

**UNIVERSIDAD DE ATACAMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



**UNIVERSIDAD**  
**DE ATACAMA**

**ESTUDIO GEOLÓGICO, PALEOBOTÁNICO Y PATRIMONIAL DEL  
SECTOR AMOLANAS, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE**

**NICOLE ALEJANDRA ROJAS SEGOVIA**  
**COPIAPÓ, CHILE 2022**

**UNIVERSIDAD DE ATACAMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



**UNIVERSIDAD**  
**DE ATACAMA**

**ESTUDIO GEOLÓGICO, PALEOBOTÁNICO Y PATRIMONIAL DEL  
SECTOR AMOLANAS, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de  
GEÓLOGO

Profesor guía: Philippe Moisan Tapia

**NICOLE ALEJANDRA ROJAS SEGOVIA**  
**COPIAPÓ, CHILE 2022**

*Señor, tú antes, tú después, tú en la inmensa  
hondura del vacío y en la hondura interior.  
Tú en la aurora que canta y en la noche que piensa.  
Tú en la flor de los cardos y en los cardos sin flor.*

*Tú en el cenit a un tiempo y en el nadir; tú en todas  
las transfiguraciones y en todo el padecer;  
tú en la capilla fúnebre, tú en la noche de bodas;  
tú en el beso primero, tú en el beso postrer.*

*Tú en los ojos azules y tú en los ojos oscuros,  
tú en la frivolidad quinceañera y también  
en las grandes ternezas de los años maduros.  
Tú en la más negra sima, tú en el más alto edén.*

*Si la ciencia engreída no te ve, yo te veo;  
si los labios te niegan, yo te proclamaré;  
por cada hombre que duda, mi alma grita: “¡Yo te creo!”  
Y con cada fe muerta, se agiganta mi fe.*

*Amado Nervo*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradecerle a Dios. Sé que sin Él nada de esto sería posible. Gracias a mis padres Juan Carlos y Alejandra por siempre estar a mi lado ayudando en lo que fuera necesario, gracias por ser mis ejemplos a seguir. A mis hermanos Marcelo y Catalina, por ser mis cómplices de vida y travesuras, gracias por contenerme en los momentos más oscuros que he tenido y por las risas sin fin. A mis abuelos maternos Uberlinda y Roberto, gracias por hacerme seguir adelante cuando no quería, por ser mis segundos padres, no sé qué haría sin ustedes. A mis abuelos paternos Nilda y Luis, por su preocupación constante. Agradecerles también a mis amigos por los grandes momentos de risa y distracción cuando el estrés académico llegaba. De manera especial a la que es, pese a los altos y bajos, mi amiga de infancia Daphne. Gracias por entregarme desde que teníamos siete años tu amistad, por crecer juntas, por ayudarme a entender tantas cosas. Espero poder retribuir de alguna manera tanto que me has dado.

Agradecer a mis profesores de la carrera, guardo recuerdo de cada uno de ellos. En especial agradecer a la profesora Ximena Robles, por darme la inspiración para seguir en un momento en que quería tirar la toalla.

Gracias al sr. Guillermo Borchert, por la buena disposición para llevarnos al lugar de estudio y permitirnos pasar por su terreno. Gracias al profesor Manuel Abad y Philippe Moisan, por su guía para la realización de este trabajo. Gracias a mis compañeros del proyecto FIC Gecotur Sebastián, Diego y Patricia. Saber que los cuatro estábamos trabajando, me daba sin duda ánimos para continuar.

Espero que este trabajo logre ser una contribución para el patrimonio paleobotánico del país y que, como sociedad, comprendamos la importancia del resguardo y protección de los sitios de interés geológico.

