DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

INCORPORACIÓN LÍNEA DE TRANSMISIÓN SE ALFA SOLAR-SE KIMAL 2x220 kV

CARACTERIZACIÓN DEL COMPONENTE HIDROGEOLOGÍA

Noviembre 2026

Sebastián Astete/ Elizabeth Pérez	**Paulina Brugerolles**	**Fernando Valdés**
ELABORADO POR	**REVISADO POR**	**APROBADO POR**
Especialista Hidrogeología	**Jefe de Proyectos**	**Gerente Área de Negocios Ambientales**

INDICE DE CONTENIDOS

2.9. CARACTERIZACIÓN DEL COMPONENTE HIDROGEOLOGÍA....4
2.9.1. INTRODUCCIÓN....4
2.9.2. OBJETIVOS....6
2.9.2.1. Objetivo General....6
2.9.2.2. Objetivos Específicos....6
2.9.3. ÁREA DE INFLUENCIA **....7**
2.9.3.1. Criterios Metodológicos para la Determinación del Área de Influencia....7
2.9.3.2. Identificación y Espacialización de los Factores Generadores de Impacto (FGI) 7
2.9.3.3. Delimitación y Justificación del Área de Influencia (AI)....9
2.9.3.4. Área de Estudio (AE) para Contextualización Regional....9
2.9.4. METODOLOGÍA....10
2.9.4.1. Geología....10
2.9.4.2. Geomorfología....11
2.9.4.3. Hidrogeología....11
2.9.4.3.1. Hidrogeología Regional....11
2.9.5. RESULTADOS....12
2.9.5.1. Caracterización Geología....12
2.9.5.1.1. Geología Regional....12
2.9.5.1.1.1. Unidades Metamórficas....13
2.9.5.1.1.2. Unidades Intrusivas....14
2.9.5.1.1.3. Unidades Estratificadas....14
2.9.5.1.1.4. Unidades No Estratificadas....17
2.9.5.1.2. Geología Estructural....17
2.9.5.1.3. Geomorfología....19
2.9.5.1.4. Geología en el Área del Proyecto....21
2.9.5.2. Marco Hidrogeológico Regional....23
2.9.5.2.1. Hidrografía....23
2.9.5.2.2. Sistemas Acuíferos y Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común 25
2.9.5.2.3. Unidades Hidrogeológicas....26
2.9.5.2.4. Parámetros Hidráulicos....27
2.9.5.2.4.1. Transmisividad y Conductividad Hidráulica....28
2.9.5.2.4.2. Coeficiente de Almacenamiento y Porosidad....28
2.9.5.2.5. Piezometría....28
2.9.5.2.5.1. Cota Piezométrica y Sentido del Flujo....28
2.9.5.2.5.2. Nivel freático y análisis de interferencia con obras del Proyecto...30
2.9.5.2.5.3. Análisis DGA y derechos Aguas Subterráneas....32
2.9.5.3. Niveles Históricos....34
2.9.5.4. Hallazgos de Terreno....35
2.9.6. CONCLUSIONES....36
2.9.7. BILIOGRAFÍA....38

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de influencia hidrogeología. 10
Figura 2. Mapa geológico área de estudio. 13
Figura 3. Mapa de fallas geológicas. 18
Figura 4. Mapa de geomorfología. 21
Figura 5. Geología del área de estudio y emplazamiento de las obras del Proyecto. 22
Figura 6. Mapa de hidrografía cuenca del río Loa. 24
Figura N° 7 Mapa de Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común (SHAC) Región Antofagasta. 25
Figura 8. Mapa de sector hidrogeológico cuenca del río Loa. 27
Figura 9. Mapa de distribución espacial de las curvas isofreáticas. 30
Figura 10. Mapa distribución de profundidad del nivel freático. 31
Figura 11. Mapa de localización de derechos de aguas subterráneas. 34

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Derechos de aprovechamientos de agua subterráneas ubicadas en la subcuenca de Loa Medio que pertenecen a la comuna de María Elena. 33

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Vista general del área de estudio. 19
Fotografía 2. Ventifactos y pavimento desértico en el área del Proyecto. 20
Fotografía 3. Estrato superficial observado en el área del Proyecto. 22

2.9. CARACTERIZACIÓN DEL COMPONENTE HIDROGEOLOGÍA

2.9.1. INTRODUCCIÓN

En el marco de la evaluación ambiental mediante Declaración de Impacto Ambiental (DIA), se presenta la caracterización ambiental de la componente Hidrogeología para el proyecto denominado **"Incorporación Línea de Transmisión SE Alfa Solar – SE Kimal 2x220 kV"** (en adelante, el "Proyecto"), cuyo titular corresponde a **Pleiades S.A.** El Proyecto se localiza en la comuna de María Elena, provincia de Tocopilla, Región de Antofagasta, y constituye una modificación del proyecto *"Parque Fotovoltaico Alfa Solar"*, calificado ambientalmente favorable mediante Resolución Exenta N° 0222/2021 de la Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de Antofagasta.

El objetivo general del Proyecto es habilitar una nueva línea de transmisión y evacuación eléctrica hacia el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) conectando con la Subestación Kimal 220 kV, manteniendo la interconexión previamente autorizada hacia la Subestación Crucero. Para materializar esta configuración operacional, la modificación contempla la incorporación de obras permanentes y temporales clave en el sector sur del Parque, destacando principalmente:

- Una nueva Línea de Transmisión Eléctrica (LAT) aérea de alta tensión en 2x220 kV, doble circuito, de aproximadamente 4,33 km de longitud, soportada por quince (15) estructuras metálicas reticuladas y sus respectivos marcos de línea, con una franja de seguridad de 60 metros de ancho total;
- La nueva Subestación Elevadora Alfa Solar Sur 220/33 kV (tecnología AIS a la intemperie sobre una plataforma aproximada de 4,40 ha), conjuntamente con los Edificios Eléctricos Sur 01 y Sur 02;
- Un nuevo Sistema de Almacenamiento de Energía mediante Baterías (BESS Sur) con una potencia de 800 MW en el punto de interconexión, 4 horas de autonomía y 3.200 MWh de capacidad nominal (compuesto por 648 contenedores de almacenamiento y 108 centros de transformación MVS/PCS);
- Una nueva Área de Operación y Mantenimiento (O&M Sur) de aproximadamente 0,85 ha para albergar el edificio de control, almacenes, garita, estanque de agua potable permanente y bodegas de residuos (RSD, RSINP, RESPEL y SUSPEL);
- Obras de conexión y llegada en la S/E Kimal 220 kV (ejecutando las interfaces de la LAT con las ampliaciones a cargo de terceros);
- Dos áreas de acopio permanente de excedentes de excavación y movimientos de tierra correspondientes al Botadero Sur (1,42 ha) y Botadero Norte (3,57 ha);
- Una adecuación localizada en la distribución del área de paneles fotovoltaicos del sector sur para compatibilizar el trazado interno sin alterar la potencia de generación fotovoltaica aprobada; y
- Obras e instalaciones temporales de apoyo a la construcción, que incluyen la Instalación de Faenas Sur (IIFF Sur) de aproximadamente 3,4 ha, frentes de trabajo móviles de la LAT, plazas de tendido y huellas de servicio transitorias.

El presente informe técnico se elabora en estricto cumplimiento de lo establecido en la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y el artículo 19, letra b) del D.S. N° 40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA). Asimismo, acoge los criterios y directrices emanados de las guías oficiales vigentes del Servicio de Evaluación Ambiental, en particular la *"Guía para la delimitación y descripción del Área de Influencia en el SEIA"* (SEA, 2024 / 2da Edición 2026) y el *"Criterio de evaluación en el SEIA: Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo"* (SEA - DGA).

Bajo este marco, se entregan los antecedentes hidrogeológicos, geológicos, estructurales y geomorfológicos a nivel de contextualización regional (Área de Estudio asociada a la cuenca del Río Loa) y a nivel local, con el propósito de caracterizar las unidades hidrogeológicas, la profundidad del basamento, los parámetros hidráulicos y el comportamiento piezométrico referencial. Asimismo, se justifica técnica y espacialmente la delimitación del Área de Influencia sobre el objeto de protección aguas subterráneas, demostrando fundadamente que, al no contemplarse extracción o alumbramiento de aguas subterráneas, y dado que la gestión de efluentes domésticos se enmarca en un sistema mixto bajo el PAS 138 —donde el 50% de las aguas servidas y lodos se retira mediante camiones limpiafosas autorizados y el 50% restante del efluente tratado se infiltra a través de drenes someros con una zona vadosa de bioatenuación superior a 23 m sobre el nivel freático—, las partes, obras y acciones del Proyecto no generan ni presentan los efectos, características o circunstancias contemplados en el artículo 11 de la Ley N° 19.300.

2.9.2. OBJETIVOS

2.9.2.1. Objetivo General

Caracterizar las condiciones hidrogeológicas regionales entorno al Área de Estudio del Proyecto "Incorporación Línea De Transmisión Se Alfa Solar-Se Kimal 2x220 kV", delimitando e identificando las unidades hidrogeológicas, la piezometría, la vulnerabilidad cualitativa y las posibles vías de interacción entre las obras proyectadas y las aguas subterráneas.

2.9.2.2. Objetivos Específicos

- Recopilar y sistematizar antecedentes geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidrogeológicos y cartográficos oficiales para caracterizar el sistema de aguas subterráneas y su contexto territorial.
- Delimitar las unidades hidrogeológicas, establecer rangos referenciales de parámetros hidráulicos y desarrollar una apreciación cualitativa de la vulnerabilidad del medio hidrogeológico.
- Estimar una superficie piezométrica regional de carácter referencial, determinando tendencias generales de carga hidráulica y dirección de flujo a partir de los antecedentes disponibles.
- Integrar los antecedentes de las Líneas de Base de Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales, e Hidrología e Hidrografía, junto con los hallazgos de terreno, para reconocer zonas de recarga, tránsito y descarga.
- Analizar preliminarmente las vías de interacción entre movimientos de tierra, rellenos, excavaciones, fundaciones, drenajes y circuitos de vertientes con las aguas subterráneas, sin reemplazar la posterior evaluación de impactos.
- Evaluar las proyecciones de cambio climático pertinentes al recurso hídrico e identificar brechas de información relevantes para la evaluación ambiental.

2.9.3. ÁREA DE INFLUENCIA

2.9.3.1. Criterios Metodológicos para la Determinación del Área de Influencia

La determinación y justificación del Área de Influencia (AI) para la componente Hidrogeología se desarrolló en conformidad con el artículo 19, letra b) y artículo 2°, letra a) del D.S. N° 40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente (Reglamento del SEIA), y conforme a las directrices vigentes establecidas en la "Guía para la delimitación y descripción del Área de Influencia en el SEIA" (SEA) y el documento técnico "Criterio de Evaluación en el SEIA: Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo" (SEA - DGA).
De acuerdo con el marco metodológico del SEA, el AI corresponde al espacio geográfico donde se manifiestan o podrían manifestarse los impactos ambientales sobre los Objetos de Protección (OP) receptores, definido a partir de la identificación y espacialización de los Factores Generadores de Impacto (FGI) de las partes, obras y acciones del Proyecto en sus fases de construcción, operación y cierre.

2.9.3.2. Identificación y Espacialización de los Factores Generadores de Impacto (FGI)

El Proyecto "Incorporación Línea de Transmisión SE Alfa Solar – SE Kimal 2x220 kV" corresponde a una modificación de proyecto que contempla tanto obras permanentes como temporales, las cuales definen la huella física y operacional de intervención:

a) Obras Permanentes:
- Línea de Transmisión Aérea 2x220 kV Alfa Solar – Kimal (~4,33 km de longitud, 15 estructuras reticuladas de acero y marcos de línea en extremos, con franja de seguridad de 60 m de ancho total).
- Subestación Elevadora Alfa Solar Sur 220/33 kV (patio intemperie AIS, superficie aproximada de 44.000 m² / 4,40 ha).
- Edificios Eléctricos Sur 01 y Sur 02 (~456 m² cada uno).
- Sistema de Almacenamiento de Energía mediante Baterías (BESS Sur), con potencia de 800 MW / 3.200 MWh (~77.539 m² / 7,75 ha).
- Área de Operación y Mantenimiento (O&M Sur, ~8.559 m² / 0,85 ha) con edificio administrativo, estanque permanente de agua potable, almacenes y bodegas de residuos (RSD, RSINP, RESPEL y SUSPEL).
- Botadero Norte (~35.704 m² / 3,57 ha) y Botadero Sur (~14.209 m² / 1,42 ha) para disposición permanente de excedentes de excavación.
- Obras de conexión en S/E Kimal 220 kV y caminos de servicio permanentes.

b) Obras Temporales:
- Instalación de Faenas Sur (IIFF Sur, ~33.945 m² / 3,39 ha), áreas de apoyo logístico y salvataje, frentes móviles de construcción de la LAT y plazas de tendido.

Respecto de los potenciales mecanismos de interacción con las aguas subterráneas, se constatan los siguientes antecedentes de diseño e ingeniería:

1. Inexistencia de extracción o uso de aguas subterráneas: El Proyecto no contempla pozos, norias, drenes ni captaciones de recursos hídricos subterráneos. El abastecimiento de agua potable (máx. 82,5 m³/día en construcción; 3,3 m³/día en operación) y de agua industrial (21,4 m³/día en construcción para humectación y compactación) se realizará íntegramente mediante camiones aljibe abastecidos por terceros formalmente autorizados.

