (Figura 5).

Figura 5: Geomorfología en el área del Proyecto



1.4.2.1 Unidad 1: Planicies Litorales

En esta unidad se encuentra un extremo del tendido eléctrico, cercano a la bahía Totoralillo. Se caracteriza por la presencia de pequeñas dunas activas que en la actualidad son alimentadas de arena desde la costa y que no se alejan mucho de ella. Este tipo de formaciones corresponden a un delgado

tren de dunas que es atravesado por el trazado de la línea eléctrica. Son dunas longitudinales y continuas, paralelas entre sí, de 1 a 2 metros de alto, que llegan a avanzar hasta 7 km tierra adentro.

La existencia de dunas en este sector de la región, se debe (entre otras causas) a la ausencia del acantilado costero continuo, lo que permitió la migración de arenas eólicas hacia el este, y su desplazamiento, además, fue favorecido por las condiciones climáticas desérticas que han imperado en estas latitudes desde fines del Cenozoico. Actualmente, predominan en dirección, frecuencia y fuerza los vientos del oeste-suroeste, la escasez de las precipitaciones y la discontinuidad de una vegetación baja. Las dunas en esta zona ya no son alimentadas de arenas frescas, ya que su fuente de abastecimiento se agotó. Sin embargo, los vientos siguen modelando su topografía, restringiéndose principalmente a mantener vivas las formas, más que a trasladarlas³.

Al norte del llano La Hormiga, un semiplano provisto de geofomas de cuerpos intrusivos modelados por acción eólica, hay formaciones que se dan exclusivamente en sectores sin vegetación y con mucho viento, en que la atmósfera contiene una gran cantidad de polvo suspendido (especialmente silts o arenas) y sal producto de la influencia marina. El choque de estas partículas contra una roca dura provoca una abrasión (erosión por el choque de partículas de arena con la roca) que esculpe la roca formando grandes alvéolos. Estas formaciones son denominadas Tafonías.

1.4.2.2 Unidad 2: Cordillera de la Costa

Esta unidad se constituye por los cordones montañosos de dominio intrusivo de baja altura. Por encontrarse en altas condiciones de meteorización y expuestos a fuertes vientos, estos cordones se presentan cubiertos por depósitos eólicos, tomando un aspecto similar al de formaciones dunarias.

Esta unidad hace aparición dos veces en el tramo de la línea eléctrica. Primero, al abandonar las planicies litorales moviéndose hacia el interior a la altura de la pampa Caracoles, formación eólica semiactiva, altamente intervenida (el vertedero se ubica en las cercanías), que destaca, entre otras cosas por la presencia de dunas, hasta que el trazado bordea el cerro Chamonate, donde se acaba la unidad para dar paso a la pampa ondulada. Después, tras atravesar el Valle del río Copiapó hacia el sur, la Cordillera de la Costa vuelve a aparecer, destacándose en el recorrido del trazado el cerro El Granate.

1.4.2.3 Unidad 3: Pampa Ondulada

Considerada un área transicional de drenaje entre el arreísmo dominante del extremo norte y el exorreísmo característico de la parte central y meridional del país, es un área muy seccionada por

³ Paskoff et al. 2003. Origen de las arenas dunares de la región de Copiapó, Desierto de Atacama, Chile. Revista Geológica de Chile, Vol 30, N° 2, p. 355-361, Diciembre 2003

numerosas sierras con dirección este-oeste, que disectan la continuidad del plan alto pampino en cuencas y llanos.

Esta unidad parte cuando el tramo del trazado se mueve desde el cerro Chamonate hacia el noreste, subiendo hasta el cerro Negro Norte y luego se mueve acompañando a la quebrada Los Pequenes en su tramo hacia el sur hasta la quebrada de Paipote. En esta zona sobresalen las sierras Galleguillos, Lunares y Pelada y el llano de Chulo.

1.4.2.4 Unidad 4: Llanos de Sedimentación Fluvial

Además de ser la unidad por donde transcurre el flujo de agua más constante de la zona, es también donde se encuentra el mayor número de personas habitando en las cercanías a las obras del proyecto, en Paipote. Esta unidad se encuentra constituida principalmente por sedimentos de arrastre fluvial, por influencia directa del río Copiapó y su dinámica, cubiertas en Paipote con contadas construcciones urbanizadas insertadas en el valle.

1.4.2.5 Unidad 5: Pampas Transicionales

La punta final del trazado en su tramo interior, donde se encuentra la S/E Cardones alcanza a formar parte de una última unidad, una zona de extensas planicies aluviales intercaladas por cordones montañosos conectadas por portezuelos.

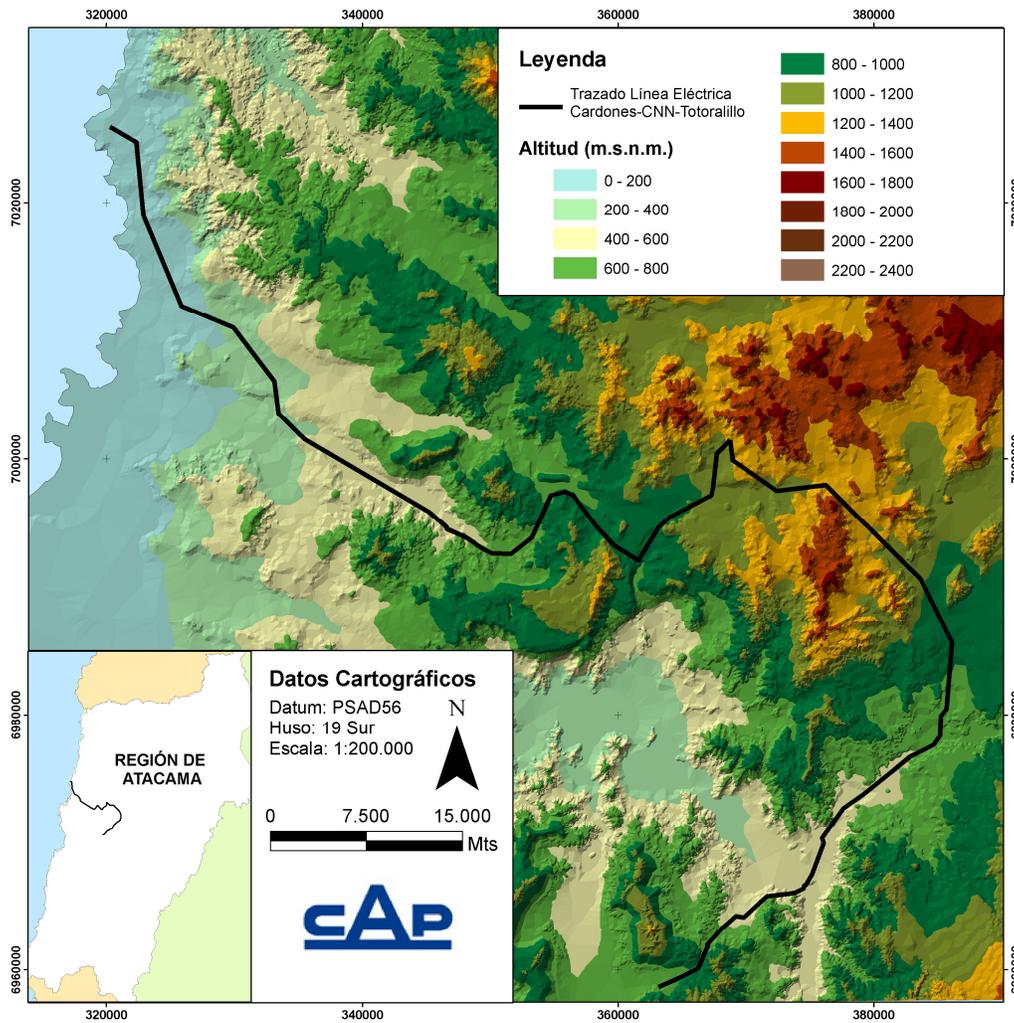
El trazado acaba al norte del cerro Las Cruces, que es parte del Portezuelo Las Cruces, un área de encajonamiento de laderas con vestigios de escurrimiento lineal, con una saludable densidad vegetal. En la zona se distinguen suelos firmes, sin mayor riesgo de desmoronamientos por gravedad (al no observarse depósitos de escombros de falta), si bien el encajonamiento de laderas indica pendientes considerables.