## **ÍNDICE**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1: MARCO INTRODUCTORIO .....</b>                              | <b>18</b> |
| 1.1. Presentación y contexto del problema de investigación.....           | 18        |
| 1.2. Hipótesis.....   | 19        |
| 1.3. Objetivos.....   | 19        |
| 1.3.1. Objetivo general.....  | 19        |
| 1.3.2. Objetivos específicos .....  | 20        |
| 1.4. Trabajos previos .....   | 20        |
| <b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....</b>                                     | <b>22</b> |
| 2.1. Paleobotánica.....   | 22        |
| 2.2. Preservación de troncos fósiles .....                                | 23        |
| 2.3. Paleogeografía, paleoclima y paleobotánica del Triásico .....        | 27        |
| 2.4. Bosques fósiles de Sudamérica .....                                  | 34        |
| 2.5. Patrimonio geológico, geoturismo y geoconservación.....              | 42        |
| 2.6. Patrimonio geológico y geoturismo en Chile: legislación actual ..... | 44        |
| 2.6.1. Santuarios de la Naturaleza.....                                   | 50        |
| 2.6.2. Rutas patrimoniales.....   | 52        |
| <b>CAPÍTULO 3: ZONA DE ESTUDIO .....</b>                                  | <b>53</b> |
| 3.1. Ubicación y accesos .....  | 53        |
| 3.2. Situación geográfica.....  | 56        |
| 3.2.1. Geomorfología .....  | 56        |
| 3.2.2. Clima.....   | 59        |
| 3.2.3. Hidrología e Hidrogeología.....                                    | 62        |
| 3.2.3.1. Hidrología.....  | 62        |
| 3.2.4. Flora y Fauna.....   | 64        |

|  |     |
|--|-----|
| 3.2.5.    Actividad económica.....   | 65  |
| CAPÍTULO 4: MARCO GEOLÓGICO.....   | 70  |
| 4.1.    Geología regional.....   | 70  |
| 4.2.    Geología estructural.....  | 73  |
| 4.3.    Recursos minerales.....  | 75  |
| 4.4.    Geología local.....  | 77  |
| 4.4.1.    Unidades geológicas.....   | 77  |
| CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA.....   | 84  |
| 5.1.    Recopilación de antecedentes.....  | 84  |
| 5.2.    Etapa de terreno e identificación de Lugares de interés geológico (LIGs) ..... | 84  |
| 5.3.    Etapa de post – terreno.....   | 93  |
| CAPÍTULO 6: RESULTADOS.....  | 95  |
| 6.1.    Geología y paleobotánica.....  | 95  |
| 6.2.    Ruta patrimonial asociada al viaje de Charles Darwin por el Valle de Copiapó   |     |
| 109  |     |
| CAPÍTULO 7: DISCUSIÓN.....   | 120 |
| CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES.....  | 125 |
| REFERENCIAS.....   | 127 |
| ANEXO 1: PATRÓN UTILIZADO PARA LA REALIZACIÓN DE LA COLUMNA<br>ESTRATIGRÁFICA.....     | 140 |
| ANEXO 2: FICHAS DESCRIPTIVAS DE LOS LUGARES DE INTERÉS<br>GEOLÓGICO.....               | 141 |
| Lugar de Interés Geológico N°1.....  | 141 |
| Lugar de Interés Geológico N°2.....  | 143 |
| Lugar de Interés Geológico N°3.....  | 145 |

|  |     |
|--|-----|
| Lugar de Interés Geológico N°4.....  | 147 |
| Lugar de Interés Geológico N°5.....  | 149 |
| ANEXO 3: DOCUMENTACIÓN ORIGINAL DE FICHAS DESCRIPTIVAS DE LOS LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO ..... | 152 |
| ANEXO 4: GUÍA PARA LA SOLICITUD DE DECLARACIÓN DE SANTUARIO DE LA NATURALEZA.....                | 158 |