2. Profundidad de excavaciones vs. Nivel freático: Las mayores profundidades de excavación corresponden a las fundaciones de las estructuras de la LAT (entre 2,0 y 3,5 m) y a nivelaciones de plataformas y fundaciones de la S/E Sur y BESS Sur (menores a 2,0 m). el análisis de la superficie piezométrica y la topografía local determina que el nivel freático se sitúa a profundidades iguales o superiores a 25 metros bajo el nivel del terreno en el sector más somero del emplazamiento de las obras, al existir una holgura vertical mínima no saturada de al menos 21,5 m respecto al sello de fundación más profundo, se descarta cualquier interacción o contacto físico con la napa freática, el alumbramiento de aguas subterráneas o la necesidad de obras de agotamiento freático.

3. Gestión de efluentes domésticos y obras de infiltración (PAS 138): El abastecimiento de agua potable e industrial se realizará íntegramente mediante camiones aljibe autorizados. Para el manejo de las aguas servidas domésticas generadas durante las fases del Proyecto, el Titular tramita el Permiso Ambiental Sectorial del Artículo 138 del RSEIA (PAS 138) bajo un esquema de gestión mixto, un 50% de las aguas servidas y los lodos generados será retirado de forma continua y periódica por empresas limpiafosas sanitariamente autorizadas para su disposición final externa; mientras que el 50% restante del efluente tratado será dispuesto en el terreno mediante un sistema subsuperficial de drenes/cañerías filtrantes de absorción[1], dado que los drenes se emplazan a una profundidad menor a 2,0 m y que el nivel freático se localiza a más de 25 m bajo el terreno, se cuenta con una zona vadosa de aireación superior a 23 m que proporciona condiciones favorables para la atenuación natural del efluente previo a cualquier eventual interacción con el medio saturado, por su parte, los RILES de lavado de canoas mixer (~0,10 m³/día) se confinan en piscinas estancas impermeabilizadas para decantación y reúso en humectación o retiro externo autorizado, sin descargas directas al suelo.

[1] Conforme a ensayos de infiltración de terreno ($K4 = 148$ L/m^2/día)

2.9.3.3. Delimitación y Justificación del Área de Influencia (AI)

Considerando que el objeto de protección corresponde al recurso hídrico subterráneo (calidad y cantidad del agua subterránea) y que el Proyecto:

I. No extrae ni alumbra aguas subterráneas;
II. Las obras de infiltración (drenes del PAS 138) se desarrollan en los primeros 2 m de suelo y cuentan con un estrato no saturado superior a 23 m de espesor que impide la afectación del perfil freático; y
III. Las excavaciones más profundas (fundaciones de torres de la LAT hasta 3,5 m) se emplazan con una holgura superior a 21,5 m sobre el nivel de agua subterránea más superficial; no se configuran conos de abatimiento ni plumas de transporte contaminante hacia el acuífero. Por tanto, el Área de Influencia queda circunscrita a la huella territorial de las partes y obras permanentes y temporales, y a la franja de servidumbre de 60 m de la Línea de Transmisión.

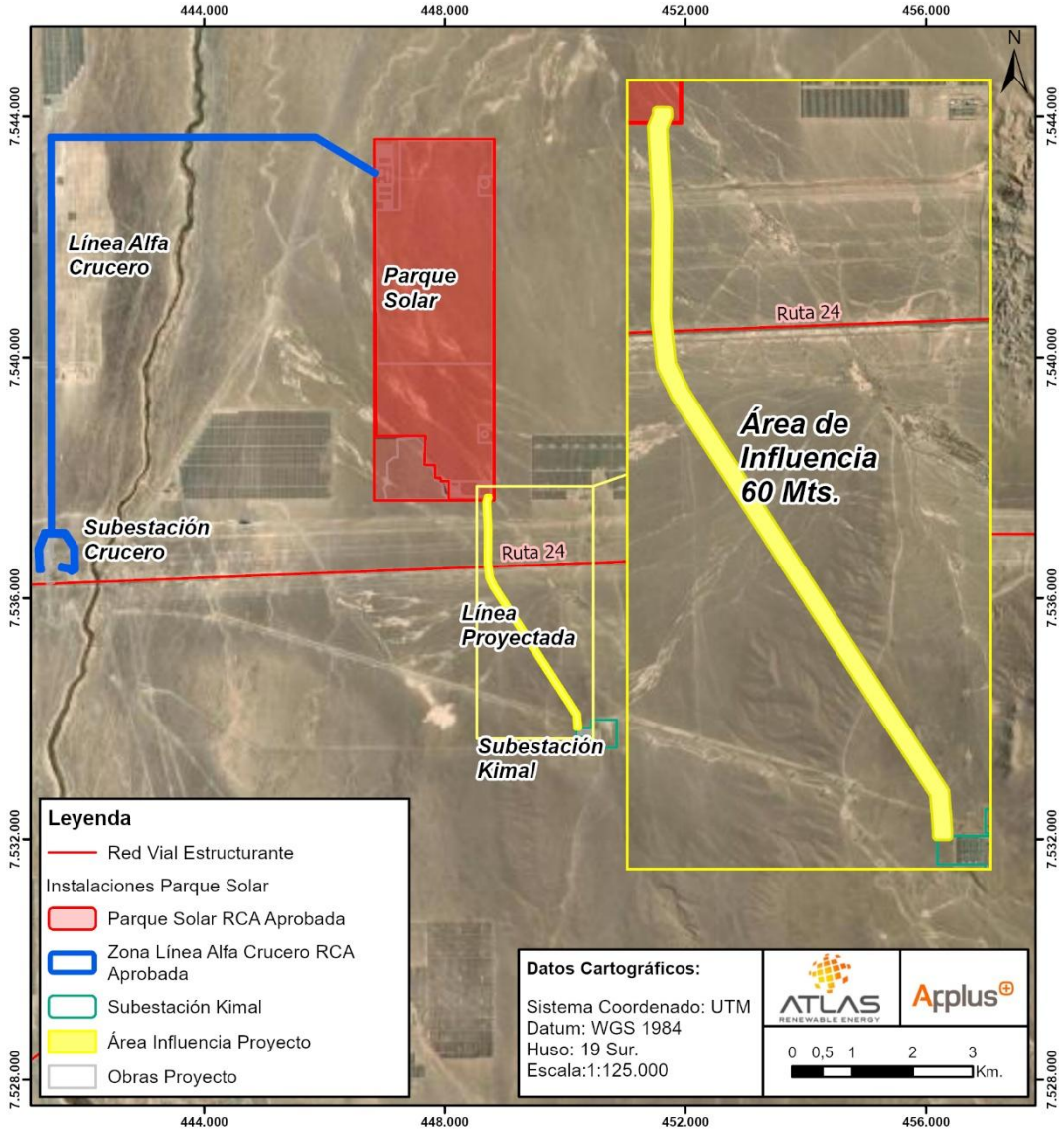
En consecuencia, aplicando un criterio precautorio y de correspondencia territorial conforme a la Guía de Áreas de Influencia del SEA, se delimita el Área de Influencia de la componente Hidrogeología como el polígono continuo que abarca el emplazamiento directo de todas las partes, obras y acciones permanentes y temporales del Proyecto (S/E Elevadora Sur, BESS Sur, O&M Sur, Botaderos Norte y Sur, IIFF Sur, caminos internos) y la franja de servidumbre de 60 m de ancho a lo largo de los 4,33 km de trazado de la Línea de Transmisión Alfa Solar Sur – Kimal 2x220 kV.

Fuera de este límite no se proyecta alteración alguna sobre los atributos físicos, químicos o hidrodinámicos de las aguas subterráneas, justificándose la inexistencia de impactos significativos sobre el recurso hídrico conforme a los literales del artículo 11 de la Ley N° 19.300.

2.9.3.4. Área de Estudio (AE) para Contextualización Regional

En concordancia con los lineamientos del SEA para la contextualización de cuencas (Paso 3 de la metodología), se define un Área de Estudio (AE) regional basada en la subsubcuenca hidrográfica "Río Loa entre Río San Salvador y Quebrada Amarga" (código DGA 02113, subcuenca Loa Medio). Esta unidad hidrogeológica y territorial permite caracterizar la dinámica de recarga precordillerana, las direcciones preferenciales de escurrimiento subterráneo (sur a norte hacia el nivel de base del Loa), el control estructural de la Falla de Atacama y la relación con los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) colindantes (SHAC Loa desde María Elena hasta Quillagua y SHAC Salar de Miraje). Se deja expresa constancia de que el Área de Estudio cumple exclusivamente una función de análisis contextual y de línea de base, diferenciándose nítidamente del Área de Influencia del Proyecto.

Figura 1. Área de influencia hidrogeología.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.9.4. METODOLOGÍA

2.9.4.1. Geología

Para la caracterización geológica del Área de Estudio se revisó cartografía oficial y bibliografía técnica a escala regional. La interpretación se contrastó con la Línea de Base de Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales del mismo Proyecto, de manera de mantener consistencia en la nomenclatura de unidades, estructuras y contactos utilizados como sustento de la interpretación hidrogeológica.

Como fuente principal se utilizó la "Mapa Geológico de Chile", escala 1:100.000 (SERNAGEOMIN., 2015), complementada con los antecedentes regionales citados en la línea de base específica de geología. A partir de esta información se analizó la distribución de las unidades dentro del Área de Estudio y su entorno.

2.9.4.2. Geomorfología

El análisis geomorfológico del Área de Estudio se desarrolló a partir de antecedentes bibliográficos y del procesamiento de información topográfica, con el objetivo de caracterizar las principales unidades geomorfológicas y su relación con el drenaje superficial.
Como referencia para el contexto regional se consideró la clasificación geomorfológica propuesta por Börgel (1983) e informes bibliográficos de otros proyectos.

2.9.4.3. Hidrogeología

2.9.4.3.1. Hidrogeología Regional

El análisis hidrogeológico se efectuó mediante revisión bibliográfica y tratamiento SIG a escalas regional y local. Se consideraron la "Metodología para la delimitación y sectorización de acuíferos a nivel nacional" (DGA, 2014), el Mapa Hidrogeológico de Chile (DGA, 1986), los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común, el Catastro Público de Aguas, los registros de monitoreo y los antecedentes de las líneas de base relacionadas. El análisis comprendió:

- Unidades geológicas y geomorfológicas relevantes para los procesos de recarga, tránsito y descarga de aguas subterráneas.
- Sistemas acuíferos, Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común y unidades hidrogeológicas clasificadas según litología, consolidación, fracturamiento y condiciones de alteración.
- Niveles estáticos, antecedentes de captaciones y parámetros hidráulicos disponibles en expedientes y bases oficiales de la DGA.
- Red de drenaje superficial y relaciones observables entre cauces, quebradas, escarpes costeros y zonas húmedas, en concordancia con la Línea de Base de Hidrología e Hidrografía.
- Observaciones de terreno georreferenciadas y registro fotográfico, utilizadas como verificación cualitativa de las condiciones locales.

La interpretación de los antecedentes hidrogeológicos se realizó considerando expresamente su escala de representación. En consecuencia, los parámetros hidráulicos, niveles de agua, profundidad del basamento y demás características reportadas en estudios regionales fueron utilizados como antecedentes de contexto y no como valores representativos directos de las condiciones hidrogeológicas bajo las obras del Proyecto, debido a la ausencia de investigaciones hidrogeológicas locales específicos.

Entre los principales antecedentes consultados se consideran:

- Dirección General de Aguas (DGA). Mapoteca Digital, incluyendo información de cuencas, subcuencas, subsubcuencas, acuíferos y Sectores Hidrogeológicos de

Aprovechamiento Común (SHAC), mapa hidrogeológico y antecedentes sobre restricciones al aprovechamiento de aguas subterráneas.

- Knight Piésold S.A. (2014). Sectorización de los Acuíferos de la Cuenca del Río Loa.
- Dirección General de Aguas & DICTUC (2005). Hidrogeología de la II Región y Asesoría para la Revisión de Informes de Estudios de Evaluación de Recursos Hídricos.
- Resolución Exenta DGA N° 05/2012, que declara área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común "Salar de Llamara", que incluye la comuna de María Elena, Región de Antofagasta.
- ARCADIS (2016). Informe de Caracterización Hidrología e Hidrogeología, Declaración de Impacto Ambiental "Proyecto Subestación Frontera 220 kV".