1.4.3 Indicadores Morfológicos

1.4.3.1 Altitud

El área de estudio presenta elevaciones que van de 0 a 1300 m.s.n.m., observándose las mayores altitudes en el área cercana a Cerro Negro Norte, en lo que se describe como la unidad de pampa ondulada. En su mayor parte, el Proyecto se desarrolla en altitudes que rodean entre los 600 y 800 m, salvo en el sector de la planicie litoral, donde la altitud desciende a alrededor de 200 m, y al finalizar el tramo en Punta Totoralillo alcanza los 30 m.s.n.m. (Figura 6).

Figura 6: Altitud en área del Proyecto



Fuente: Elaboración propia

1.4.3.2 Pendiente

Para el análisis de pendiente se tomó como referencia la clasificación de Araya Vergara y Börgel⁴, que cuenta con siete rangos de pendientes y los principales procesos asociados a la inclinación de las laderas (Tabla 3).

Tabla 3: Clasificación de Pendientes según Araya y Börgel (1972)

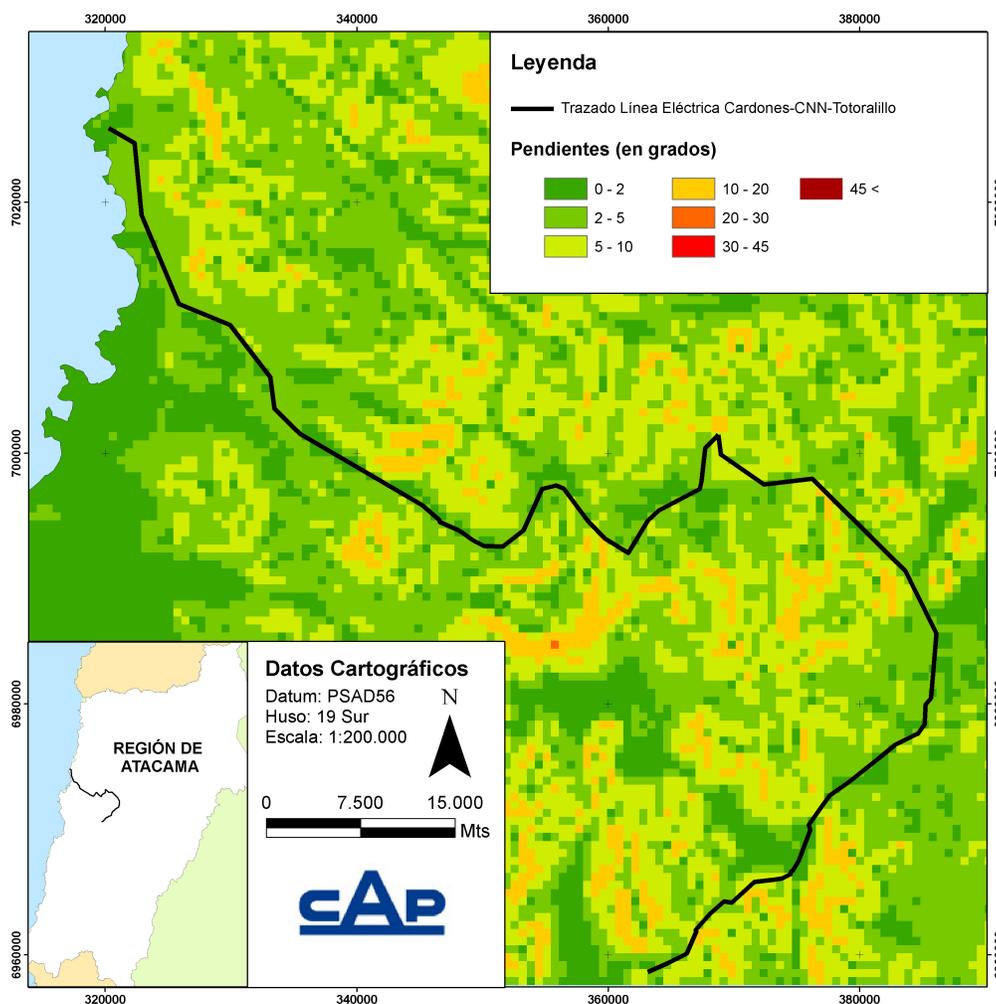
Grados (°)	Porcentaje (%)	Pendiente	Proceso	Erodabilidad
0 – 2	0 – 4.5	Levemente horizontal	Erosión nula o leve	Baja
2 – 5	4.5 – 11	Suave	Erosión débil, difusa (sheet wash), inicio de regueras, soliflucción fría	Baja
5 - 10	11 – 22	Moderada	Erosión moderada a fuerte inicio de erosión lineal (rill wash)	Media
10 – 20	22 – 44.5	Fuerte	Erosión intensa, cárcavas insipientes	Alta
20 – 30	44.5 – 67	Moderadamente escarpada	Cárcavas frecuentes, movimientos en masa, reptación	Alta
30 – 45	67 – 100	Muy escarpada	Coluvamiento, soliflucción intensa	Muy alta
45 <	100 <	Acantilado	Desprendimientos, derrumbes, corredores de derrubios	Muy alta

El trazado de la línea eléctrica se emplaza sobre terrenos con baja inclinación de laderas, principalmente en áreas con pendientes que rodean entre 2° y 5° (Figura 7). Esto indica la presencia de pendientes suaves, de erosión débil y difusa, que dificultan los movimientos en masa y la soliflucción intensa.

En el sector de Cerro Negro Norte y el área de las pampas transicionales, el trazado de la línea atraviesa áreas con una inclinación mayor que alcanza los 10°, lo que es una pendiente moderada con un proceso de erosión más notorio, pero aún así no sobresaliente.

⁴ Araya, J. & Börgel, R. 1972. "El uso de la carta 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar en la confección de unidades geográfico-físicas". Primer Simposio Cartográfico Nacional, Instituto Geográfico Militar. Pp. 263-269.