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 2. 1.</b> Madera permineralizada en donde el material orgánico se encuentra incrustado en una matriz mineral de calcita (Mustoe, 2017). .....  | 24 |
| <b>Figura 2. 2.</b> Conífera silicificada de Yellowstone, Wyoming ( $2.430 \pm 250$ años, determinada por $C^{14}$ ). En el microscopio se observa la excelente conservación de traqueidas (tr), radios (r) y hoyos bordeados (p). La escala usada es de $100 \mu$ . (Stein, 1982). .....                                    | 24 |
| <b>Figura 2. 3.</b> Madera fosilizada mediante permineralización de sílice, de la especie <i>Araucarioxylon arizonicum</i> , perteneciente al Triásico Superior. La permineralización ha conservado estructuras como los anillos de crecimiento (Museo Geominero del Instituto Geológico y Minero de España, 2019). .....    | 26 |
| <b>Figura 2. 4.</b> Variaciones eustáticas a través del Fanerozoico. La línea roja marca el nivel promedio actual (Benedetto, 2018). .....   | 28 |
| <b>Figura 2. 5.</b> Variación de la paleotemperatura durante el Neoproterozoico Superior (Ediacárico) y Fanerozoico. Nótese los cuatro pulsos de glaciación y los intervalos prolongados de clima notablemente más cálido que el actual (modificado de Scotese et al., 1999). .....  | 29 |
| <b>Figura 2. 6.</b> Paleogeografía del Triásico Temprano. La actividad de las provincias magmáticas se inició cerca del límite Pérmico - Triásico (Benedetto, 2018; modificado de Nikishin et al., 2002). .....  | 30 |
| <b>Figura 2. 7.</b> Distribución de las zonas climáticas durante el Triásico Tardío (Benedetto, 2018; modificado de Sellwood y Valdes, 2006). .....  | 31 |
| <b>Figura 2. 8.</b> Serie temporal de cambio paleoambiental asociado al $CO_2$ atmosférico (ppmv) estimado a partir del índice estomático de las hojas de <i>Lepidopteris</i> de la cuenca de Sídney. El color negro representa el Triásico mientras que el color gris representa al Pérmico (Retallack et al., 2011.) ..... | 32 |
| <b>Figura 2. 9.</b> Representación de un paisaje del Triásico Medio. En primer plano, un reptil aetosáurido; atrás, un dinosaurio carnívoro con una manada de dicinodontes. La flora es de cycadales y helechos (Benedetto, 2018). .....   | 33 |
| <b>Figura 2. 10.</b> Bosques petrificados en Sudamérica. ....  | 34 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 2. 11.</b> Ubicación de la edad de los bosques petrificados más importantes en Sudamérica en la tabla cronoestratigráfica. ....  | 35 |
| <b>Figura 2. 12. (cont.)</b> Ubicación de la edad de los bosques petrificados más importantes en Sudamérica en la tabla cronoestratigráfica. Además, se incluye el bosque petrificado de Darwin del sector Amolanas, en la comuna de Tierra Amarilla. ....   | 36 |
| <b>Figura 2. 13.</b> Parque Nacional Bosques Petrificados de Jaramillo en Argentina (Gobierno de Argentina, 2019).....   | 37 |
| <b>Figura 2. 14.</b> Restos de tronco petrificado en Monumento Natural Pichasca (Consejo de Monumentos Nacionales, 2022).....  | 38 |
| <b>Figura 2. 15.</b> Fragmento de tronco petrificado en el Bosque Petrificado de Negritos (Yaya, 2018) .....   | 39 |
| <b>Figura 2. 16.</b> Ejemplares del bosque petrificado Madre e Hija. <b>A.</b> Tronco caído perteneciente a uno de los ejemplares de mayor tamaño. <b>B.</b> Conos femeninos o "piñas"; a la izquierda vista externa de un ejemplar. A la derecha, corte mostrando los rasgos anatómicos externos, perfectamente conservados (Cúneo y Panza, 2008). ....                             | 40 |
| <b>Figura 2. 17.</b> Bosque fósil de Teresina (ECOM, 2015). ....   | 41 |
| <b>Figura 2. 18.</b> Tronco petrificado ubicado en el bosque Petrificado do Cariri (Ceará, 2010). ....   | 41 |
| <b>Figura 2. 19.</b> Criterios para considerar qué es el patrimonio geológico (Carcavilla, 2014). ....   | 42 |
| <b>Figura 2. 20.</b> Criterios que indican que no es considerado patrimonio geológico (Carcavilla, 2014).....  | 43 |