2.9.5. RESULTADOS

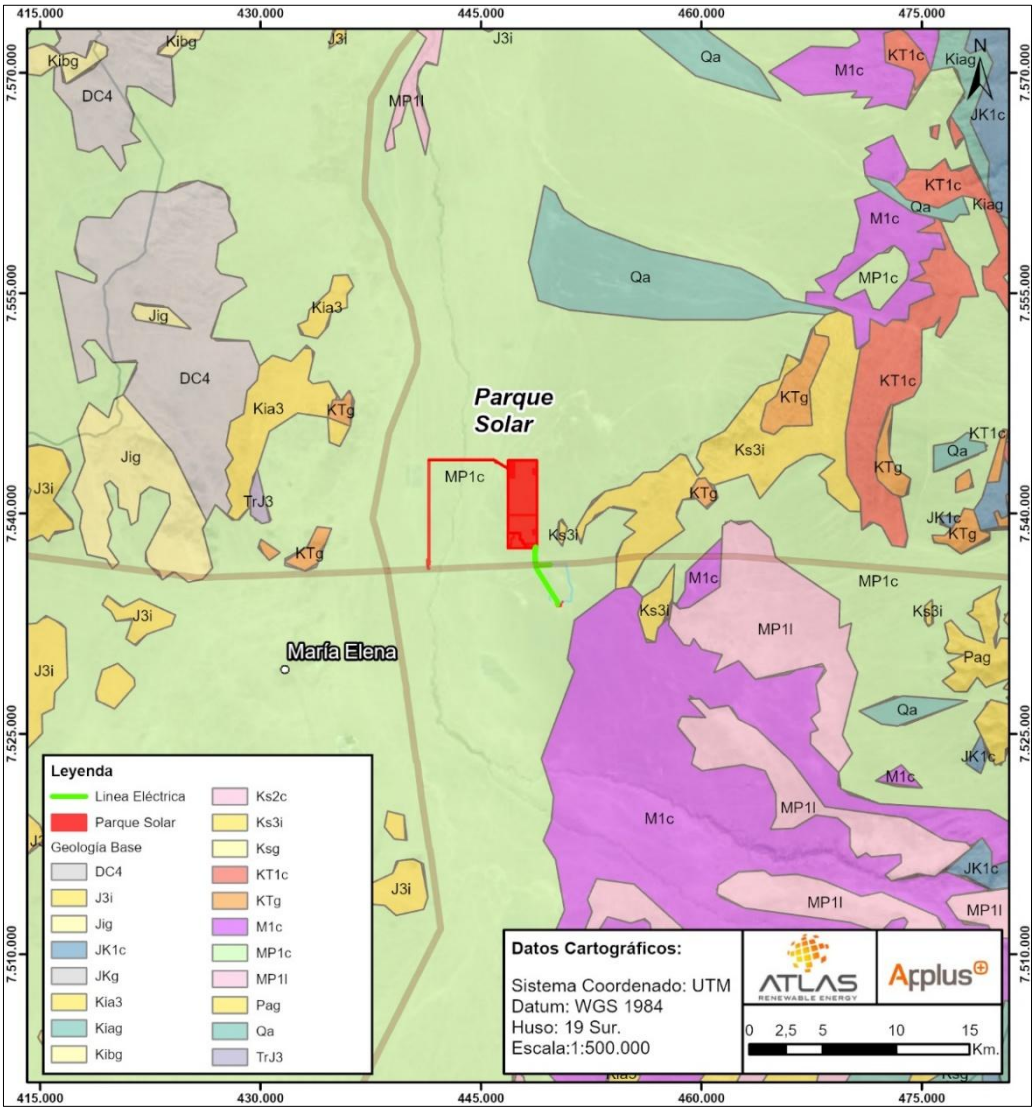
2.9.5.1. Caracterización Geología

2.9.5.1.1. Geología Regional

Para determinar las unidades geológicas donde se emplaza el Proyecto se utilizó el Mapa geológico de Chile del SERNAGEOMIN (Figura N°2), se pueden identificar solo una unidad geológica que se encuentran en el área de influencia del Proyecto:

MP1c (Mioceno Superior-Plioceno) Secuencias sedimentarias clásticas de piedemonte, aluviales, coluviales o fluviales: conglomerados, areniscas y limolitas.

Figura 2. Mapa geológico área de estudio.



Fuente SERNAGEOMIN, 2026.

El Proyecto se emplaza completamente sobre la unidad geológica MP1c, la cual incluye depósitos clásticos de piedemonte (conglomerados, areniscas, limolitas) caracterizados por ser polimícticos y mal seleccionados. Los conglomerados contienen clastos volcánicos de la cordillera, con una matriz areno-limosa y cementación débil, reflejando su origen en pulsantes flujos aluviales. Las lentes de limolitas intercaladas reflejan la sedimentación variable de los abanicos.

2.9.5.1.1.1. Unidades Metamórficas

No se identificaron Unidades Metamórficas para el área en estudio, no hay fuentes en SERNAGEOMIN que caracterizaran la cuenca.

2.9.5.1.1.2. Unidades Intrusivas

Granodiorita andina, Kg (Cretácico): Afloramientos aislados que aparecen en la zona oriental del área de estudio, en donde se reconocen granodioritas leucocráticas silíceas, pórfidicas, de grano medio, que intruyen cuerpos granodioríticos anteriores, a las sedimentitas de la secuencia Cerritos Bayos y a rocas volcánicas de la Formación Augusta Victoria (Kv).

Intrusivo Hipabisal Riberano, KPghr (Cretácico Superior - Paleógeno): Cuerpo intrusivo expuesto aisladamente en el sector centro – oriental de las cartas Tocopilla y María Elena, al norte de la Oficina María Elena, en la quebrada Río Seco. Corresponden a rocas con una textura porfídica, de composición riolítica a dacítica, además se reconoció una variedad, también porfídica, con mayor volumen de fenocristales de plagioclasa y escaso cuarzo (monzodioritica cuarcífera) con variaciones en el tamaño de grano. Este pórfido intruye a rocas correspondientes a la facies de tobas riodacíticas (c) de los Estratos de Cerro Cortina (Kscc) produciendo silificación. Por esta relación de contacto se le asigna una edad tentativa cretácica superior – paleógena.

Diorita y Monzodiorita del Cerro Pedregoso, KPadp (Cretácico Superior - Paleoceno): Diorita cuarcífera de grano fino y monzodiorita cuarcífera gris con bandeamiento ígneo, localizadas en el cerro Pedregoso y al sur de éste, en la parte sur – oriental del área de estudio al este de las ruinas de la Oficina Vergara. Intruyen a andesitas y riolíticas de los Estratos de Cerro Cortina (Kscc). La monzodiorita cuarcífera presenta textura hipidiomórfica inequigranular con intercrecimiento granofírico.

2.9.5.1.1.3. Unidades Estratificadas

Existe información en otros proyectos para caracterizar regionalmente en la cuenca del Río Loa y sus unidades Estratificadas (Terra Ignota, 2026).

Formación El Toco, Det (Devónico – Superior): Sucesión de sedimentitas clásticas grises consistentes en grauvaca y lutita, cuya localidad tipo es la Sierra Angostura. Su base no está expuesta y su techo está en contacto discordante con volcanitas del Complejo Volcánico Cortina. Más al norte, las rocas de la Formación El Toco están instruidas por dos cuerpos graníticos de edad carbonífera inferior. Además de los afloramientos de las sierras Angostura y de la Cruz, otro afloramiento característico de esta formación se sitúa al oeste de María Elena, en el cerro Chilecito. La Formación el Toco presenta gran complejidad estructural pues la sucesión estratigráfica está intensamente deformada según pliegues decamétricos del tipo chevron, algunos están volcados, y sus ejes son aproximadamente horizontales, tienen rumbo noroeste – sureste y su vergencia es hacia el suroeste. Las rocas que la componen están afectadas por un metamorfismo de muy bajo grado manifestado en la presencia de clorita y epidota. Litológicamente, la Formación El Toco es una sucesión estratificada compuesta por capas centimétricas grises a gris verdosa de areniscas finas a gruesas alteradas con lutitas. Las capas de areniscas son macizas y en algunos casos presentan gradación, incluyendo algunas areniscas

calcáreas. Tanto las areniscas más finas como las lutitas son frecuentemente fisibles y presentan rasgos de matamorfismo de bajo grado.

Formación La Negra, Jln (Jurásico): Definida en la quebrada La Negra, al sur de la ciudad de Antofagasta, como una sucesión continua de mantos de lavas porfíricas (andesíticas), parcialmente amigdaloidales, de color gris oscuro en parte verdoso, en las que se intercalan algunos bancos de brecha porfíricas y de areniscas gruesas de color rojo. Al norte del Río Loa, se ha determinado una potencia de 4.000 m (Bobenrieth, 1979). Aproximadamente 50 km hacia el NW desde Quillagua, la unidad presenta intercalaciones sedimentarias marinas de hasta 400 m de espesor, constituidas por areniscas calcáreas de color pardo-rojizo o verde, y calizas fosilíferas grises (Skarmeta y Marinovic, 1981). Al oeste de Taltal, en los alrededores de Cerro Blanco, Naranjo y Puig (1984) describen la intercalación de niveles de rocas sedimentarias marinas con areniscas, margas, calizas y lutitas fosilíferas. Adicionalmente, los mismos autores mencionan el afloramiento de un nivel sedimentario marino constituido por areniscas y conglomerados con fauna marina fósil al suroeste de Sierra Buena Esperanza. Los afloramientos de la Formación La Negra se extienden a lo largo de la Cordillera de la Costa, donde yace discordantemente sobre capas de la Formación Posada los Hidalgo. Al sur de Antofagasta, en la quebrada El Way, subyace en discordancia angular a la Formación Caleta Coloso (Medina et al., 2012).

Formación Augusta Victoria, Kv (Cretácico Medio – Superior?): Definida en el sector de la estación Augusta Victoria como una sucesión de aproximadamente 2.000 m de coladas andesíticas, con brechas volcánicas en la base e ignimbritas hacia el techo, asignada al Cretácico medio a superior, que sobreyacen de manera discordante a estratos marinos jurásicos (García, 1967). De acuerdo con Ferraris (1978), la porción superior de la unidad se correlaciona con una sucesión de riolitas que componen a la Formación Peña Morada, definida hacia el noreste del área de la Hoja Tocopilla, la cual ha sido asignada a una edad cretácica media mediante dataciones radiométricas (Huete et al., 1977).

Estratos de Cerro Cortina, Kscc (Cretácico Superior): Conjunto de tobas y lavas, y en menor proporción, intercalaciones de areniscas, afloran en los cerros Tupiza, Áspero, Cortina, Ramaditas, Carpa, Amarillo, Lagarto y La Cortadera. Otros afloramientos de esta misma unidad se distribuyen en el sector norte inmediatamente al este de la sierra de la Cruz, en los cerros Los Lunares, Hermanos y Bellavista. En este complejo se incluye una unidad de tobas de ceniza de composición riolítica que aflora en el cerro 1.423, al norte del cerro Bellavista, que había sido descrita como Secuencia de la Cruz por Boric (1981 in Medina et al., 2012). En el sector norte, las volcanitas de los Estrato de Cerro Cortina yacen, en discordancia angular, sobre las metasedimentitas pardas y plegadas del Devónico, de la Formación El Toco. El límite superior de esta unidad es la actual superficie de erosión o depósitos aluviales cenozoicos. Los Estratos de Cerro Cortina están cortados por monzodioritas cuarcíferas y dioritas cuarcíferas del intrusivo del cerro Pedregoso en los cerros Los Lunares y Hermanos, en la quebrada Río Seco y en el propio cerro Pedregoso.

Los afloramientos presentan colores que varían del gris al pardo amarillento, tienen un diaclasamiento moderado y en ciertos lugares hay profusas diaclasas en forma de lajas. Este

aspecto, además de su litología, suele ser característico de las rocas extrusivas de esta unidad exceptuando las zonas muy silicificadas que presentan un aspecto de cuerpo macizo. Entre los cerros Tupiza y Cortina, las rocas se encuentran localmente muy alteradas a hematita-epidota-clorita, lo que le otorga un color pardo rojizo a pardo verdoso. Los Estratos de Cerro Cortina tienen, por lo general, una disposición sub-horizontal o levemente inclinada, hasta 20° E. En el cerro Cortina, presenta pliegues extendidos de ángulos interlimbales de entre 140 y 160º y longitudes de onda hectométricas. En cambio, en el área del cerro Áspero, las tobas de esta unidad se encuentran particularmente muy plegadas con longitudes de onda del orden decamétricas, y en ciertos casos, los estratos están subverticales.

Esta sucesión de estratos comprende tobas, lavas y areniscas, además de rocas hipabisales relacionadas, que han sido agrupadas en 4 facies principales: tobas riodacíticas (c), lavas y tobas andesíticas (b), tobas de caída (d) y tobas riolíticas (a). Esta última se observa en los niveles superiores del complejo que, en términos generales, están menos perturbados tectónicamente que los inferiores.

Depósitos aluviales, MPa (Mioceno - Plioceno): Corresponden a depósitos de grava arenosa poco consolidados. Están compuestos por gravas clasto-soportadas, mal seleccionadas, estratificadas en capas centimétricas, con clastos de grano fino a grueso, que ocasionalmente alternan con capas centimétricas a milimétricas de arenas laminadas. Esta unidad sobreyace discordantemente a los Estratos de Confluencia (unidad informal, oligocena) y a las rocas del basamento pre-cenozoico, e infrayace a la unidad de Depósitos Aluviales (PlHa) más reciente. Se estima una edad comprendida en el intervalo Mioceno-Plioceno (Medina et al., 2012).