Figura 7: Pendientes en área del Proyecto



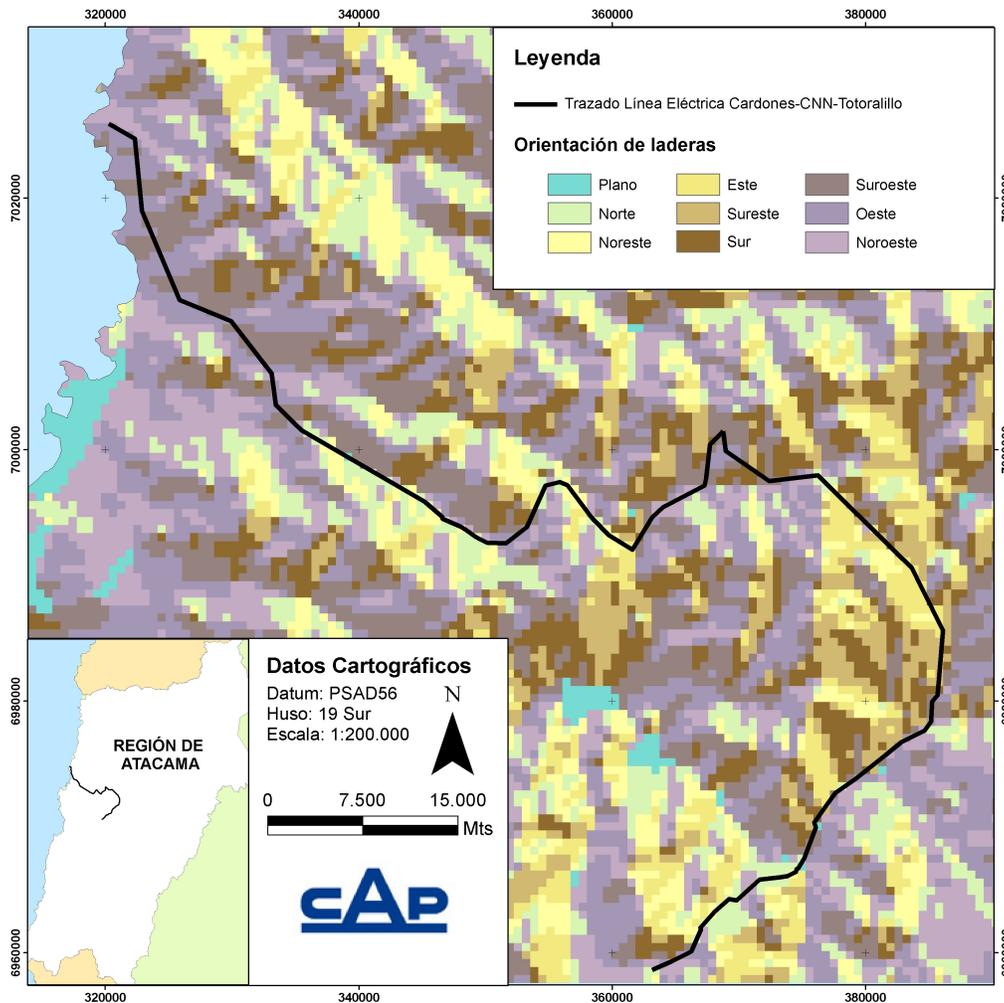
Fuente: Elaboración propia

1.4.3.3 Orientación y Exposición

En el área del Proyecto no existe una orientación de laderas que domine por sobre otras de manera sobresaliente (Figura 8), si bien se observa una falta de espacios considerados totalmente planos, y una dominancia de pendientes con orientación oeste (así como noroeste y suroeste) en el área de la costa. El tramo más al sur del trazado, por otro lado, tiene pendientes orientadas hacia el este y el noreste.

En lo que respecta a la exposición, la orientación hacia el oeste del área costa indica umbría, mientras que los sectores del trazado con exposición este poseen exposición de solana. Cabe mencionar que la inclinación de las laderas, cualquiera su orientación, tiende a ser baja, lo que expone más las laderas al sol.

Figura 8: Orientación de laderas en área del Proyecto



Fuente: Elaboración propia

1.5. Edafología

1.5.1 Contexto Regional

La Región de Atacama está condicionada por una multiplicidad de geoformas que influyen en la distribución espacial de las temperaturas y precipitaciones, lo que a su vez determina la formación y distribución de suelos en la región (Rovira, A., 1983). Así, los tipos de suelo presentes en la región se distribuyen de la siguiente manera:

La Zona Noroeste de la región (que forma parte de las cuencas altiplánicas) se caracteriza por presentar suelos del orden de los Histosoles y Litosuelos: los primeros, son suelos orgánicos que tienen su origen en la producción de materia orgánica en forma más rápida que su mineralización, debido a que están en condiciones de saturación de agua casi continua y se desarrollan en cotas relativamente deprimidas; los segundos, son suelos delgados, influidos por el tipo de roca madre debido a poca evolución temporal o a su desarrollo en grandes pendientes.

Una franja de Xerosoles Cálcidos y Litosuelos recorre de norte a sur la zona de cuencas altiplánicas y las zonas de la Cordillera de Domeyko y de los Andes. Los Xerosoles son suelos propios de climas áridos y se caracterizan por ser suelos profundos, de textura de migajón arcillosa, de color amarillento o rojizo; se derivan de rocas arcillosas y calcáreas y su estructura es en forma de bloques. Los Xerosoles Cálcidos presentan movimientos de carbonato dentro del perfil. En la franja comprendida por la pampa transicional, entre el valle del río Copiapó y el valle del río Huasco, los suelos son del tipo Xerosoles Cálcidos. Por otra parte, están los Litosuelos, que se limitan a una porción de Sierras Transversales al sur-este de la región.

Entre los 69° y 70° de longitud oeste y desde el límite norte de la región hasta aproximadamente los 28° de latitud sur, se emplazan los Regosoles con costras salinas. Esta zona comprende la precordillera de Domeyko y el sector norte de la pampa Ondulada. Estos son suelos de tipo azonales inmaduros o brutos, con horizontes mal desarrollados sobre depósitos muy recientes como aluviones, arenas y dunas.

La Pampa ondulada y parte de la Cordillera de la Costa, al norte del valle del río Copiapó y la Pampa transicional al sur y noroeste del río Huasco se caracterizan por presentar suelos del orden de los Cambrisoles Ocritos. Por otra parte, en el límite regional, al norte de éstos, en una pequeña porción, se encuentran los Protosuelos con costras salinas. Los Cambrisoles son suelos con un color y estructura distinta al material originario con translocación de carbonatos. Los Protosuelos no presentan un horizonte A diferenciado; aparecen en las etapas finales de degradación de suelos pardos o "rankers" o bien en etapas iniciales de otros suelos sobre zonas rocosas.

En la franja comprendida por la Pampa Transicional, entre el valle del río Copiapó y el valle del río Huasco, los suelos son del tipo Xerosoles Cálcidos.

Las zonas comprendidas por los valles del río Copiapó y Huasco, presentan suelos del tipo Fluviosoles. Éstos son suelos poco evolucionados a partir de materiales fluviales recientes. En la zona litoral, en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, los suelos son principalmente Aridisoles. La presencia de neblinas costeras y la humedad que éstas producen favorece el desarrollo de procesos pedogenéticos y la aparición de una cubierta vegetal de relativa importancia (IGM, 1983). Los Aridisoles tienen como perfil característico un horizonte A de 5 a 20 cm de espesor, de color pardo claro a rosado con contenido muy bajo de materia orgánica. El horizonte B manifiesta mayor espesor, su tonalidad es más rojiza, de textura más fina y con un mayor contenido de materia orgánica. El horizonte subyacente presenta mayor contenido de calcio y en algunas ocasiones aparece como un horizonte cementado con cal y sílice, pasando a ser parte del suborden orthids.