| <b>Figura 2. 21.</b> Cantidad de geositos en Chile, según catastro realizado por la Sociedad Geológica de Chile. Para el caso de la región de Los Ríos, no se registran geositos por parte de la Sociedad Geológica de Chile. Actualmente, mediante su página web, siguen recolectando propuestas de geositos para la creación de un inventario nacional. ....                       | 47 |
| <b>Figura 2. 22.</b> Categorización del Patrimonio Natural y Cultural en Chile, y disciplinas que fundamentan el reconocimiento y valorización de sus componentes significativos. Se incluyen las principales iniciativas de integración y etapas de análisis vinculadas a la geoconservación, y se destaca el carácter interdisciplinario de la Paleontología (Rubilar, 2008). .... | 51 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 3. 1.</b> Mapa de los accesos a los lugares de interés geológico e histórico-cultural...  | 54 |
| <b>Figura 3. 2.</b> Imagen satelital con la ruta patrimonial N°1 sugerida. ....   | 55 |
| <b>Figura 3. 3.</b> Imagen satelital con la ruta patrimonial N°2 sugerida. ....   | 55 |
| <b>Figura 3. 4.</b> Sección esquemática, que muestra las distintas etapas de la evolución geomorfológica cenozoica, de la parte sur del desierto de Atacama (modificado en Paskoff y Naranjo, 1979). a) testigos de una superficie madura antigua; b) rocas volcánicas del Eoceno Inferior: Formación La Peineta (Sillitoe et al., 1968); c) valles labrados durante la etapa de erosión vertical, a consecuencia del solevantamiento de los Andes; d) relleno detrítico polimíctico (Gravas de Atacama); e) flujos ignimbríticos del Mioceno Medio a Superior (Clark et al., 1967), intercalados en el relleno continental; f) falla inversa; g) remanentes del pedimento; h) flujos ignimbríticos del Mioceno Superior (Clark et al., 1967), sobrepuestos al relleno continental; i) terrazas fluviales. .... | 58 |
| <b>Figura 3. 5.</b> Climas en la región de Atacama (Henríquez, 2013).....   | 60 |
| <b>Figura 3. 6.</b> Tipos climáticos existentes en la región de Atacama, según la clasificación de Köppen (1948). En la imagen, el tipo climático de la zona del tranque Lautaro (en coloración verde) corresponde a la sigla BWk’G: Clima Desierto Frio de Montaña (modificado de Juliá et al., 2008).....   | 61 |
| <b>Figura 3. 7.</b> Comparación de promedios anuales y tendencia general de las precipitaciones (Golden Associates, 2006). ....   | 62 |
| <b>Figura 3. 8.</b> Comparación entre estaciones de precipitaciones durante la estación seca (octubre - marzo) y la húmeda (abril - septiembre) (Golden Associates, 2006).....  | 63 |
| <b>Figura 3. 9.</b> Tamaño del mercado según los principales subrubros económicos año 2018 (CIREN, 2021). ....  | 66 |
| <b>Figura 3. 10.</b> Estadísticas de establecimientos de alojamiento turístico en Atacama (Gobierno regional de Atacama, 2015).....   | 66 |
| <b>Figura 3. 11.</b> Variación a 12 meses de ocupados e incidencias según rama de actividad económica, total región (INE, 2022). Para el análisis el INE consideró aquellas actividades que se realizan históricamente en la región y han concentrado la mayor participación de ocupados: agricultura y pesca, minería, industria manufacturera, construcción, comercio, administración pública y enseñanza.....  | 68 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 3. 12.</b> Gráfico de la tasa de desocupación del país y regiones, durante el trimestre agosto - octubre de 2022 (INE, 2022).....   | 69 |
| <b>Figura 4. 1.</b> Representación esquemática de las dos etapas de evolución de las cuencas triásicas deposicionales en Chile durante el Ciclo Pre – Andino. Primera etapa (cuencas San Félix y El Quereo – Los Molles): fase de rift, en donde se desarrollaron las unidades paleozoicas, que resultan en un ciclo sedimentario de transgresión – regresión (inicialmente asociado con el vulcanismo local de edad Pérmico), seguido por depósitos de subsidencia termal. En la segunda etapa (¿cuencas El Profeta – La Ternera, San Félix?, La Ramada, El Quereo – Los Molles y Bio-Bío – Temuco): fase de rift, asociada inicialmente a un intenso vulcanismo félsico (pulso volcánico La Totorá – Pichidanguí), que resulta en depósitos continentales y marinos, seguido por una fase de subsidencia durando hasta el Jurásico Temprano con un desarrollo predominante de facies marinas (modificado de Charrier et al., 2007)..... | 71 |