Debido a su similitud litológica, edades estimadas y a la continuidad observada entre ambas cartografías se incluyen como parte de esta unidad los Sedimentos de relleno definidos en la Hoja Tocopilla (Ferraris, 1978). Estos fueron descritos como acumulaciones de gravas y arenas compactadas, deformadas producto de tectonismo ocurrido durante el terciario superior (equivalente al Mioceno superior-Plioceno) (Td); así como depósitos de gravas y arenas compactadas solevantados y erodados, asignados al Pleistoceno (Pld); relleno aluvial indiferenciado reciente (Hal) y depósitos de corrientes de barro antiguos y recientes (Hcb1 y Hcb2).

Formación Quillagua, Pq (Mioceno Superior – Pleistoceno Inferior): Definida en el área de Quillagua (21°30'S), comprende los depósitos semiconsolidados dispuestos en estratos horizontales que forman la cubierta calcárea de la pampa en una franja continua de orientación N-S. Sus depósitos son observables en las laderas del río Loa y a ambos costados de carretera Panamericana (Ruta 5). El color de los afloramientos es crema, blanquecino y en menor medida gris. En trabajos anteriores se había cartografiado a estos depósitos como parte de la Formación El Loa. Sin embargo, la primera mención como unidad individual fue hecha por Rieu (1975), la cual fue formalizada posteriormente por Naranjo y Paskoff (1982). De acuerdo con Medina et al. (2012), en el área de la cartografía Cartas Tocopilla y María Elena, la Formación Quillagua está representada por una sucesión de marga pulverulenta de color crema, diatomita blanca y caliza, con intercalaciones de travertino, lutita pardusca y grava arenosa gris, con un espesor variable

entre los 15 y 25 metros. En los alrededores de su localidad tipo, las asociaciones de facies de la Formación Quillagua representan un ambiente lacustre marginal con esporádicos eventos fluviales, pero más al sur, en el área correspondiente a la Carta Tocopilla y María Elena, las facies fluviales son mucho más abundantes (Sáez et al., 1999).

Las relaciones estratigráficas basales de la Formación Quillagua no están establecidas en toda su extensión. No obstante, inmediatamente al sur de la confluencia de los ríos Loa y San Salvador, se presenta encajada en la Formación El Batea (unidad del Mioceno medio) (Naranjo y Paskoff, 1982). Este contacto discordante, posiblemente, señala el límite meridional de la cuenca lacustre (Medina et al., 2012). El techo de la Formación Quillagua está constituido por los horizontes de marga y diatomita que determinan la superficie topográfica plana de la pampa. En ocasiones está cubiertas por depósitos aluviales o por pavimentos del desierto constituidos por chert y clastos derivados de esta misma formación (Medina et al., 2012).

Depósitos aluviales, PlHa (Pleistoceno – Holoceno): Los depósitos aluviales consisten en grava arenosa y limosa, que se observan, principalmente, rellenando los canales que constituyen el drenaje actual y cortan los Depósitos aluviales antiguos (MPa).

Depósitos fluviales, Hf (Holoceno): Estos depósitos incluyen los sedimentos fluviales activos localizados en el cauce de los ríos Loa y San Salvador. Comprenden gravas polimícticas, arenas y limos, no consolidados.

Depósitos de Relleno Artificial, Hra (Holoceno): Se distribuyen en una franja de orientación N-S al oeste de la carretera Panamericana, en los alrededores de las antiguas Oficinas Salitreras. Estos incluyen tortas de relaves y acopios de material estéril constituidos por grava, arena y limo, semi-consolidados, cementados por sales, laboreos de explotación de salitre (caliche) e instalaciones de antiguas Oficinas Salitreras, tales como las oficinas Buena Esperanza, Santa Isabel, María Elena, Pedro de Valdivia y Vergara, y acopios varios de material estéril asociados a la actividad industrial del área.

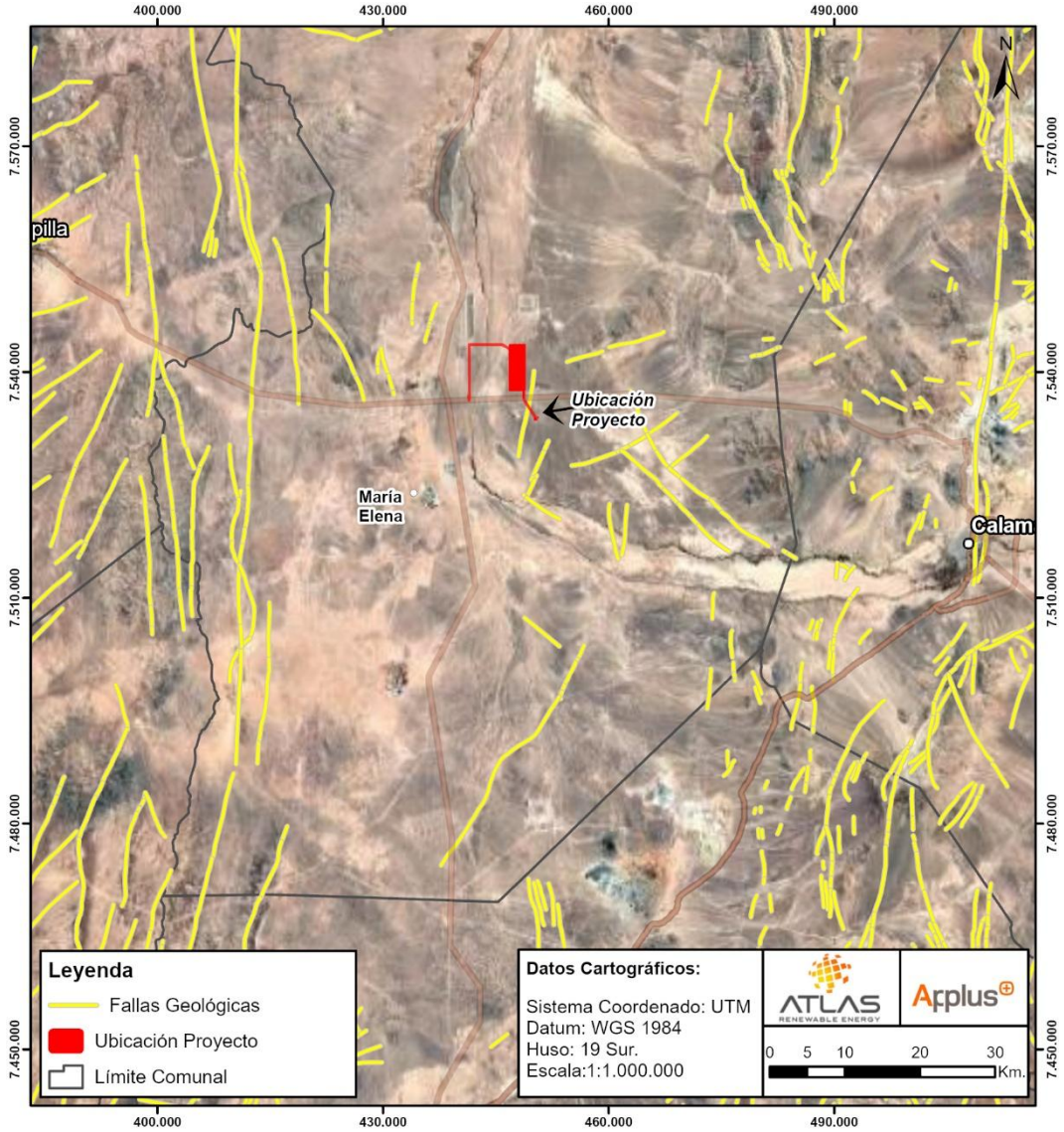
2.9.5.1.1.4. Unidades No Estratificadas

No se identificaron Unidades No Estratificada para el área en estudio, no hay fuentes en SERNAGEOMIN que caracterizaran la cuenca.

2.9.5.1.2. Geología Estructural

A partir del levantamiento cartográfico en SIG (escala de trabajo 1:55.500 carta geológica de Chile), se reconoce una estructura geológica principal identificada como FAL-9679 perteneciente a la falla de Atacama (ZFA) tal y como se identifica en la imagen N°3:

Figura 3. Mapa de fallas geológicas.



- **Naturaleza de la traza:** Se cataloga formalmente como **Falla Inferida** (INFO_FALLA: Inferido, clase FL), al encontrarse cubierta o inferida por depósitos sedimentarios recientes.
- **Continuidad longitudinal:** Presenta una corrida continúa cartografiada de **11.563,51 metros (11,56 km)**.
- **Rumbo y orientación:** Disposición preferencial **N-S con inflexiones menores hacia el NNE-SSW**, típica de las fábricas extensionales/transtensionales del antearco y de los corredores estructurales de la Depresión Central en la Región de Antofagasta.
- **Parámetros cinemáticos:** Los campos cinemáticos y de buzamiento figuran como indeterminados en la base cartográfica oficial, lo que exige su validación mediante prospección geológica directa y geomorfología estructural en caso de requerirse mayor resolución.

La **Zona de Falla de Atacama (ZFA)** constituye una de las megaestructuras tectónicas y de deformación cortical más relevantes del norte de Chile. Este sistema de fallas de rumbo, de

carácter regional, se extiende por más de 1.000 kilómetros de longitud con una orientación predominante Norte-Sur, disponiéndose de forma paralela al margen convergente chileno. En la Región de Antofagasta, y específicamente dentro de la comuna de **María Elena**, la ZFA ejerce un control estructural de primer orden, definiendo el contacto tectónico entre el bloque alzado de la Cordillera de la Costa por el oeste y los rellenos sedimentarios de la **Depresión Central (Pampa del Tamarugal / Cuenca del Río Loa)** por el este.

2.9.5.1.3. Geomorfología

Un análisis local de la geomorfología del área de emplazamiento del Proyecto muestra que la totalidad del trazado de la Línea de Transmisión Alfa Solar – Kimal se ubica en la zona de transición entre las unidades geomorfológicas "Pampa del Tamarugal" y "Desierto de Atacama", cuyo límite corresponde al río Loa.

La unidad "Pampa del Tamarugal" se caracteriza por ser una extensa planicie de sedimentación árida, rellenada de forma más o menos homogénea por materiales aluviales y, en menor medida, coluviales, provenientes de un sistema de quebradas que descienden desde la precordillera andina. Estos depósitos presentan un evidente gradiente de altura, generando pendientes suaves a moderadas en la mayor parte del área. Predominan en esta unidad los escurrimientos de carácter endorreico y esporádico, sujetos a eventos pluviométricos altiplánicos y prealtiplánicos, a excepción del río Loa, único curso exorreico y permanente que la atraviesa.

Fotografía 1. Vista general del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia. A partir de campaña de terreno realizada entre el 30 de junio y el 3 de julio de 2026.

Por su parte, la unidad "Desierto de Atacama" se extiende hacia el sur del río Loa, presentando predominio de depósitos aluviales, coluviales y eólicos del Mioceno-Holoceno, producto de continuos procesos de meteorización física (Börgel, 1983).

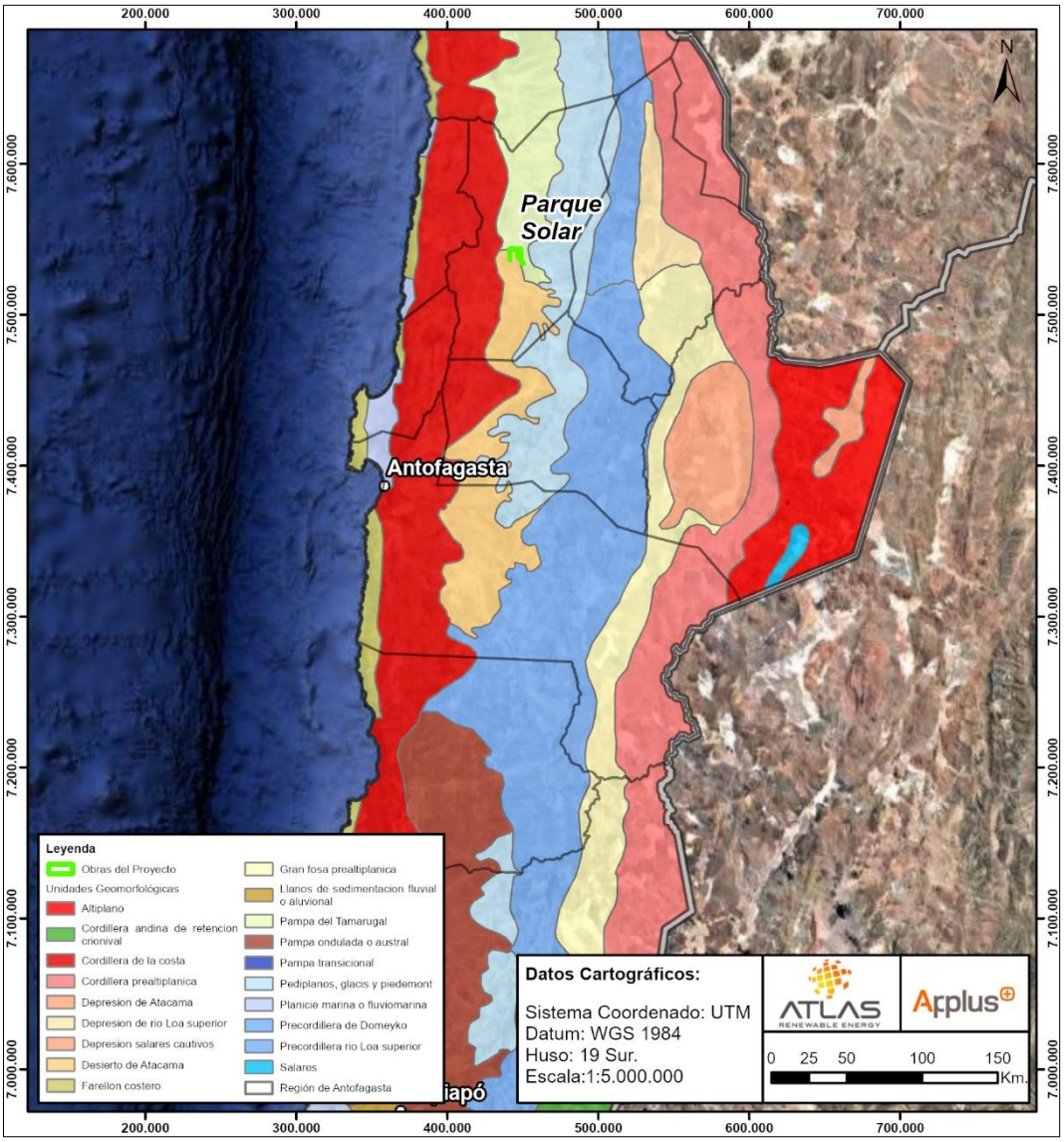
En relación con los procesos morfodinámicos actuales, el dominio eólico se presenta como el agente erosivo predominante, evidenciado por pavimentos desérticos y ventifactos. Los rasgos de origen fluvial y aluvial presentan baja expresión bajo las condiciones áridas actuales; sin embargo, pueden reactivarse de manera episódica durante eventos de precipitación capaces de generar escorrentía concentrada, aspecto que se analiza específicamente en el apartado de activación de quebradas.