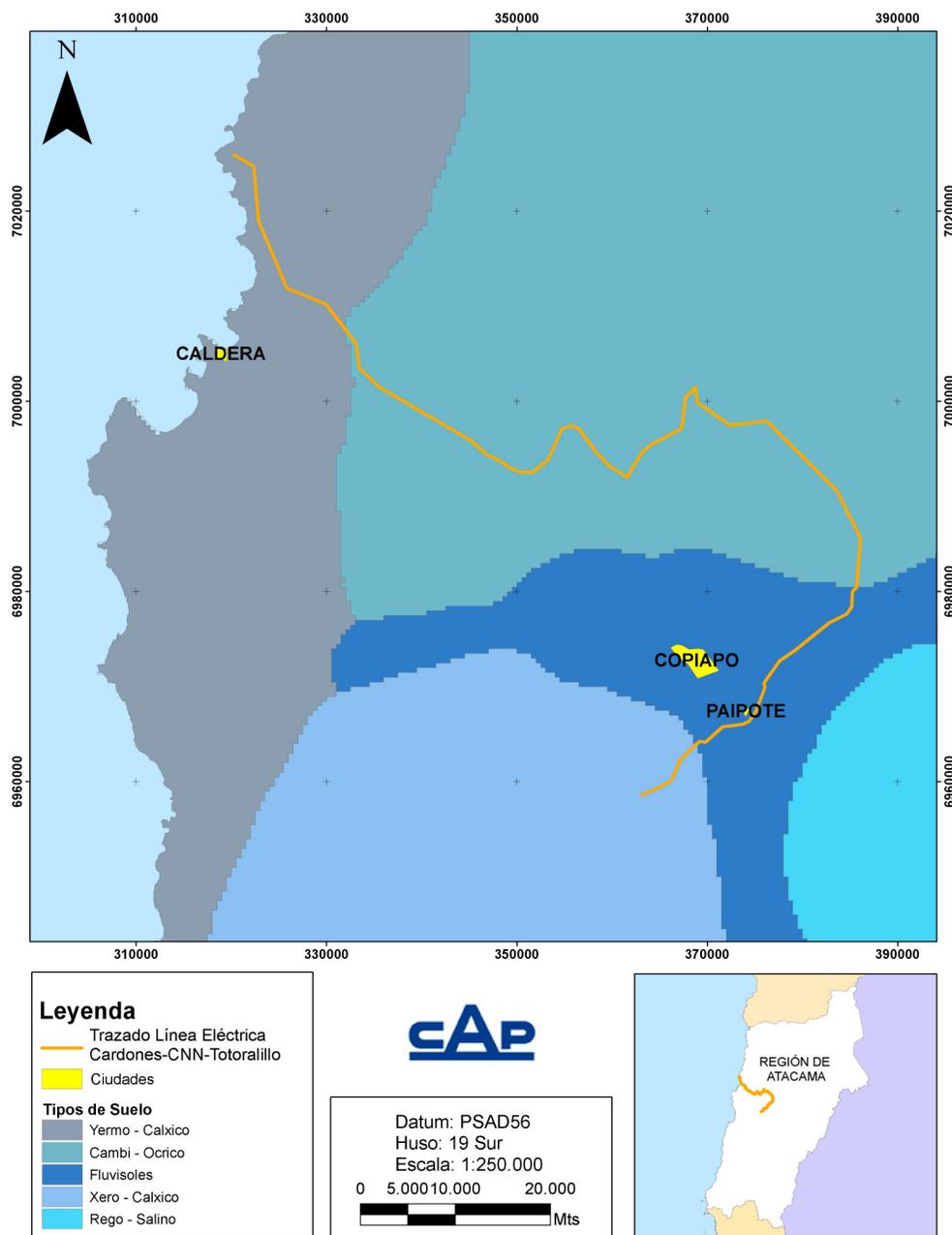
1.5.2 Contexto Local

Como indica la Figura 9, a lo largo del trazado de la línea, ésta atraviesa cuatro variedades de suelos diferentes: Yermo Cálxico, Cambiosoles Ócrico, Fluviosoles y Xero Cálxico. En el tramo más cercano a la costa, en el área de Totoralillo, se presentan suelos yermos con horizontes cálcicos en superficie (Yermo Cálxico). Al moverse hacia el interior, la formación edáfica coincidente con las arcillas de descalcificación que se desarrollan en zonas de pendientes más favorables, donde la mayoría de los casos hay cerros con grandes zonas aplanadas. Se presentan suelos arcillosos, descarbonados, de intenso color rojo y de características en superficie mólicas u ocrícas en función de sus contenidos de materia orgánica (Cambiosoles Ócrico). Son suelos ricos en óxidos de hierro.

En el área de Paipote y en torno al valle del río Copiapó se presentan suelos que constituyen formaciones relacionadas con los depósitos recientes asociados a los actuales cursos fluviales que discurren por el área de estudio del proyecto (Fluviosoles). Finalmente, al llegar el trazado al sector de cuesta Cardones, los suelos se presentan con horizontes cálcicos a los 125 cm de profundidad superficial del perfil y ausencia de horizontes argílicos sobre horizonte cálcico (Xero Cálxico).

Los suelos en el sector costa son los típicos de regiones áridas, donde se presentan partículas finas que son arrastradas por el viento. En el resto del trazado, hacia el interior, posee texturas gruesas, muchas veces acompañadas con gravas y afloramientos rocosos de diámetros mayores a 1 metro. En términos generales, todos corresponden a suelos inadecuados para los cultivos, dejando su uso muy limitado.

Figura 9: Suelos en el área del Proyecto



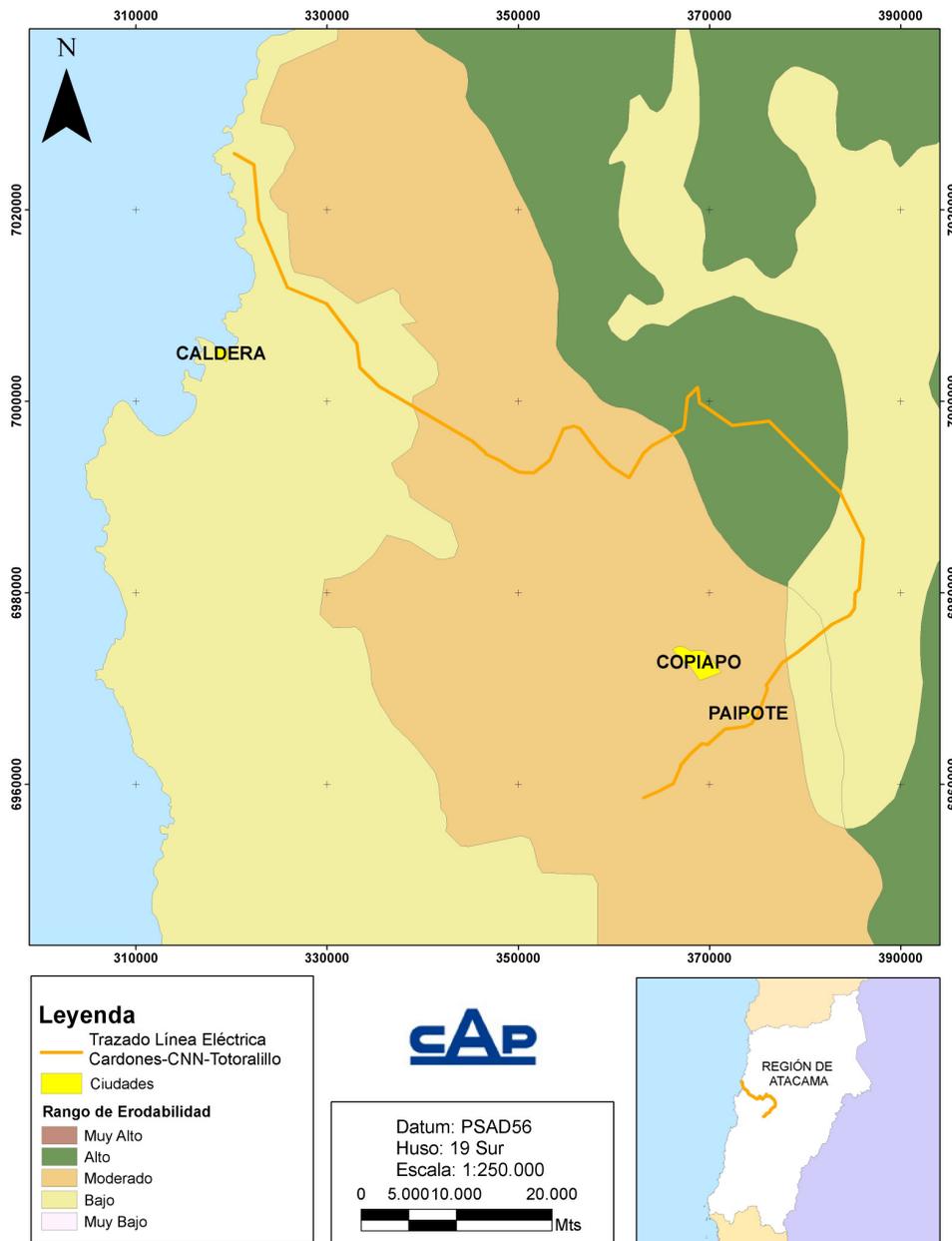
Fuente: Elaboración propia

1.5.3 Erodabilidad y Erosividad

La erodabilidad de los suelos (Figura 10) es definida como la predisposición natural de los suelos a la erosión debido a sus características intrínsecas (Honorato, 2000), tales como la textura, granulometría, contenido de materia orgánica, permeabilidad, etc. El trazado de la línea eléctrica atraviesa 3 rangos de erodabilidad, avanzando de Bajo a Alto desde Totalillo a Cerro Negro Norte, para volver a bajar y acabar con una erodabilidad moderada en el sector de cuesta Cardones.