| <b>Figura 4. 2.</b> Mapa geológico de Carta Los Loros realizada por Arévalo (2005) donde se observan las unidades geológicas correspondientes al área de estudio, donde Pac corresponde calderas volcánicas, Ksho a la Fm. Hornitos, Jl a la Fm. Lautaro, TrJlt como la Fm. La Ternera, PIHrm como depósitos de remoción en masa y PIHa como depósitos aluviales.....   | 82 |
| <b>Figura 4. 3. (cont.)</b> Leyenda y simbología del área de estudio en la Carta Geológica Los Loros (Modificado de Arévalo, 2005). .....   | 83 |
| <b>Figura 6. 1. A.</b> Conglomerados en matriz arenosa gruesa con grandes troncos fósiles de la Fm. La Ternera. <b>B.</b> Capa de areniscas calcáreas con laminación cruzada asociada a un ripple (indicada en coloración amarillo) en la base de la Fm. Lautaro.....   | 96 |
| <b>Figura 6. 2. A.</b> Domo riolítico asociado al vulcanismo paleógeno. <b>B.</b> Diques dioríticos plegados intruyendo la Fm. Hornitos.....  | 97 |
| <b>Figura 6. 3.</b> Esquema cartográfico y corte geológico (escala vertical exagerada x 3,5) de la zona de estudio. Se indica la existencia de yacimientos de troncos fósiles triásicos y posibles zonas donde podrían existir nuevos yacimientos.....  | 99 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 6. 4.</b> Cerro sector Altar de la Virgen, en donde se realizó la columna estratigráfica. ....   | 100 |
| <b>Figura 6. 5.</b> Columna estratigráfica sector Altar de la Virgen. ....   | 101 |
| <b>Figura 6. 6.</b> Troncos petrificados ubicados en el cuadrángulo formado por las coordenadas: 6.905.500N - 6.907.000N - 398.500E y 400.000E, en cerro ubicado al NW del Tranque Lautaro. Los troncos petrificados ubicados sobre la Fm. Lautaro, fueron depositados allí producto del levantamiento del bloque por una falla inversa que afecta a la Fm. La Ternera. .... | 103 |
| <b>Figura 6. 7.</b> Troncos petrificados ubicados en el cuadrángulo formado por las coordenadas: 6.905.500N - 6.905.500N - 402.000E y 404.000E, en quebrada Calquis al E del Tranque Lautaro. ....   | 104 |
| <b>Figura 6. 8.</b> Troncos petrificados ubicados en el cuadrángulo formado por las coordenadas: 6.902.500N - 6.903.500N - 403.500E y 404.000E, en el sector Algarrobo de la virgen al SE del Tranque Lautaro. ....  | 105 |
| <b>Figura 6. 9.</b> Nudos en la madera fosilizada. ....  | 105 |
| <b>Figura 6. 10.</b> Anillos de crecimiento en tronco silicificado. El tronco tiene alteración leve de óxidos de fierro (limolita, goethita). ....   | 106 |
| <b>Figura 6. 11.</b> Ubicación de los troncos (demarcada por los óvalos amarillos) indicada por la figura de hojas, entre la quebrada El Chañar y Sierra La Dichosa. ....  | 107 |
| <b>Figura 6. 12.</b> Mapa con las rutas geopatrimoniales sugeridas. ....   | 109 |
| <b>Figura 6. 13.</b> Carta geográfica del desierto y cordilleras de Atacama que data del año 1892 (Comisión Exploradora de Atacama, 1892). ....  | 110 |
| <b>Figura 6. 14.</b> Zoom de la Carta geográfica del desierto y cordilleras de Atacama en donde se observa la ubicación de la localidad Potrero Seco en el año 1892 (Comisión Exploradora de Atacama, 1892). ....  | 111 |
| <b>Figura 6. 15.</b> Puente Potrero Seco. <b>A.</b> Vista hacia el río en Copiapó. <b>B.</b> Vista hacia el cerro desde el puente. ....  | 112 |
| <b>Figura 6. 16.</b> Casona de Benito Cruz. En la imagen se observa la pieza que utilizó como dormitorio Charles Darwin. ....  | 113 |
| <b>Figura 6. 17.</b> Acueducto Amolanas. <b>A.</b> Estructura de cascada artificial por donde caía el agua. <b>B.</b> Puente superior por donde se realizaba el transporte de agua. ....   | 114 |