Fotografía 2. Ventifactos y pavimento desértico en el área del Proyecto.



Fuente: Elaboración propia. A partir de campaña de terreno realizada entre el 30 de junio y el 3 de julio de 2026.

Figura 4. Mapa de geomorfología.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.9.5.1.4. Geología en el Área del Proyecto

Según la Carta Tocopilla y María Elena, escala 1:100.000 (Medina et al., 2012), en el sector se reconocen distintas unidades geológicas, entre ellas depósitos fluviales del Cuaternario (Hf), asociados a los cauces activos de los ríos Loa y San Salvador; depósitos aluviales del Cuaternario (PlHa, Hal), que rellenan quebradas y cursos de drenaje de baja pendiente; la Formación Quillagua (Pq), del Plioceno, constituida por depósitos calcáreos semi-consolidados (margas, diatomitas, calizas, tufitas y travertinos) que forman la cubierta de erosión de la pampa hacia el sector oriental de la Carta; depósitos aluviales del Mioceno-Plioceno (MPa); y la Formación La Negra (Jln, Jv), de edad Sinemuriano-Kimmeridgiano, correspondiente a una secuencia volcánica de lavas andesíticas que aflora de forma discontinua en la Cordillera de la Costa.

De acuerdo con el análisis geológico del área de emplazamiento del Proyecto, la totalidad del trazado de la Línea de Transmisión Alfa Solar – Kimal, se encuentra emplazado sobre la unidad Depósitos aluviales del Mioceno – Plioceno (MPa), correspondiente a depósitos clasto-

soportados y poco consolidados de gravas mal seleccionadas con matriz de arena. Los estratos poseen potencias centimétricas y ocasionalmente se intercalan con estratos de arenas laminadas de reducido espesor. Estos depósitos sobreyacen a unidades cenozoicas y pre-cenozoicas, y subyacen a depósitos aluviales recientes.

A la escala de la cartografía geológica consultada, no se reconocen otras unidades geológicas a lo largo de los 4,33 km del trazado, por lo que el sector presenta una condición relativamente homogénea desde el ML de la S/E Alfa Solar Sur hasta el ML de la S/E Kimal.

Fotografía 3. Estrato superficial observado en el área del Proyecto.

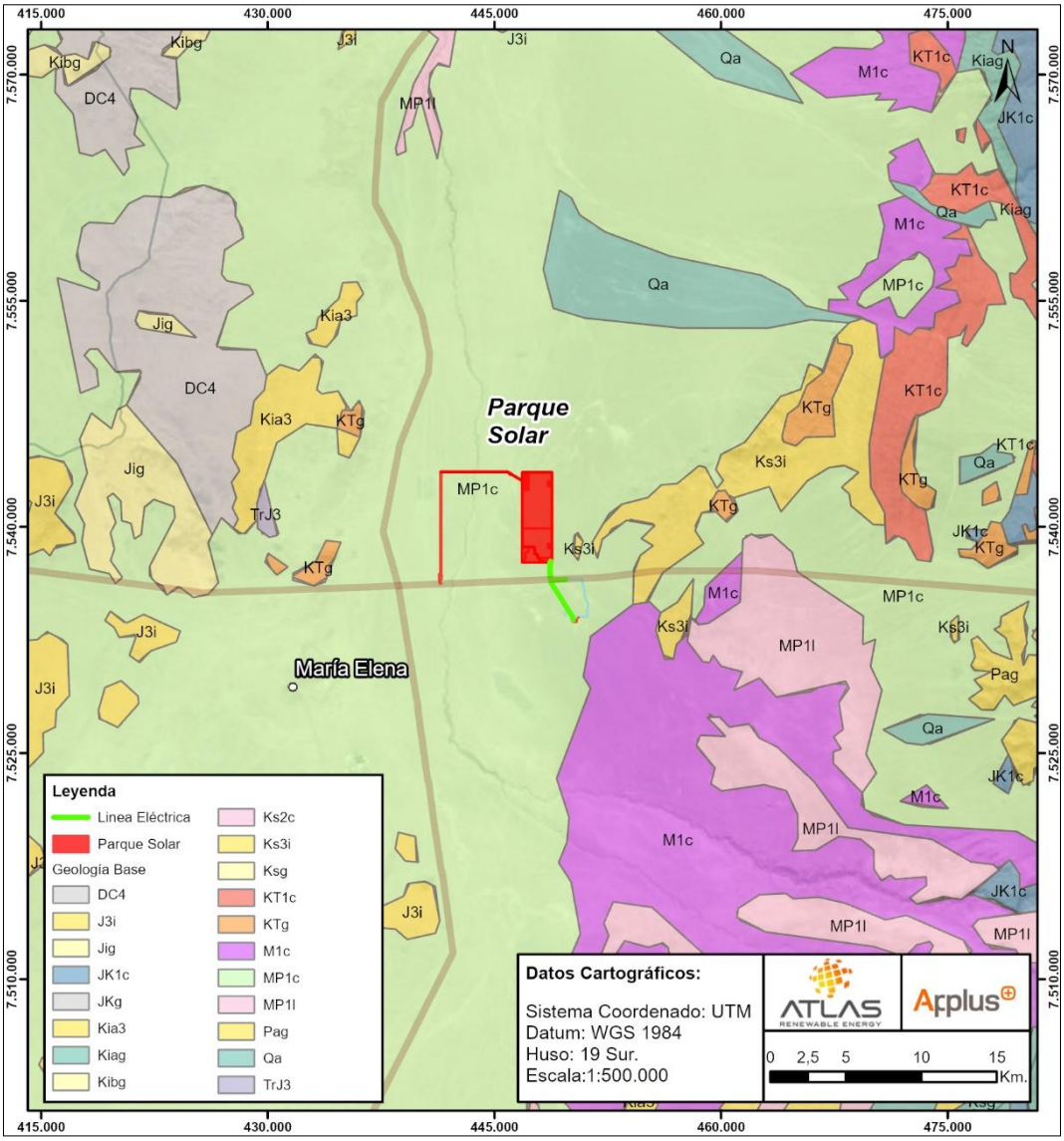


Fuente: Elaboración propia. A partir de campaña de terreno realizada entre el 30 de junio y el 3 de julio de 2026.

A partir de los antecedentes geológicos disponibles para el sector de emplazamiento del Proyecto, se realizó la identificación y representación espacial de las principales unidades geológicas presentes en el área de estudio y su entorno, con el objeto de establecer el contexto geológico en el cual se emplazan las partes y obras proyectadas.

La Figura 5 presenta la distribución de estas unidades y su relación espacial con el Parque Solar y la Línea Eléctrica proyectada, permitiendo contextualizar las características geológicas del sector a una escala territorial más amplia.

Figura 5. Geología del área de estudio y emplazamiento de las obras del Proyecto.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.9.5.2. Marco Hidrogeológico Regional

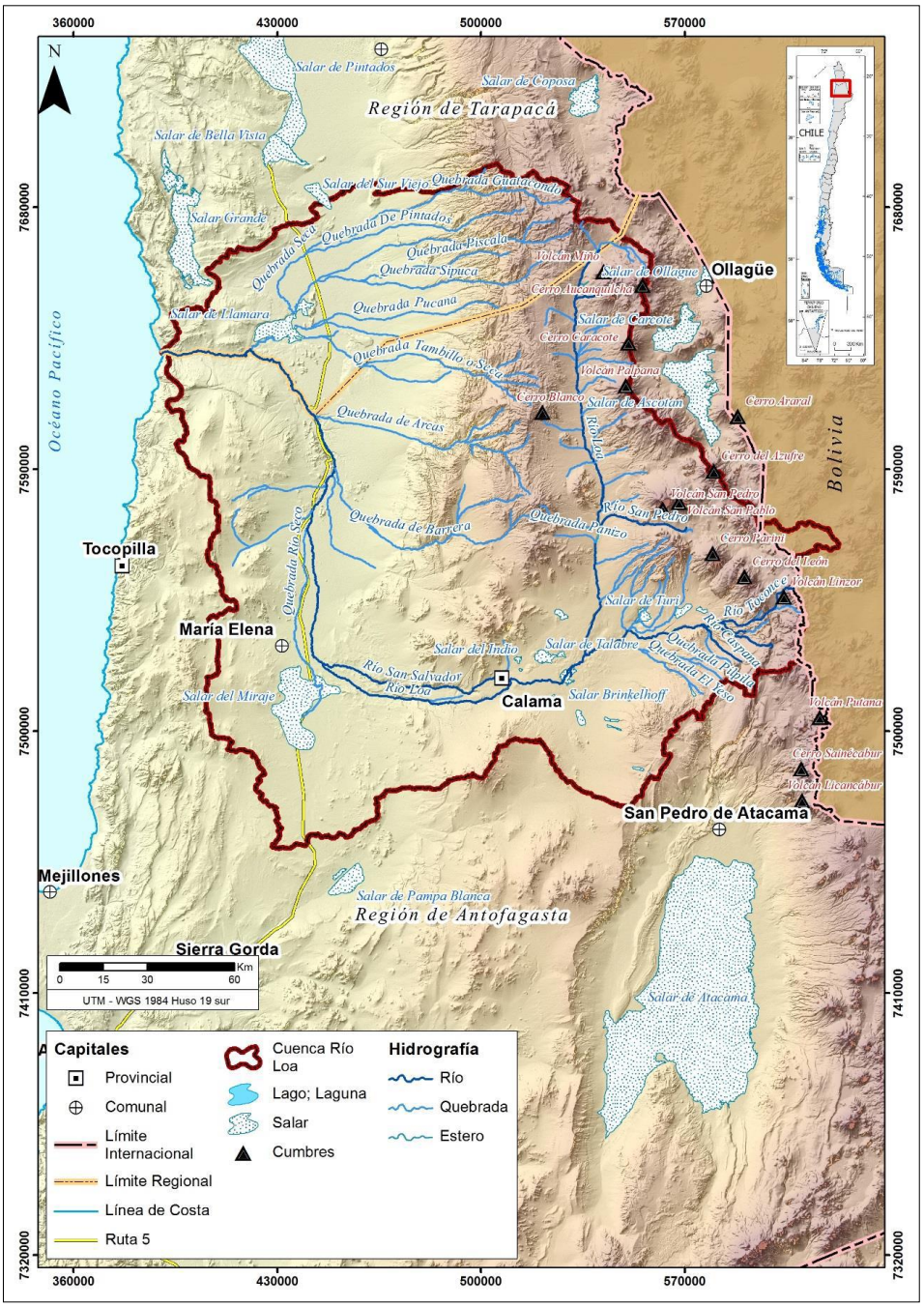
2.9.5.2.1. Hidrografía

El área en donde se emplaza el estudio pertenece a la gran cuenca del río loa, esta cuenca corresponde a una cuenca de tipo exorreica transportando las aguas desde la cabecera (en el sector cordillerano) hasta la desembocadura en el Océano Pacífico. Si bien la hoya hidrográfica de esta cuenca posee un área superior a los 34.000 km2, solo el 20% de ella es activada para captar las precipitaciones provenientes de la cordillera. Las precipitaciones ocurren generalmente en época estival, produciéndose en el denominado invierno altiplánico.