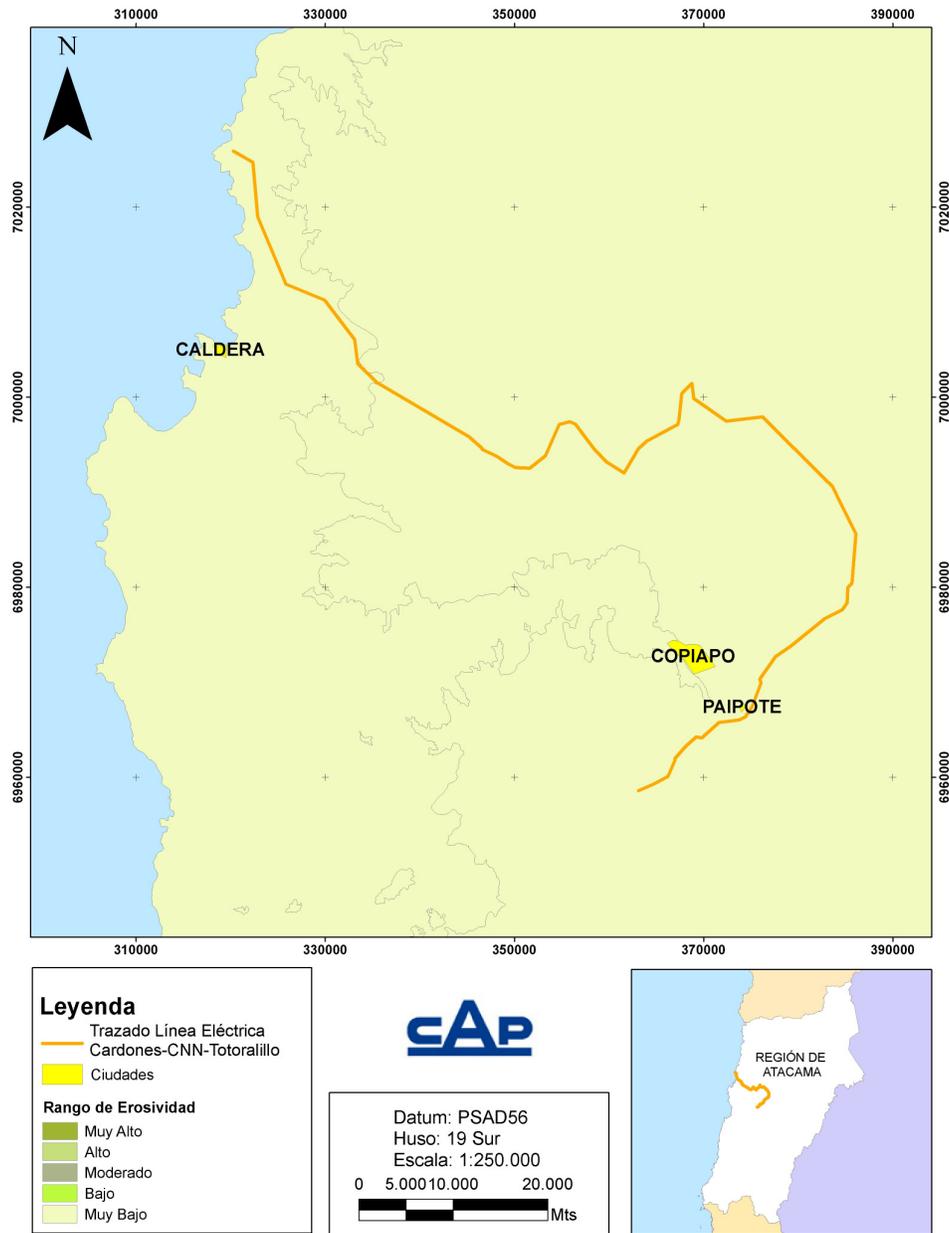
La erosividad (Figura 11), por su parte, es un concepto similar al de erodabilidad, sin embargo incluye variables relacionadas con el concepto de sitio, interviniendo agentes climáticos erosivos como la lluvia y el viento, la cobertura vegetal, el manejo del suelo y factores geomorfológicos como la pendiente. En toda el área del proyecto la erosividad es definida como Muy Baja.

Figura 10: Erodabilidad del área del Proyecto



Fuente: Elaboración propia, SINIA

Figura 11: Erosividad del área del Proyecto



Fuente: Elaboración propia, SINIA

1.6. Hidrología

En el área del proyecto pueden reconocerse dos elementos relacionados los componentes ambientales hidrología e hidrografía, por un lado el Río Copiapó y por otro, las quebradas intermitentes.

1.6.1 Río Copiapó

Con una cuenca de aproximadamente 18.400 km² y 162 km de longitud, el río Copiapó nace de la unión de los tributarios Jorquera, Pulido y Manflas en la cordillera andina, desembocando en la bahía Copiapó, entre la isla Grande y punta Dallas, a 162 km de su origen en línea recta. Su cuenca hidrográfica abarca 18.407 km² en total.

Posee un régimen mixto pluvio-nival. Su caudal es, generalmente, constante y sus aguas son fuente de abastecimiento para el desarrollo agrícola (regadío), industrial, minero y de agua potable. Atraviesa las localidades de Las Juntas, Goyo Díaz, Totoralillo, Nantoco, Punta del Cobre, Tierra Amarilla, Paipote, Copiapó, Toledo y Puerto Viejo, entre otras, regando todo el valle del mismo nombre.

El río Copiapó surca su curso medio, cruzando valles agrícolas y depresiones, describiendo acusados meandros producto de la escasa pendiente, lo que genera que una gran sección del río sea llenada completamente en épocas de lluvias persistentes. El río surca un valle labrado por la acción de sus aguas.

La información disponible de caudales del río Copiapó, proviene de las estaciones de la Dirección General de Aguas (DGA), Estación Copiapó (para curso medio) y Estación Angostura (para curso inferior). En la siguiente tabla se presenta un resumen de la información registrada en ambas estaciones.

Tabla 4: Caudales instantáneos mensuales (m³/seg), estaciones Copiapó y Angostura

Mes	Estación Copiapó			Estación Angostura		
	Caudal Medio Mensual	Caudales Extremos		Caudal Medio Mensual	Caudales Extremos	
		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
Enero	1,69	0,06	14,87	0,62	0,01	8,89
Febrero	0,11	0,03	1,89	0,72	0,01	16,24
Marzo	2,46	0,07	8,94	0,66	0,01	5,53
Abril	2,22	0,01	6,82	0,49	0,03	3,33
Mayo	1,78	0,23	6,75	0,61	0,07	4,43
Junio	1,34	0,09	4,51	0,74	0,03	41,78
Julio	1,40	0,14	4,85	0,52	0,09	3,51
Agosto	0,76	0,10	3,19	0,34	0,07	1,83
Septiembre	0,34	0,11	1,06	0,20	0,00	0,99
Octubre	0,23	0,02	0,60	0,13	0,02	0,28

Mes	Estación Copiapó			Estación Angostura		
	Caudal Medio Mensual	Caudales Extremos		Caudal Medio Mensual	Caudales Extremos	
		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
Noviembre	0,24	0,09	1,09	0,10	0,01	0,24
Diciembre	0,15	0,07	0,90	0,08	0,01	0,21

Fuente: DGA

Se observa que la dinámica del río Copiapó responde a un régimen pluvio-nival, con crecidas ocasionadas tanto por las lluvias como por el derretimiento de las nieves. Los máximos mostrados en la tabla precedente se deben a las crecidas ocurridas durante junio de 1997 y durante enero y marzo de 1998, como efecto de la alta pluviosidad y acumulación de nieve ocurridas en dichos eventos meteorológicos.

Esas mismas características fluvio-nivales sumadas a la escasa cubierta vegetal natural, generan la ocurrencia de fenómenos aluviales de flujo superficial, que son coincidentes con los eventos de alta pluviosidad y de máximo flujo en el caudal del río.