**Figura 6. 18.** Tronco petrificado ubicado en el cerro contiguo al Tranque Lautaro (Universidad de Atacama, 2018)..... 115

**Figura 6. 19.** Tronco petrificado ubicado en el viñedo Altar de la Virgen, ubicado en los cerros frente al Tranque Lautaro. .... 116

**Figura 6. 20.** El tranque Lautaro es la última parada de ambas rutas patrimoniales. En su alrededor es posible observar el paisaje y, en su mayor expresión geológica, la Fm. La Ternera (Triásico) y la Fm. Lautaro Jurásico) intensamente plegadas y falladas, otorgándole un gran potencial científico y turístico..... 117

**Figura 6. 21.** Variación de llegadas a establecimientos de alojamiento turístico en la región de Atacama por mes (Gobierno regional de Atacama, 2015)..... 118

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 2. 1.</b> Cantidad y nombres de geositios reconocidos por la Sociedad Geológica de Chile y Sernageomin.....  | 50 |
| <b>Tabla 3. 1.</b> Promedio de precipitaciones anuales (modificado de Golden Associates, 2006).....   | 63 |
| <b>Tabla 5. 1.</b> Modelo de inventario de LIG's (extraído de Maldonado, 2017; modificado de Vegas et al., 2013).....   | 85 |
| <b>Tabla 5. 2.</b> Ficha descriptiva de Patrimonio Geológico (extraído de Maldonado, 2017; modificado de Henao y Osorio, 2011).....   | 86 |
| <b>Tabla 5. 3.</b> Potencial de uso educativo y turístico Maldonado, 2017; De Lima et al., 2010).....   | 87 |
| <b>Tabla 5. 4.</b> Riesgo de degradación (Maldonado, 2017; modificado de De Lima et al., 2010).....   | 88 |
| <b>Tabla 5. 5.</b> Criterios utilizados para la evaluación del potencial de uso educativo de los sitios geológicos. Un valor final bajo significa una menor adecuación para uso educativo mientras que, un valor final alto significa una mayor adecuación para usos educativos (Maldonado, 2017; modificado de De Lima et al., 2010).....          | 88 |
| <b>Tabla 5. 6.</b> Criterios usados para evaluar el potencial de uso turístico en los sitios geológicos donde un valor bajo significa menor adecuación para uso turísticos mientras que, un valor final alto significa una mayor adecuación para uso turístico (Maldonado, 2017; modificado de De Lima et al., 2010.).....                          | 90 |
| <b>Tabla 5. 7.</b> Criterios usados para evaluar el potencial de degradación de un geositio donde un valor bajo significa menor riesgo de degradación mientras que, un valor final alto significa un mayor riesgo de degradación lo que genera una mayor necesidad de un plan de gestión (Maldonado, 2017; modificado de De Lima et al., 2010)..... | 92 |
| <b>Tabla 5. 8.</b> Resumen comparativo de la valorización de cada geositio (Maldonado, 2017).....   | 93 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 5. 9</b> Rangos de clasificación de los geositos (Maldonado, 2017). ..... | 94  |
| <b>Tabla 6. 1.</b> Definición de facies presentes en columna estratigráfica.....   | 103 |

## **RESUMEN**

Las plantas son los productores primarios de la vida en la Tierra, pues tienen un papel primordial dentro del escenario físico, químico y biológico de la evolución del planeta. Durante el transcurso de su existencia, se desarrollan una gama de adaptaciones permitiendo así la comprensión de los linajes, pudiendo ser estudiadas mediante la paleobotánica obteniendo información de cómo era la vida del reino Plantae en el pasado. Una forma de preservación que se da en las plantas es la petrificación que ocurre cuando toda la materia orgánica original de la planta ha sido sustituida por minerales. La geología de la zona del tranque Lautaro se caracteriza por su complejidad estructural y el extenso afloramiento de las formaciones La Ternera y Lautaro en los cerros que delimitan ambas laderas del valle. La Formación La Ternera aparece representada en la zona por potentes coladas de lavas andesíticas y basálticas con tonalidades oscuras y violáceas en el paisaje. El techo de la formación está marcado por una concordancia con la Formación Lautaro, definido en este sector como conglomerados clasto-soportados y areniscas de intensas tonalidades rojizas, en estratos de escala decimétrica a métrica con abundantes troncos fósiles de edad Triásico Tardío – Jurásico Temprano que, pese a ubicarse en esta formación geológica, pertenecen a la Formación La Ternera. La presencia de estos troncos petrificados en las cercanías del tranque Lautaro fue uno de los tantos hallazgos que Charles Darwin documentó en sus diarios de viajes quedando durante muchos años estos troncos en el olvido. Con estudios de diversos estudiantes e investigadores estos troncos fósiles fueron redescubiertos permitiendo así la realización de nuevos trabajos, siendo necesario que este patrimonio geológico sea protegido y conservado. En Chile, es usada la metodología propuesta por geólogos brasileños para la identificación y valoración del patrimonio geológico, que no contempla las realidades socioeconómicas ni geográficas de los habitantes del valle de Copiapó. En base a lo anterior se indica cómo debiera hacerse la solicitud formal para que los troncos sean declarados Santuario de la Naturaleza y a su vez sean ingresados a una ruta patrimonial asociada al viaje de Charles Darwin por el valle de Copiapó, para así fomentar el turismo geológico y el conocimiento histórico en la sociedad.