El río Loa es el cauce principal de esta cuenca con una longitud de aproximadamente 440 km de longitud. Este río nace en la falda norte del volcán Miño en Ojos del Miño (5.651 m s.n.m.), en el límite entre la región de Tarapacá y la región de Antofagasta, con un curso de agua orientado

aproximadamente de N-S. En este tramo recorre casi 150 km hasta el oasis de Chiu Chiu, donde comienza a curvarse hacia el poniente para alcanzar, después de recorrer un tramo de 115 km, la localidad de Chacance, donde confluye con el río San Salvador, el que desemboca en el salar de Miraje. En este lugar, el río Loa vuelve a curvarse hacia el norte por un tramo de 80 km hasta alcanzar el oasis de Quillagua. Desde este punto en adelante, el río Loa describe un gran arco hacia el sector poniente, pasando por el sur del salar de Llamara, de forma tal que culmina con su desembocadura en el Océano Pacífico en el sector de caleta Huelén (DGA, 2021).

Figura 6. Mapa de hidrografía cuenca del río Loa.



Fuente: DGA, 2021.

La cuenca del Río Loa en especial la subcuenca Loa Medio (entre Río Salado y Quebrada de Barrera) Alberga unidades hidrogeológicas sedimentarias de relleno aluvial y secuencias clásticas terciarias-cuaternarias (conglomerados, gravas y arenas).

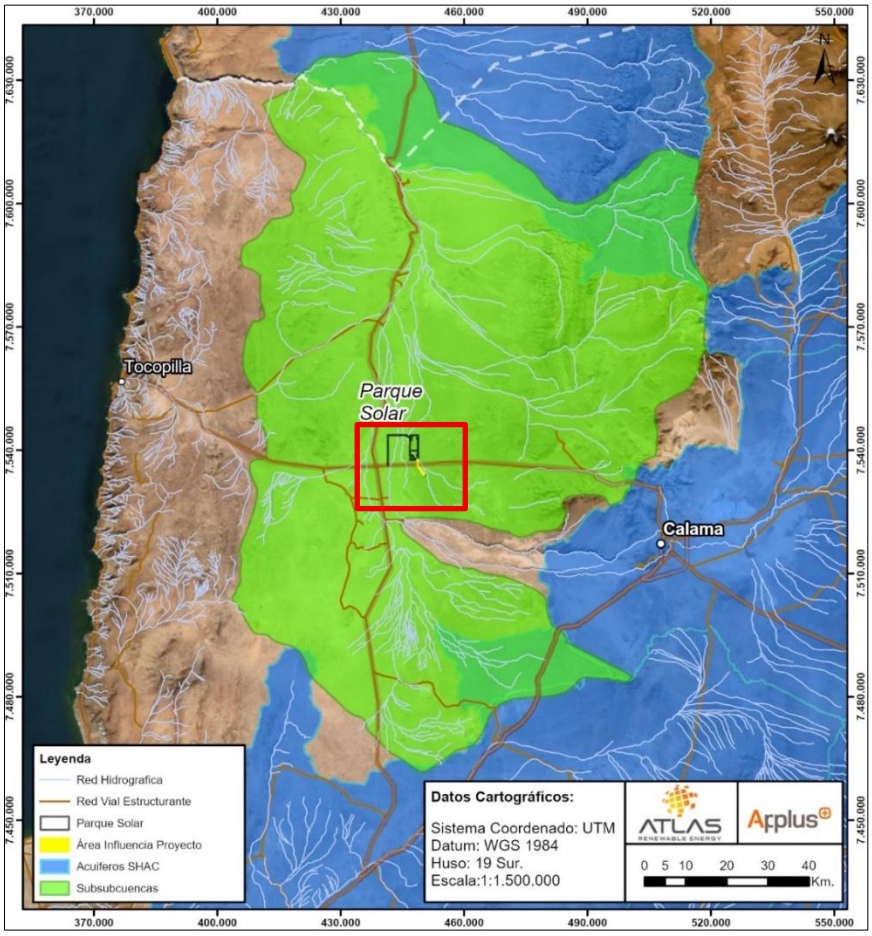
En el sector de María Elena, los antecedentes hidrogeológicos disponibles indican un gradiente regional predominante con dirección sur-norte, en concordancia con la configuración piezométrica regional y los sistemas acuíferos asociados a la cuenca del río Loa.

2.9.5.2.2. Sistemas Acuíferos y Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común

De acuerdo con los antecedentes oficiales de la DGA, las obras del Proyecto no se emplazan dentro de un SHAC administrativo oficialmente delimitado por la DGA, lo anterior no implica necesariamente la ausencia de materiales portadores de agua subterránea, sino únicamente la inexistencia de una delimitación administrativa oficial de un sector hidrogeológico en el área de emplazamiento.

Las obras del Proyecto no se emplazan dentro de un Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Comúnel Área de Estudio no se encuentra inserta dentro de una unidad acuífera y, por ende, en ningún Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común (SHAC) (Figura N°7).

Figura 7. Mapa de Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común (SHAC) Región Antofagasta.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

No obstante, en su entorno próximo se encuentran distintos acuíferos, y considerando las características desérticas es necesario mencionar las cercanas como la *SHAC Sierra Gorda* hacia el sur y hacia el norte, el SHAC de *Salar de Llamara.*

2.9.5.2.3. Unidades Hidrogeológicas

Las Unidades Hidrogeológicas (UH) corresponden a agrupaciones de formaciones geológicas que presentan un comportamiento litológico, estructural y dinámico relativamente homogéneo frente a los procesos de recarga, almacenamiento y circulación del agua subterránea. En el presente informe de caracterización, la delimitación y descripción de estas unidades se aborda desde una perspectiva físico-conceptual, diferenciando el medio poroso natural de las delimitaciones operacionales o administrativas del recurso hídrico. Al respecto, se puntualiza que, si bien dentro de la sectorización formal de la Dirección General de Aguas (DGA) no se encuentra delimitado un sector administrativo denominado aisladamente como 'SHAC María Elena', la caracterización técnica desarrollada hace referencia directa a la unidad acuífera física emplazada en el sector de María Elena (subcuenca del Loa Medio, código DGA 02113), descrita en el estudio S.I.T. N° 472 (DGA, 2021).

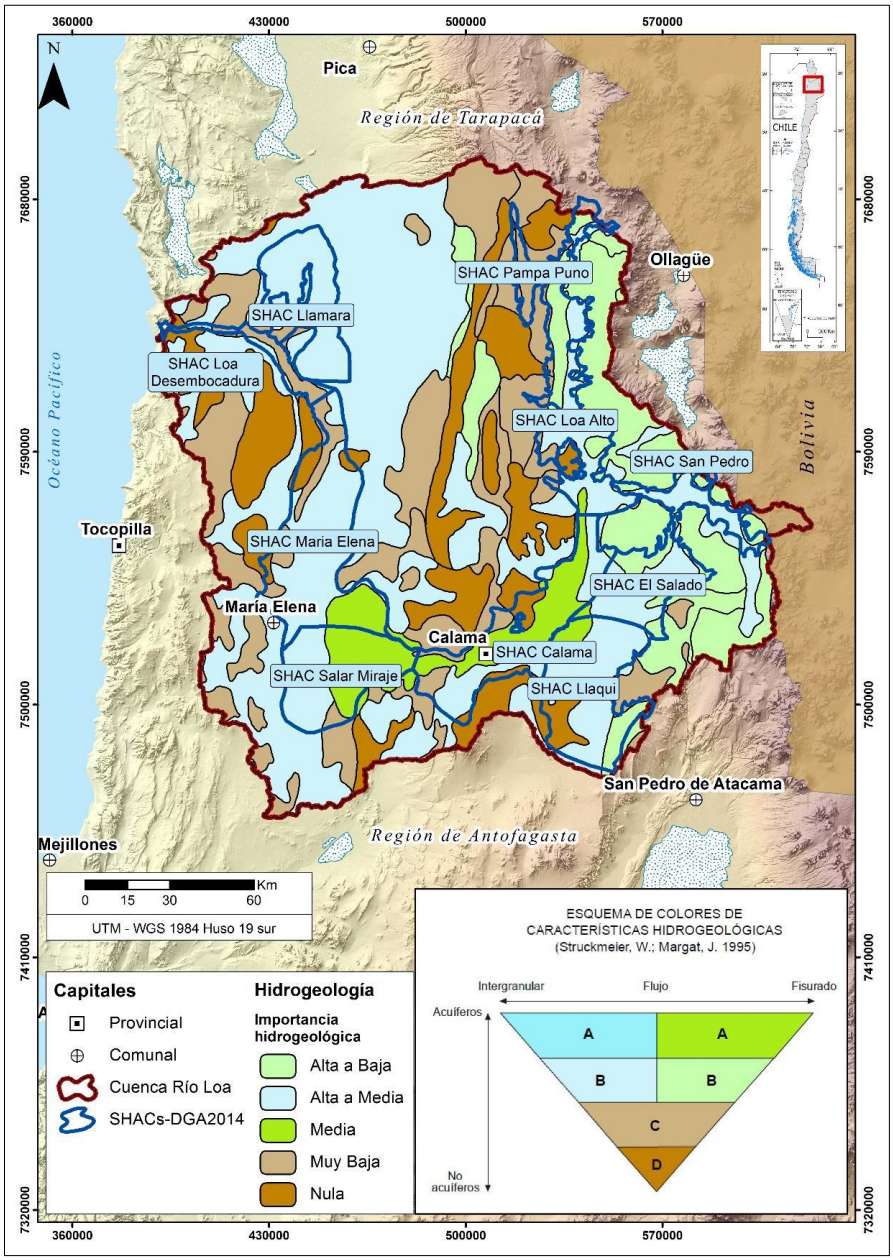
En el Área de Estudio se ha identificado preliminarmente una unidad hidrogeológica principal, la que se describe a continuación:

- Unidad Hidrogeológica del Sector María Elena (Permeabilidad Alta a Media)

    - **Litología y Geometría del Basamento:** Corresponde a una unidad acuífera libre a semiconfinada, alojada en secuencias sedimentarias clásticas no consolidadas a semiconsolidadas del Cenozoico (depósitos aluvionales y de piedemonte MPa / $MP1c$ y Qal), compuestas predominantemente por gravas clasto-soportadas, ripios, arenas y bolones en una matriz areno-limosa con intercalaciones de limolitas y regolito. A partir de prospecciones geofísicas y antecedentes de pozos recopilados en el sector por la DGA (2014, 2021), se determina una profundidad variable del basamento hidrogeológico (roca impermeable o de muy baja conductividad) que oscila entre los 24 y 444 metros.

    - **Parámetros Hidráulicos e Hidrodinámica:** La transmisividad (T) estimada para este medio poroso fluctúa en el rango de 13 a $60{,}5$ m^2/día, mientras que la conductividad hidráulica (K) varía entre $9{,}26 \cdot 10^{-4}$ y $1{,}04 \cdot 10^{-3}$ cm/s. El coeficiente de almacenamiento (S) se sitúa en el intervalo de $0{,}01$ a $0{,}05$. Los niveles piezométricos se ubican a cotas que van desde los 1.000 a los 1.200 m s. n. m., condicionando un gradiente hidráulico regional con sentido preferencial de flujo orientado de sur a norte, cuya zona de descarga natural se orienta hacia el SHAC Loa desde Quillagua hasta Desembocadura.

Figura 8. Mapa de sector hidrogeológico cuenca del río Loa.



Fuente: Dirección General de Aguas (DGA), 2021.

2.9.5.2.4. Parámetros Hidráulicos

Los parámetros hidráulicos presentados en este apartado corresponden a estimaciones obtenidas a partir de antecedentes existentes de ensayos de bombeo realizados en obras de captación subterránea del entorno del Área de Estudio, principalmente pozos asociados a derechos de aprovechamiento inscritos en la Dirección General de Aguas (DGA).

2.9.5.2.4.1. Transmisividad y Conductividad Hidráulica

Según la información del Informe de "Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca del Loa (DGA, 2021) se identifica que para la Unidad Acuífera María Elena la siguiente información de transmisividad y conductividad Hidráulica.

A partir de los ensayos de bombeo y antecedentes recopilados por la DGA en este sector, se definen los siguientes valores característicos:

- **Transmisividad (T):** Fluctuación entre 13 **y** $60{,}5$ m^2/día.
- **Conductividad Hidráulica (K):** Varía en el rango de $9{,}26 \times 10^{-4}$ cm/s a $1{,}04 \times 10^{-3}$ cm/s.
- **Coeficiente de Almacenamiento (S):** Se sitúa entre $0{,}01$ **y** $0{,}05$.

2.9.5.2.4.2. Coeficiente de Almacenamiento y Porosidad

El coeficiente de almacenamiento (S) representa la capacidad de una unidad hidrogeológica para liberar agua frente a una variación de la carga hidráulica y, en el caso de acuíferos no confinados, se asocia conceptualmente a la porosidad eficaz (Sy). La porosidad corresponde a la proporción de vacíos existentes en un material geológico respecto de su volumen total, pudiendo distinguirse una porosidad primaria, asociada a los espacios intergranulares, y una porosidad secundaria, vinculada a procesos de fracturación o disolución.
Para este proyecto no se desarrollaron de ensayos hidrogeológicos específicos dentro de los sectores en estudio; por ello, no se asignan valores locales de coeficiente de almacenamiento ni de porosidad.