1.6.2 Quebradas Intermitentes

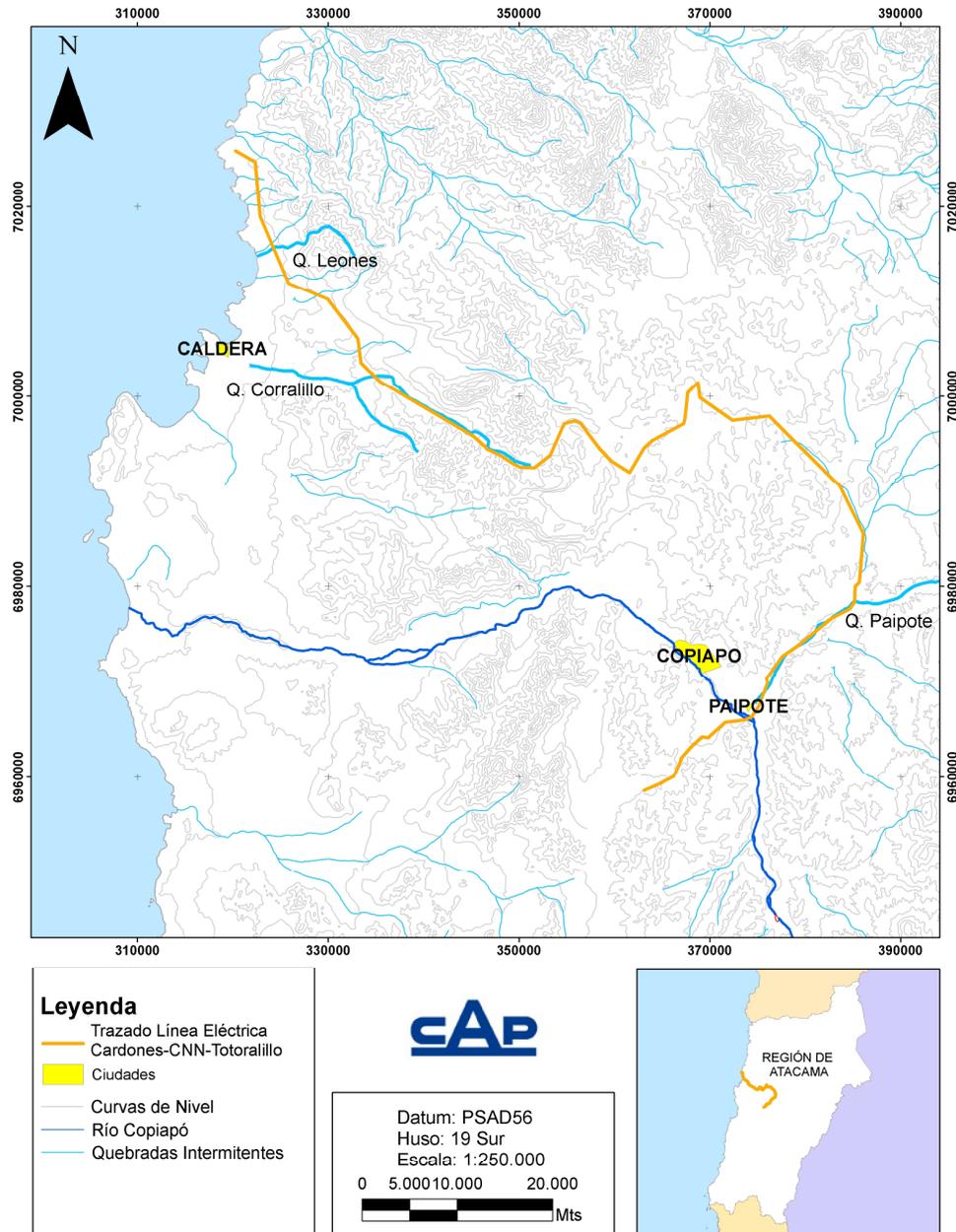
La Figura 12 muestra la existencia de varias quebradas de régimen intermitente dentro del área de estudio y su relación con el trazado de la línea eléctrica, donde pueden reconocerse algunos elementos más o menos característicos:

Durante el camino del trazado de la línea se suceden una serie de quebradas de diversa envergadura, interceptando perpendicularmente la línea en su tramo más cercano a la costa, y paralelamente en los tramos ya internados en el desierto. Dentro de ellas, sobresalen las siguientes:

- Quebrada Leones
- Quebrada del Corralillo
- Quebrada de Paipote

Debido a la constitución morfológica del sustrato regional, sumado a la sequedad del clima, prácticamente cualquier fenómeno asociado al escurrimiento de agua deja su impronta en el paisaje, es así como las quebradas intermitentes mencionadas provocan, por la potencia derivada de sus afluentes, diversos fenómenos de crecidas. Aún así, los acontecimientos que llevan al escurrimiento del agua en estas quebradas son más bien puntuales y excepcionales.

Figura 12: Hidrografía del área del Proyecto



Fuente: Elaboración propia

1.7. Hidrogeología

El área del proyecto no presenta interés hidrogeológico relevante, debido a la ausencia de acuíferos de importancia. De esta manera, no se definen áreas de influencia para este componente ambiental ya que las obras del proyecto no generarán efectos directos o potenciales sobre él.

1.7.1 Contexto Regional

La zona del proyecto forma parte de la Cuenca Hidrográfica del río Copiapó, que se extiende desde la latitud 26° 43' por el norte, hasta la latitud 28° 34' por el sur. Esta cuenca posee dos tipos de escurrimientos (Figura 13) uno en dirección SSW paralelo a la quebrada de Paipote por un lecho de rocas del período terciario sedimentario volcánico y cretácico mixto sedimentario y volcánico de muy baja permeabilidad hasta su confluencia con el río Copiapó.

El otro tipo de escurrimiento ocurre en la confluencia de los ríos Manflas y Jorquera: por el lecho de ambos ríos las aguas subterráneas escurren sobre rocas plutónicas, del paleozoico plutónico, y jurásicas sedimentario – volcánicas. A partir del sector del Embalse Lautaro, el escurrimiento es paralelo al río Copiapó en dirección NNW hasta la altura de Copiapó con profundidades freáticas que varían de los 53 a 11 m (Copiapó). Esta zona se destaca por tener un intenso uso para riego.

A partir de Copiapó y hasta Caldera, el curso cambia de dirección NNW a W con profundidades de 16 a 0,7 m en la desembocadura, las aguas subterráneas escurren por depósitos no consolidados, relleno del período cuaternario de alta permeabilidad y rocas volcano-sedimentarias del período terciario⁵.

Según el Mapa Hidrogeológico de Chile de la DGA⁶, el tramo de la línea eléctrica que corresponde al sector cercano a Totoralillo se encuentra inserto en la Provincia Cuencas Costeras, específicamente en la subprovincia Costeras Exorreicas, que en estas latitudes desarrolla acuíferos generalmente libres, en zonas de rellenos aluviales, con espesores que no superan los 100 m y una productividad inferior a 10 m³/h/m. Las aguas subterráneas provienen principalmente de precipitaciones y de la camanchaca, presentando una calidad de agua regular de uso principalmente doméstico.

El resto del trazado se emplaza en la provincia hidrogeológica Andina Vertiente Pacífico, específicamente en la subprovincia de los Valles Transversales, que se caracteriza por presentar acuíferos libres, de espesores variables que alcanzan hasta los 200 metros de profundidad. En estas latitudes, la existencia

⁵ DGA, MOP, 2004. Cuenca del río Copiapó. Diagnóstico y clasificación de los cuerpos de aguas según objetivo de calidad. Pp: 6-7.

⁶ DGA. 1987. Mapa Hidrogeológico de Chile. Ministerio de Obras Públicas – Dirección General de Aguas

de acuíferos está directamente ligada a los rellenos cuaternarios fluviales adyacentes a los cauces de los ríos, cuya alimentación proviene exclusivamente de los recursos superficiales⁷.

1.7.2 Contexto Local

La información entregada por el mapa Hidrogeológico revela, para las aguas subterráneas, tres perfiles diferentes en el área del proyecto (Tabla 5).

Tabla 5: Perfiles hidrogeológicos existentes en el área del proyecto

Permeabilidad	Símbolo	Importancia hidrogeológica	Principales formaciones	Características generales
Primaria	Perfil 1. 	Alta a Media	Q, Qv, T	Depósitos no consolidados, rellenos: sedimentos fluviales, glaciales, aluviales, lacustres, aluvionales y/o eólicos.
Muy baja a ausente	Perfil 2. 	Nula	Tg, Jtg, KTg, Kg JKg, Jg, Pzg, Mg	Rocas Plutónicas e Hipabisales: Intrusivos graníticos.
	Perfil 3. 	Muy Baja	TQ, T, KT, K, M, J, Pzm	Rocas sedimentarias y mixtas sedimentario-volcánicas: coladas, brechas, tobas e ignimbritas con intercalaciones de lutita, caliza, areniscas y conglomerados.

Fuente: Mapa Hidrogeológico de Chile – DGA (1986)

El perfil 1, corresponde a depósitos no consolidados atribuidos al periodo cuaternario (**Q**) que presentan una alta permeabilidad. Corresponde a napas libres o semiconfinadas, acuíferos de extensión variable y generalmente estratificados de un espesor que varía alrededor de los 80 m. Entre Totoralillo y Cerro Negro Norte la línea cruza dos zonas con estas características. Los perfiles 2 y 3 coinciden en su baja permeabilidad dada por la composición de rocas y minerales y los procesos a los cuales han estado sometidos a través del tiempo.