Palabras clave: PALEOBOTÁNICA –TRONCOS PETRIFICADOS – PATRIMONIO GEOLÓGICO – TRANQUE LAUTARO – ATACAMA.

## **ABSTRACT**

Plants are the primary producers of life on Earth, since they have a fundamental role within the physical, chemical and biological scenario of the planet's evolution. During the course of its existence, a range of adaptations are developed, thus allowing the understanding of the lineages, which can be studied through paleobotany, obtaining information on what life was like in the Plantae kingdom in the past. One form of preservation that occurs in plants is petrification, which occurs when all the original organic matter of the plant has been replaced by minerals. The geology of the Lautaro dam area is characterized by its structural complexity and the extensive outcrop of the La Ternera and Lautaro formations on the hills that delimit both slopes of the valley. The La Ternera Formation appears represented in the area by powerful andesitic and basaltic lava flows with dark and purple tones in the landscape. The top of the formation is marked by a concordance with the Lautaro Formation, defined in this sector as clasto-supported conglomerates and sandstones with intense reddish tones, in decimeter to metric scale strata with abundant Late Triassic-Early Jurassic fossil trunks that, despite being located in this geological formation, belong to the La Ternera Formation. The presence of these petrified trunks in the vicinity of the Lautaro dam was one of the many finds that Charles Darwin documented in his travel diaries, these trunks being forgotten for many years. With studies by various students and researchers, these fossil trunks were rediscovered, thus allowing new work to be carried out, making it necessary for this geological heritage to be protected and preserved. In Chile, the methodology proposed by Brazilian geologists is used for the identification and valuation of the geological heritage, which does not consider the socioeconomic or geographical realities of the inhabitants of the Copiapó valley. Based on the above, it is indicated how the formal request should be made so that the logs are declared a Nature Sanctuary and in turn are entered into a heritage route associated with Charles Darwin's trip through the Copiapó valley, in order to promote geological tourism and historical knowledge in society.

**Keywords: PALEOBOTANY – PETRIFIED LOGS – GEOLOGICAL HERITAGE – DAM LAUTARO – ATACAMA.**

## **CAPÍTULO 1: MARCO INTRODUCTORIO**

### **1.1. Presentación y contexto del problema de investigación**

La atracción que ejerce para el público algunos rasgos geológicos singulares es una realidad: casi 2 millones de personas visitan al año las cataratas de Iguazú (Brasil-Argentina), casi 4 millones el Parque Nacional Gran Cañón y casi 5 millones el Parque Nacional de Yellowstone (Estados Unidos), más de 3 millones el volcán del Teide (España), etc. Ciertos elementos geológicos (en el sentido más amplio de la palabra) constituyen auténticos íconos para el turismo nacional e internacional, y evocan lugares emblemáticos que muestran la dinámica de la Tierra como glaciares, cascadas, cuevas, cañones o ciertos yacimientos paleontológicos, por citar tan sólo unos ejemplos. La visita con fines turísticos a enclaves geológicos (que pueden ser denominados geositos), derivó en el término geoturismo, cuya utilización ha experimentado un cierto auge en los últimos años, casi siempre ligado a la conservación del patrimonio geológico (Meléndez-Hevia, *et al.*, 2017).

El término geoturismo fue definido por primera vez por Hose (1995), siendo “la provisión de recursos interpretativos y servicios para promocionar el valor y beneficio social de los lugares de interés geológico y geomorfológico, asegurar su preservación y su uso por parte de estudiantes, turistas u otro tipo de visitantes”. La utilización de geoturismo bajo esta concepción se basaba en que constituía una forma de promover la geología y la geomorfología con el fin de identificar, proteger y conservar sus geositos (Hose, 2011). Así, el geoturismo debe estar planificado y debe ser localmente beneficioso en términos socioambientales y económicos (Dowling 2009, 2011).