2.9.5.2.5. Piezometría

2.9.5.2.5.1. Cota Piezométrica y Sentido del Flujo

La definición de la cota piezométrica y el sentido del flujo de las aguas subterráneas del acuífero local, en el área de influencia y emplazamiento de las obras del Proyecto, se determinó a partir de las curvas isofreáticas definidas en el estudio *"Antecedentes Hidrogeológicos Complementarios del Sector de María Elena"* (DICTUC, 2005).

A pesar de que el estudio base determinó las curvas isofreáticas a partir del monitoreo de pozos con registros comprendidos entre los años 2000 y 2005, es técnica y conceptualmente válido sostener que la cota piezométrica se ha mantenido en condiciones de régimen cuasi-estacionario hasta la actualidad. Este supuesto se sustenta en que los niveles observados en norias y pozos de monitoreo pertenecientes a SQM en faena Coya Sur han mostrado una

marcada estabilidad hidrodinámica en el tiempo, reportando únicamente una variación promedio de 0,28 m en el nivel piezométrico.[2]

A partir de las líneas equipotenciales (o curvas isofreáticas) cada 10 metros obtenidas en dicho antecedente, se representó la superficie piezométrica del acuífero local —asociada a la unidad Hidrogeológica del Sector María Elena— mediante interpolación espacial con el método *B-spline multilevel*.

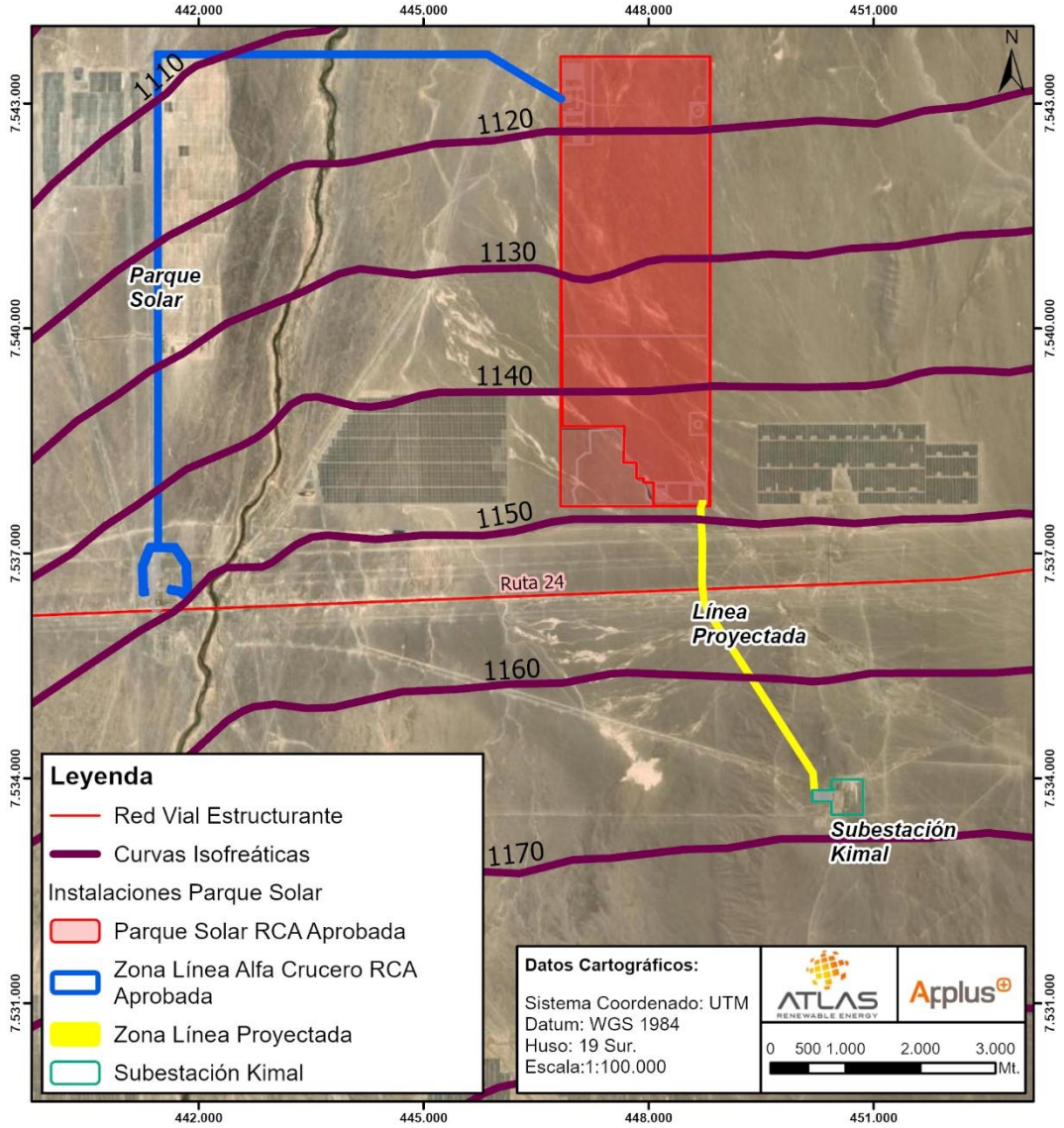
En la Figura 9 se presenta la distribución espacial de las curvas isofreáticas en relación con las obras del Proyecto. De este análisis se desprenden las siguientes condiciones piezométricas para cada componente:

- **Área del Parque Solar:** El área de generación (polígono de parque solar con RCA aprobada) se emplaza sobre un gradiente hidráulico regular, abarcando cotas piezométricas que varían desde aproximadamente los 1.150 m s. n. m. en su límite sur hasta cerca de los 1.116 m s. n. m. en su deslinde norte, siendo intersectado sucesivamente por las isofreáticas de 1.140, 1.130 y 1.120 m.s. n. m.

- **Línea Eléctrica Proyectada (Conexión S/E Kimal):** A diferencia del trazado previamente evaluado con RCA favorable (Línea Alfa Crucero, que discurre hacia cotas menores del orden de 1.110 m s. n. m.), el trazado de la Línea Proyectada se desarrolla hacia el sector sur-sureste, extendiéndose en un rango de cotas piezométricas que va desde los 1.150 m s. n. m. (en su punto de partida en el parque) hasta aproximadamente los 1.168 m s. n. m. en su llegada al paño de la Subestación Kimal, emplazada inmediatamente al norte de la isofreática de 1.170 m. s. n. m.

[2] Estudio DICTUC

Figura 9. Mapa de distribución espacial de las curvas isofreáticas.



Respecto al régimen de escurrimiento subterráneo, el gradiente hidráulico regional exhibe una pendiente orientada de sur a norte, coherente con el patrón general de drenaje hacia la cuenca del río Loa. Por lo tanto, el sentido predominante del flujo subterráneo en el sector de emplazamiento de las obras proyectadas es con dirección neta hacia el norte (N).

2.9.5.2.5.2. Nivel freático y análisis de interferencia con obras del Proyecto

A partir de las cotas piezométricas estimadas y el Modelo Digital de Elevación (DEM) Alos Palsar de la Región de Antofagasta (obtenido a través de la plataforma del Ministerio de Bienes Nacionales), se calculó la profundidad media del nivel freático respecto a la superficie topográfica mediante la siguiente formulación:

$$N.F. = \text{Cota Terreno} - \text{Cota Piezométrica}$$

Donde:

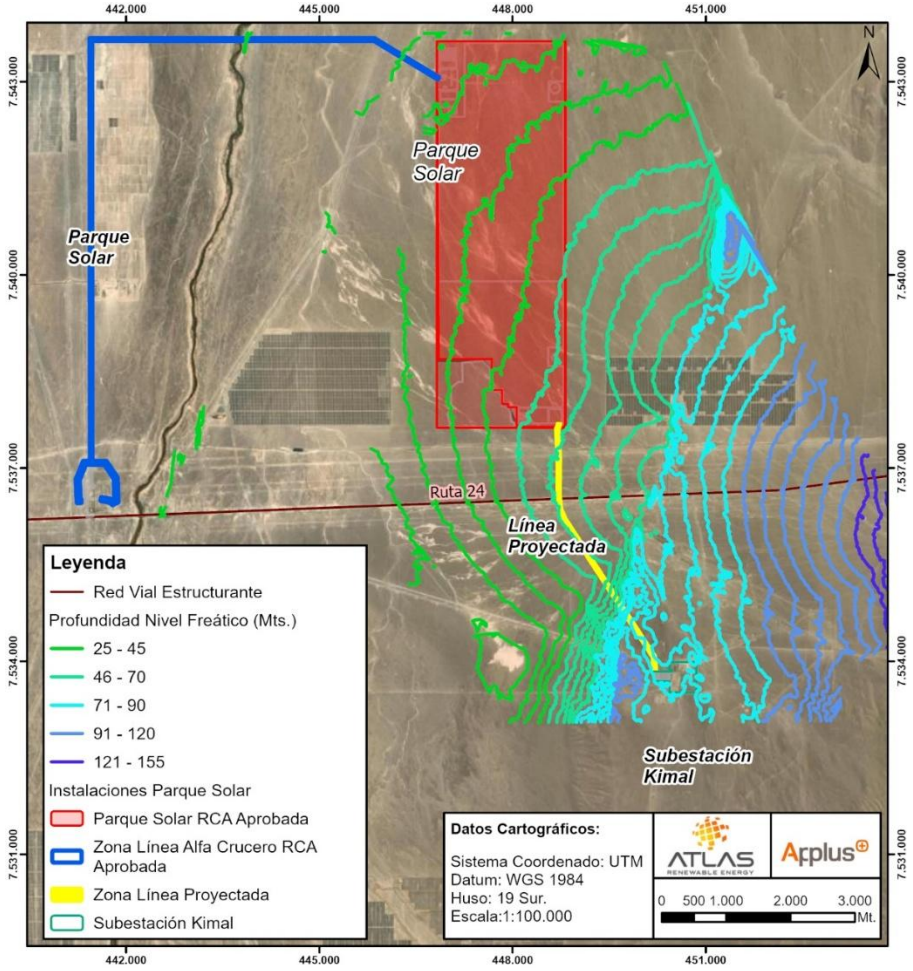
- $N.F.$: Profundidad del nivel freático [m].

- Cota Terreno: Elevación de la superficie topográfica [m s. n. m.].
- Cota Piezométrica: Elevación de la superficie freática interpolada [m s. n. m.].

A partir de la aplicación del modelo espacial se determinó la distribución de la profundidad del nivel freático en el área de emplazamiento de las obras, tal como se ilustra en la Figura 10. Del análisis cartográfico se concluye lo siguiente:

- **Área del Parque Solar:** El polígono correspondiente a las instalaciones del Parque Solar (con RCA aprobada) se emplaza predominantemente en una zona donde el nivel freático se localiza a profundidades que fluctúan entre los **25 y 45 m** bajo el nivel de terreno, rozando hacia su límite oriental el rango de **46 a 70 m**.
- **Línea de Transmisión Proyectada y Subestación Kimal:** El trazado de la Línea Proyectada se inicia en su extremo norte en el rango de **25 a 45 m** de profundidad, cruzando la Ruta 24 y progresando hacia el sur-sureste hacia sectores con mayor cota topográfica, lo que incrementa el espesor de la zona no saturada a profundidades que transitan entre los **46 y 70 m**, e intersectan localmente curvas del intervalo de **71 a 90 m** en las proximidades del punto de conexión con la **Subestación Kimal**. De este modo, en toda la extensión de las obras proyectadas, el nivel freático se ubica a profundidades superiores a los **25 m** bajo la superficie del terreno.

Figura 10. Mapa distribución de profundidad del nivel freático.



Análisis de Interferencia con Obras:

Las excavaciones de mayor envergadura y profundidad vertical contempladas para el Proyecto corresponden a las fundaciones de las estructuras de soporte (torres) de la Línea de Transmisión Eléctrica proyectada, las cuales consideran un sello de fundación máximo estimado de **3,5 m** de profundidad. Por su parte, las estructuras de soporte de paneles, centros de transformación, sistemas de almacenamiento y canalizaciones subterráneas se ejecutan a profundidades inferiores (entre 1,0 y 2,5 m).

Al contrastar la profundidad máxima de excavación (3,5 m) con la cota del nivel freático más somero determinado en el área del Proyecto (mínimo de 25 m), se comprueba la existencia de un potente espesor de zona no saturada no intervenida superior a los **21,5 m** en el punto más desfavorable.
En consecuencia, las obras y actividades constructivas se emplazarán íntegramente en la zona vadosa, descartándose el alumbramiento de aguas subterráneas, la necesidad de obras de agotamiento o drenaje freático (*dewatering*), y cualquier interferencia física o hidrogeológica sobre el nivel freático y la dinámica de flujo del acuífero local.

2.9.5.2.5.3. Análisis DGA y derechos Aguas Subterráneas

De acuerdo con la información disponible en la Dirección General de Aguas (DGA), no se cuenta con pozos de monitoreo oficiales con series de tiempo piezométricas históricas bajo las obras del Proyecto; no obstante, a nivel comunal y de subcuenca (Loa Medio), el Catastro Público de Aguas identifica 7 derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas constituidos (Tabla 1), la más cercana está localizada a 85 km aproximadamente del área del Proyecto. no se cuenta con registros de pozos asociados a derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas que permitan incluir antecedentes de localización, tipo de captación y niveles de agua medidos en distintos años; si se identificaron al menos 7 derechos de aprovechamientos de agua subterráneas ubicadas en la subcuenca de *Loa Medio* que pertenecen a la comuna de María Elena las cuales son las siguientes:

Tabla 1. Derechos de aprovechamientos de agua subterráneas ubicadas en la subcuenca de Loa Medio que pertenecen a la comuna de María Elena.