El perfil 2 presenta un tipo de rocas que data de la era Paleozoica, conformada principalmente por sedimentos metamórficos, vale decir pizarras, filitas, micacitas y gneisses. Específicamente, el área del tramo del trazado que acaba en Totoralillo presenta rocas plutónicas e hipabisales pertenecientes al Paleozoico plutónico (**Pzg**). Posteriormente, en zonas cercanas a Cerro Negro Norte y el otro extremo del trazado en cuesta Cardones, aparecen rocas plutónicas e hipabisales pertenecientes al Cretácico plutónico (**Kg**), siendo ambas corresponden a basamentos impermeables y forman estratos de 200 y 50

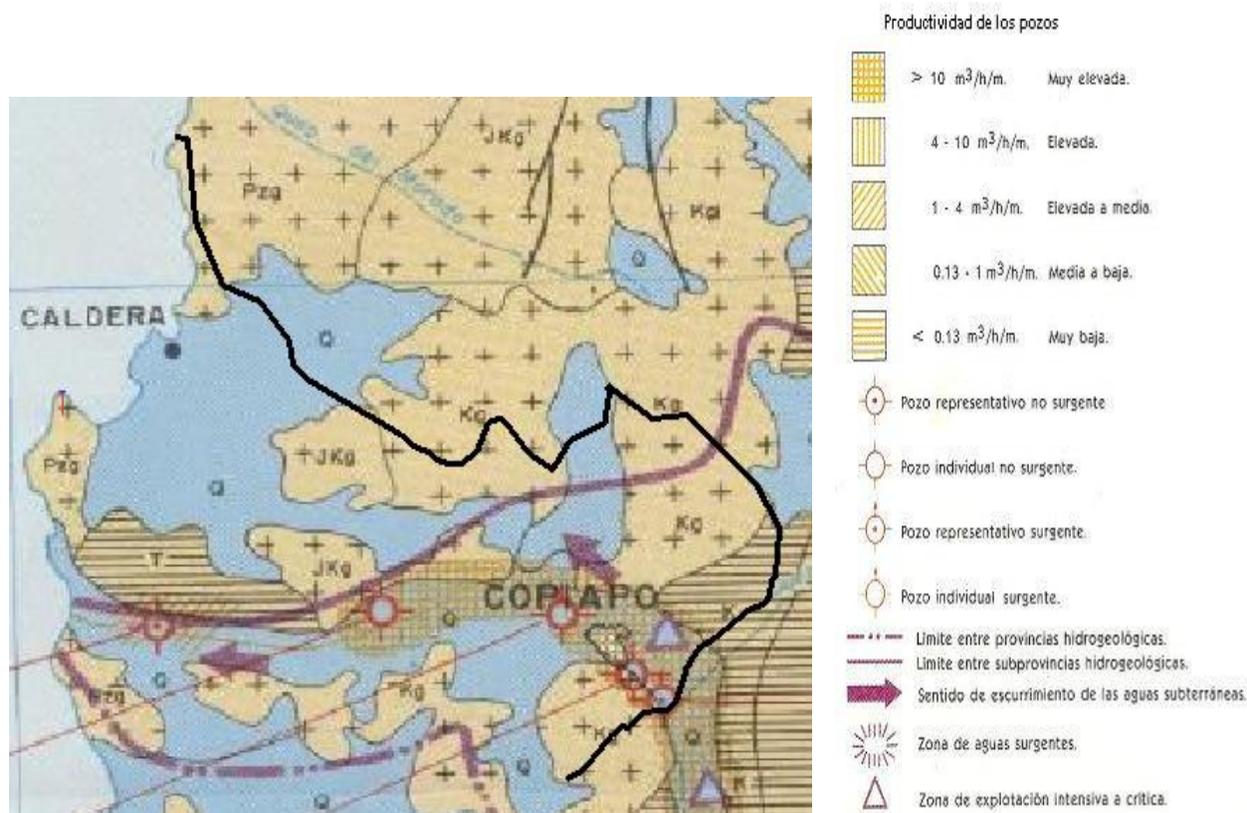
⁷ DGA, 1986. Mapa Hidrogeológico de Chile, escala 1:2.500.000. Texto Explicativo.

m respectivamente, en profundidad. Generalmente son encontrados en la cordillera de la Costa y en la cordillera de los Andes.

El perfil 3 se conforma de rocas que datan del Cretácico mixto sedimentario y volcánico (K), por lo general impermeables, son consideradas basamentos de los rellenos acuíferos que forman estratos espesos. El trazado cruza sectores con este perfil en su tramo más oriental, al noreste de la ciudad de Paipote.

Además, como se indica en la Figura 13, existen pozos de agua a lo largo del cauce del río Copiapó del tipo representativo e individual no surgente, los que presentan una productividad superior a $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ en gran parte del caudal del río, el cual es atravesado por el trazado del proyecto antes de terminar su camino en la cuesta Cardones.

Figura 13: Hidrogeología del área del Proyecto



— Línea Eléctrica. Fuente: Mapa Hidrogeológico de Chile de la DGA. 1:1.000.000

1.8. Riesgos Naturales

1.8.1 Sismos

Chile se encuentra asentado en la conjunción de dos placas tectónicas (Sudamericana y de Nazca) en constante fricción. Esta realidad geotectónica convierte al país en una zona favorable para la generación de sismos, y lo caracteriza como uno de los países más sísmicos de la Tierra, en promedio en los últimos cinco siglos un terremoto destructor de magnitud superior a 8 se ha producido cada 10 años en alguna parte del territorio chileno (Madariaga, 1998⁸).

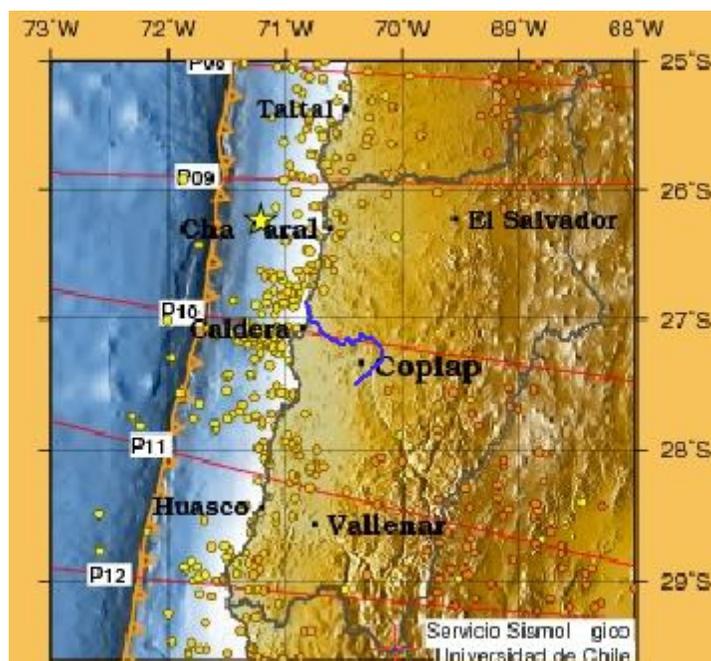
Según Barazangi e Isacks (1976)⁹, la zona de subducción de placa de Nazca se divide en cinco segmentos de longitud variable con ángulos de subducción muy diferentes. En Chile se presenta uno de esos segmentos entre los 26° y 33° S, donde la placa de Nazca parece pegarse bajo el continente sudamericano y desciende bajo la Cordillera de los Andes y Argentina con un ángulo muy pequeño de solo unos 10° de inclinación. Es en esta zona que se emplazan las obras de la planta y el trazado del acueducto, un área que carece de volcanes y las grandes estructuras geológicas poseen una dirección transversal al eje principal andino.

La Figura 14 muestra la distribución en planta de los epicentros de los sismos ocurridos en el período 1964-1995, entre los 25° S y los 29° S. Cabe destacar que la concentración de sismos se encuentra entre Caldera y Chañaral, sin embargo, existe una dispersión bastante homogénea a lo largo de la costa.

⁸ Madariaga R. (1998), Sismicidad de Chile, en: A. Udías y E. Buforn (ed). Sismicidad y Sismotectónica de Centro y Sudamérica. Física de la Tierra, UCM. N°10, 221 – 250

⁹ Barazangi M. & Isacks B.L. (1976), Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America. Geology, Vol.4 p.686-692

Figura 14: Distribución de los epicentros de los sismos (1964-1995)



— Línea Eléctrica. Un punto equivale a un sismo de magnitud sobre 4. ● Sismos superficiales (0 a -75 km); ● Sismos intermedios (-75 a -125 km); ● Sismos profundos (-125 a -200 km). Fuente: <http://ssn.dgf.uchile.cl/>

La mayoría de los sismos registrados en Chile, y cuyas consecuencias han sido catastróficas, concentran sus puntos focales en el borde costero. En la región del Atacama existe registro histórico de seis terremotos de gran magnitud (Tabla 6: Registro de terremotos en zona costera de la Región de Atacama).