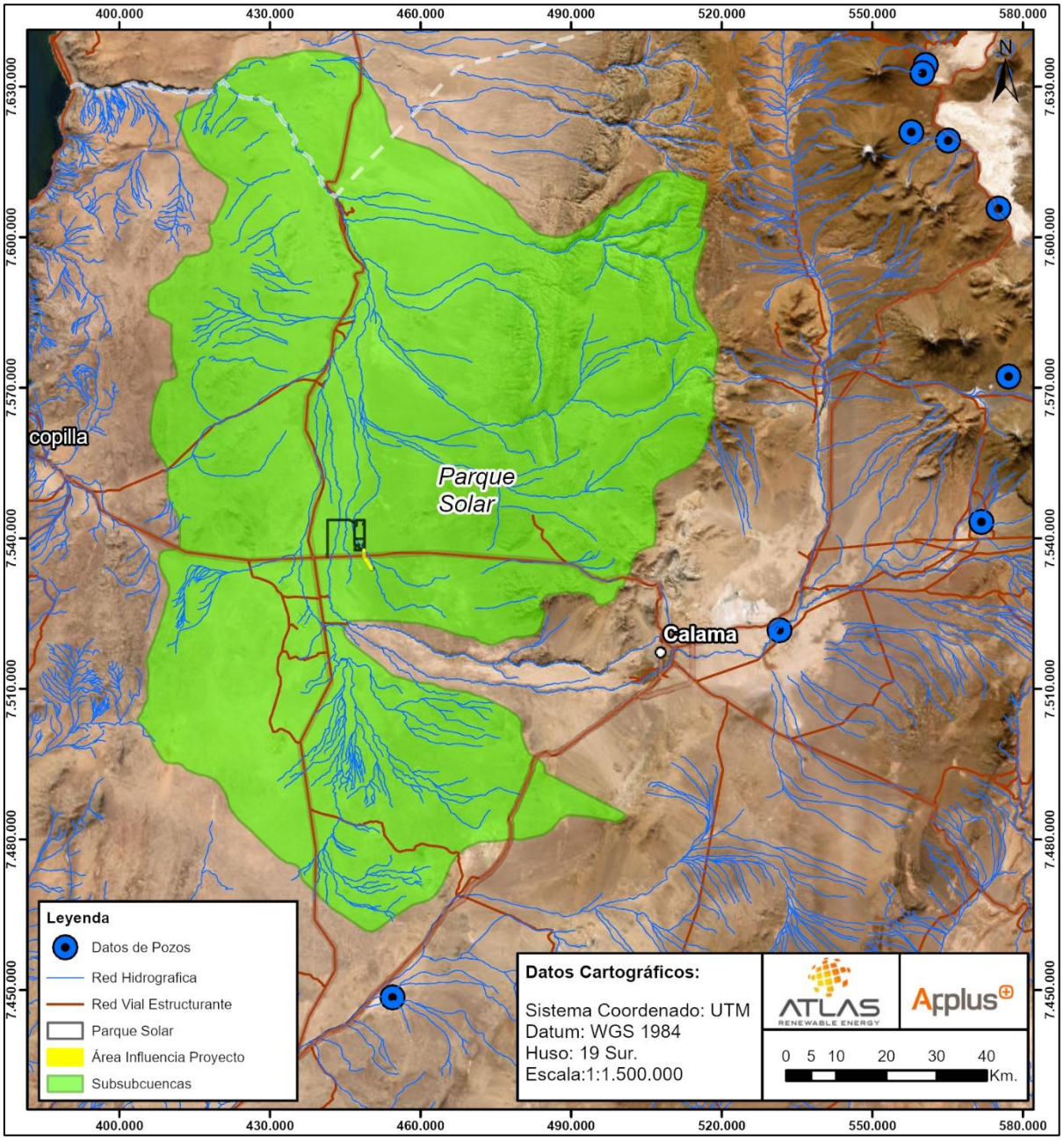
N°	NombreSolicitante	FechaToma Razón	TipoDerecho	NaturalezadelAgua	Clasificación Fuente	UsodelAgua	Cuenca	SubCuenca	Ejercicio del Derecho	Caudal Anual Prom (Lt/s)
1	S.Q.M.NITRATOSS.A.	16-10-2003	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	UsoMinero	Rio Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Permanente y Continuo	5
2	JULIOPALAPEGUAJARDO	22-10-2003	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	Riego	Rio Loa		Permanente y Continuo	0,58
3	SOCIEDADQUIMICAYMINERADECHILES.A.	19-11-2003	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	UsoMinero	Rio Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Permanente y Continuo	9,5
4	BAIXEBRES.A.	24-07-2000	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	UsoMinero	Rio Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Permanente y Continuo	7
5	SOCIEDADQUIMICAYMINERADECHILES.A.	27-07-2000	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	UsoMinero	Rio Loa		Permanente y Continuo	16
6	SOCIEDADQUIMICAYMINERADECHILES.A.	07-10-1992	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	UsoMinero	Rio Loa		Permanente y Continuo	2,68
7	SOCIEDADQUIMICAYMINERADECHILES.A.	07-10-1992	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	UsoMinero	Rio Loa		Permanente y Continuo	8

Fuente: DGA, 2026.

Ninguna de los 7 derechos se ubica en las cercanías el área en estudio, sin embargo, se caracterizan según lo indicado a continuación:

- Niveles piezométricos: La superficie del agua subterránea se localiza a una elevación cota entre los 1.000 y 1.200 m.s.n.m.
- Dirección de flujo: El gradiente regional condiciona un escurrimiento subterráneo preferencial con sentido de sur a norte, acompañando la pendiente general de la cuenca del Loa.
- Zona de descarga: Las aguas subterráneas de este sector drenan y descargan hacia el sector hidrogeológico ubicado aguas abajo: el SHAC Loa desde Quillagua hasta Desembocadura.

Figura 11. Mapa de localización de derechos de aguas subterráneas.



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.9.5.3. Niveles Históricos

De acuerdo con la información disponible en la Dirección General de Aguas (DGA), no se identificaron estaciones para generar un análisis de los Niveles históricos de la profundidad del Nivel de Agua cerca o dentro de la comuna de Maria Elena.

2.9.5.4. Hallazgos de Terreno

Durante la campaña de reconocimiento realizada el 30 de junio a 2 de Julio no se registraron sectores de interés hidrogeológico, en el entorno del Área de Estudio. La inspección consistió en observación visual, georreferenciación y registro fotográfico terrestre y aéreo de los sectores para confirmar las características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas correspondientes a un sector desértico.

2.9.6. CONCLUSIONES

La presente caracterización ambiental de la componente hidrogeología para el proyecto "Incorporación Línea de Transmisión SE Alfa Solar – SE Kimal 2x220 kV" se desarrolló en estricto cumplimiento del artículo 19, letra b) del D.S. N° 40/2012 (RSEIA), incorporando las directrices metodológicas de la Guía para la delimitación y descripción del Área de Influencia en el SEIA y del documento técnico Criterio de Evaluación en el SEIA: Contenidos Técnicos para la Evaluación Ambiental del Recurso Hídrico (SEA - DGA). Bajo este marco conceptual, se diferenció adecuadamente el Área de Estudio regional —asociada a la subsubcuenca "Río Loa entre Río San Salvador y Quebrada Amarga" (código DGA 02113, subcuenca Loa Medio)— utilizada como unidad de contextualización morfodinámica e hidrológica regional, respecto del Área de Influencia específica sobre el recurso hídrico subterráneo.

Desde la perspectiva geológica y morfodinámica, la totalidad de las obras del Proyecto se emplazan en la comuna de María Elena sobre la unidad sedimentaria clástica de piedemonte MPa / MP1c del Mioceno Superior a Plioceno, caracterizada por depósitos aluviales y coluviales polimícticos poco consolidados bajo un régimen hiperárido con predominio de pavimentos del desierto y ventifactos eólicos. A nivel estructural, el entorno regional se encuentra condicionado por trazas inferidas del sistema de la Falla de Atacama (ZFA), destacando la estructura FAL-9679, la cual actúa como un rasgo que compartimenta el basamento y puede configurar discontinuidades o barreras hidráulicas a escala DGC profunda. Asimismo, el sector de emplazamiento directo no se sitúa dentro de un Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común (SHAC) delimitado formalmente por la DGA, no obstante, las obras se emplazan sobre materiales sedimentarios que conforman la Unidad Hidrogeológica del Sector María Elena, cuyo nivel freático se localiza a profundidades superiores a 25 m bajo la superficie del terreno

En términos hidrogeológicos, las obras del Proyecto se emplazan sobre el acuífero local asociado a la unidad Hidrogeológica del Sector María Elena, cuyo régimen presenta condiciones cuasi-estacionarias y un flujo subterráneo predominante en dirección norte. La superficie piezométrica se sitúa a profundidades superiores a 25 m bajo el nivel del terreno en toda el área analizada, aumentando hacia el sector de conexión con la Subestación Kimal. Considerando que las excavaciones de mayor profundidad corresponden a las fundaciones de las estructuras de la Línea de Transmisión Eléctrica, con un máximo estimado de 3,5 m, se mantiene, incluso en la condición más desfavorable, un espesor de zona no saturada superior a 21,5 m. En consecuencia, las obras se desarrollarán íntegramente en la zona vadosa, por lo que no se prevé alumbramiento de aguas subterráneas ni interferencia física o hidrogeológica con el nivel freático o con la dinámica de flujo del acuífero local.

En lo relativo al componente cuantitativo del recurso hídrico, el Proyecto no contempla obras de captación, drenaje, alumbramiento ni aprovechamiento de aguas subterráneas durante ninguna de sus fases. Todos los suministros hídricos requeridos —incluyendo el consumo máximo de agua potable durante la fase de construcción (82,5 m^3/día) y operación (3,3 m^3/día), así como el agua industrial destinada a humectación de caminos y compactación (21,4 m^3/día en construcción)— serán provistos íntegramente mediante camiones aljibe por empresas y

proveedores que cuentan con resoluciones y fuentes legalmente autorizadas. Por consiguiente, se descarta la inducción de descensos de carga hidráulica, la generación de conos de depresión o la afectación sobre los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas (DAAS) constituidos en la subcuenca del Loa Medio.

En relación con el resguardo de la calidad hidroquímica, el Proyecto no considera descargas industriales al suelo ni genera riesgos de contaminación sobre el acuífero. Las aguas servidas domésticas serán gestionadas bajo los estándares del PAS 138 mediante un esquema mixto compuesto por el retiro del 50% de las aguas y lodos mediante camiones limpiafosas autorizados, y la disposición del 50% restante del efluente tratado a través de zanjas de drenaje superficiales diseñadas según la capacidad de absorción del suelo granular ($K4 = 148$ L/m^2/ día).

A partir de la ausencia demostrada de vías de transmisión física, conos de abatimiento o plumas de dispersión de contaminantes, y conforme al principio de jerarquía y correspondencia territorial del SEA, se concluye fundadamente que el Área de Influencia (AI) de la componente Hidrogeología queda circunscrita espacialmente a la huella territorial directa que ocupan las obras permanentes y temporales del Proyecto, incluyendo la franja de servidumbre de 60 metros de ancho de la Línea de Transmisión 2x220 kV. Fuera de este polígono, la condición hidrogeológica permanece inalterada e idéntica al escenario sin proyecto.

Finalmente, las campañas de reconocimiento visual y registro en terreno permitieron verificar la inexistencia de vertientes, vegas, humedales, afloramientos o ecosistemas dependientes de aguas subterráneas en el área de emplazamiento del Proyecto.

2.9.7. BILIOGRAFÍA

- ARCADIS. (2016). Informe de Caracterización Hidrología e Hidrogeología, Declaración de Impacto Ambiental "Proyecto Subestación Frontera 220 kV". Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Dirección General de Aguas & DICTUC. (2005). Hidrogeología de la II Región y Asesoría para la Revisión de Informes de Estudios de Evaluación de Recursos Hídricos. Santiago.
- Knight Piesold S.A. (2014). Sectorización de los Acuíferos de la Cuenca del Río Loa.
- Dirección General de Aguas. (2026). *Catastro Público de Aguas — Derechos de Aprovechamiento de Aguas Concedidos, Región de Antofagasta*. Obtenido de http://snia.dga.cl
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2026). Guía áreas de influencia en el SEIA. Segunda edición. Santiago de Chile.
- Dirección General de Aguas. (2026). *Mapoteca Digital*. Ministerio de Obras Públicas. Mapoteca Digital de la DGA
- Dirección General de Aguas (DGA), 2021. Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca del Loa, SIT N° 472, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Realizado por: Con Potencial Consultores SpA.
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Fallas Geológicas de Chile, 2026, https://lineasdebasepublicas.mma.gob.cl/datos_abiertos/dataset/fallas-geologicas-de-chile