Tabla 6: Registro de terremotos en zona costera de la Región de Atacama

Fecha	Magnitud del sismo (Escala de Richter)	Epicentro del terremoto	Variación máxima del nivel del mar	Largo estimado dislocación
11 de abril de 1819	8,5	27° S, 71,5° O	4 metros en Caldera	350 km
25 de mayo de 1851	7-7,5	27° S, 71,8° O	3 metros en Huasco	-
5 de octubre de 1859	7,5-7,7	27° S, 70,0° O	6 metros en Caldera	-
4 de diciembre de	7,6	26° S, 71,0° W	5 metros en Caldera	90 km

Fecha	Magnitud del sismo (Escala de Richter)	Epicentro del terremoto	Variación máxima del nivel del mar	Largo estimado dislocación
1918				
10 de noviembre de 1922	8,4	28,5° S; 70,0° W	9 metros en Chañaral	390 km
28 de diciembre de 1966	7,8	25,5° S; 70,7° W	0,8 metros en Caldera	140 km

Fuente: www.shoa.cl

Según el levantamiento geológico de SERNAGEOMIN¹⁰, Hoja Caldera, y de su capítulo Estructura, existe en el sector del proyecto existe un sistema de falla importante, que va en dirección Noroeste-Sureste, y controla la orientación de la mayoría de las quebradas principales y secundarias ubicadas al norte del Puerto de Caldera. En este sistema de falla no existen líneas de fallas activas ni posibles de ser activadas, ya que éstas se encuentran selladas con material intersticial, por lo que la zona presenta un bajo riesgo sísmico por fallamiento.

1.8.2 Volcanes

En el caso de la Región de Atacama, el volcanismo es considerado inexistente al no haber presencia de volcanes, activos o inactivos¹¹, y ningún registro histórico de actividad volcánica en la zona.

1.8.3 Tsunamis

El historial de tsunamis registrados en la costa de Chile¹² revela la ocurrencia de diversos y significativos eventos en los puertos y ciudades costeras de Chile desde 1562 a la fecha. Específicamente, en la región de Atacama se describen seis tsunamis (Tabla 7), los que han generado daños de diversas magnitudes. De acuerdo a la carta de inundación por tsunami del puerto de Huasco¹³, referida al evento de 1922, la inundación esperada se acerca a la cota de los 10 msnm.

¹⁰ SERNAGEOMIN. Avance Geológico de la Hoja Caldera, Región de Atacama, escala 1:250.000, 1978.

¹¹ Volcanes de Chile. <http://www.sernageomin.cl>

¹² Tsunamis registrados en la costa de Chile. www.shoa.cl

¹³ http://www.shoa.cl/servicios/citsu/citsu_huasco.pdf

Tabla 7: Registro de tsunamis en la Región de Atacama

Fecha	Magnitud del sismo (Escala de Richter)	Epicentro del terremoto	Variación máxima del nivel del mar	Grado m del Tsunami*
11 de abril de 1819	8,5	27,0° S ;71,5° W	4 m. en Caldera	3
26 de mayo de 1851	7,0-7,5	27,0° S; 71,8° W	3 m. en Huasco	1
5 de octubre de 1859	7,5-7,7	27,0° S ;70,0° W	6 m. en Caldera	2
18 de diciembre de 1918	7,0	26,0° S ;71,0° W	5 m. en Caldera	2
10 de noviembre 1922	8,4	28,5° S; 70,0° W	9 m. en Chañaral	3
28 de diciembre de 1966	7,8	25,5° S; 70,7° W	0,8 metros en Caldera	1

* Según la escala de intensidad de tsunamis Inamura-Lida¹⁴, los tsunamis registrados en la Región de Atacama han oscilado entre grado 1 y grado 3. Para un tsunami grado 3, se estima que las olas pueden alcanzar entre 10 y 20 metros de altura, y los daños pueden extenderse a lo largo de 400 km de la costa, alcanzando como cota máxima entre 8 y 12 metros en el avance de la ola. Fuente: www.shoa.cl

1.8.4 Remoción en Masa

La remoción en masa se refiere a todos los procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores¹⁵.

Existen antecedentes de la ocurrencia de remoción en masa en la región de Atacama. De acuerdo al estudio de Hauser (1993), éstos estarían localizados en la cuenca del río Copiapó y son principalmente flujos de barro, aluviones, subsidencia y hundimientos.

1.8.4.1 Flujos de Barro

La palabra “flujo”, designa movimiento en masa de mayor o menor velocidad, propios de materiales sin cohesión, los materiales actúan, temporalmente, como un fluido, experimentando una deformación continua y sin presentar superficies de rotura definida¹⁶.

En la Región de Atacama se han identificado áreas donde se han desencadenado flujos de barro, eventos asociados a la ocurrencia de precipitaciones de gran intensidad en zonas de relieve abrupto,

¹⁴

http://www.igp.gob.pe/sismologia/servicios/biblioteca_cndg/compendio/rev2001_pdf/proc_int_oswaldo.pdf

¹⁵ Hauser, A. 1993. “Remociones en masa en Chile”

¹⁶ Ferrer, 1987, p: 183. Citado por Hauser, A. 1993

generalmente desprovisto de vegetación y conformados por rocas volcánicas, sedimentarias e intrusivas, normalmente afectadas por procesos de meteorización y/o fracturamiento superficial. Éstos fueron observados en las quebradas Cerrillos y Paipote; también en el extremo sur de la Laguna del Negro Francisco y la ladera norte del Cerro Bramador. Flujos laminares se han detectado en sectores de la quebrada Paipote y en torno al tranque Lautaro, en valle del río Copiapó (Hauser, 1993).

1.8.4.2 Aluviones

Es un flujo aluvional producido por el abrupto colapso de un lago glacial¹⁷. Los antecedentes de ocurrencia en la región señalan que el día 14 de mayo de 1985, un violento aluvión, con un volumen total estimado de $5 \times 10^6 \text{ m}^3$, se precipitó por el valle del río Manflas, afluente del río Copiapó. El material movilizado, incluyendo gran cantidad de piedras y restos vegetales, en una matriz de arena y lodo con elevado contenido de humedad, tras recorrer aproximadamente 15 km, se descargó a la cubeta del embalse Lautaro, donde se depositó. El origen estaría relacionado con el colapso del frente o muro de material morrénico y hielo que formaba una laguna proglacial hacia las cabeceras de la hoya del río Seco de los Tronquitos (5.200 m.s.n.m.).

Temperaturas inusualmente elevadas habrían favorecido intensos deshielos, modificando el equilibrio preexistente en la barrera. En su punto de origen, el flujo habría alcanzado un caudal de 11.000 m^3 ¹⁸

1.8.4.3 Subsistencia y Hundimiento

Se entiende por subsidencia un descenso lento y paulatino del suelo, un movimiento brusco en la vertical, más o menos puntual, de una porción del terreno¹⁹. En Chile, este tipo de remociones se asocia mayoritariamente a la explotación minera de cobre, que se realiza con minas subterráneas (Hauser, 1993).

En la región de Atacama se han registrado dos eventos de este tipo. El día 6 de marzo de 1993 se produjo un voluminoso cráter de hundimiento, 14.000 m^3 , en torno al caso urbano de la ciudad de Tierra Amarilla. Su origen estaría vinculado a laboreos subterráneos en la mina Santos, su desarrollo se relacionó con un abrupto incremento local en los niveles freáticos, en terrenos de cobertura fluvioaluvional²⁰. Otro proceso de subsidencia se registró en el sector de Monte Amargo, en el valle del río

¹⁷ American Geological Institute. Cit p: 334. Citado por Hauser, A. 1993

¹⁸ Peña y Escobar. Citado por Hauser, A. 1993

¹⁹ Durán, 1987, p: 262. Citado por Hauser, A. 1993

²⁰ Hauser, A. "Hundimiento Asociado a laboreos subterráneos en mina Santos, Tierra Amarilla, III Región" SERNAGEOMIN, 1993



Copiapó. Se relaciona con descensos en los niveles freáticos en terrenos previamente ocupados por antiguas zonas pantanosas o vegas.