El reto del geoturismo es doble: por un lado, crear atracciones partiendo de afloramientos geológicos (geositos) que en la mayoría de los casos son poco espectaculares o requieren ilustrar al público que posee pocos conocimientos de geología, y por otro lado aprovechar para transmitir conocimientos básicos sobre la Tierra y los procesos geológicos en aquellos lugares que de por sí ya constituyen una atracción turística. Todo lo anterior tomando en cuenta el cuidado y la buena gestión del patrimonio nacional. En base al catastro realizado por la Sociedad Geológica de Chile, se identifican 33 geositos ligados a la paleontología en el territorio nacional. De ellos 6 corresponden a geositos de edad

mesozoica: Quebrada Caracoles (Sierra Gorda, región de Antofagasta), huellas de dinosaurios de la Quebrada Descubridora (Tierra Amarilla, región de Atacama), Quebrada Tres Cruces (Paihuano, región de Coquimbo), Jurásico de San Antonio de Puchuncaví (Puchuncaví, región de Valparaíso), Acantilados de Loanco (Constitución, región del Maule) y Formación Quiriquina en Bahía Las Tablas (Talcahuano, región del Biobío) (Sociedad Geológica de Chile, 2022). Dentro del patrimonio geológico se encuentran los troncos fosilizados, registros de la flora pasada bastante conocidos por la comunidad científica pero no así por la comunidad en general incluyendo a veces, a autoridades locales y nacionales. Lo anterior implica que no se inviertan recursos para fomentar el cuidado del patrimonio y su acceso para todos, los que corren el grave riesgo de degradarse por agentes externos. La geología aledaña a los troncos petrificados pertenece a edades Triásico – Jurásico, teniendo formaciones geológicas intensamente plegadas y falladas, lo que puede llevar confusión al definir y caracterizar las unidades litológicas.

## **1.2. Hipótesis**

Los troncos petrificados en el sector de Amolanas se encuentran depositados en sedimentos continentales de edad Triásico Tardío – Jurásico Temprano en un ambiente fluvial, indicando así que forman parte del techo de la Formación La Ternera. Además, constan de un alto valor patrimonial puesto que son descubiertos por Charles Darwin en el año 1835 y nombrados en sus diarios de viajes otorgando así, un valor turístico vinculado al geopatrimonio en el valle de Copiapó.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Comprensión geológica, paleobotánica y patrimonial de troncos fósiles del sector Amolanas (comuna de Tierra Amarilla).

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Definir y caracterizar las unidades litológicas del sector Amolanas.
- Identificar el mecanismo de alteración tafonómica de los troncos fósiles del sector Amolanas.
- Determinar el ambiente de depositación de los troncos fósiles del sector y, a su vez, determinar su procedencia (autóctono o alóctono).
- Proponer el área como un sitio de interés geológico, tomando en cuenta su valor geopatrimonial, para fomentar el turismo en el valle de Copiapó.

### **1.4. Trabajos previos**

En el área de estudio se han realizados los siguientes trabajos previos:

- Darwin, C. (1835) realiza un viaje hacia el valle de Copiapó quedándose en la localidad de Potrero Seco (en donde se cargaba el mineral extraído de Chañarillo). A partir de allí inició su viaje hacia el interior del valle en donde en su libro de viajes documentó: “Se encuentran allí cantidades considerables de grandes troncos de árboles derribados, petrificados y hundidos en un conglomerado”.
- Segerstrom, K. (1962), por medio del Instituto de Investigaciones Geológicas realiza el trabajo titulado “Geología de la Precordillera de Copiapó”, obteniendo la que sería la primera carta geológica del área de estudio.
- Von Hillebrandt (1971 y 1973), mediante sus estudios titulados “El Jurásico en la alta cordillera Chileno-Argentina (25° a 32°30'S)” y “Nuevos resultados sobre el Jurásico en Chile y Argentina” investigó la transgresión del jurásico marino entre las latitudes 26° y 29° S, la diferencia de extensión estratigráfica, facies y espesor.
- Jensen, O. (1976) publica su tesis para obtener el título de geólogo llamada “Geología de las nacientes de río Copiapó, entre los 27°53' y 28°20' de latitud sur, provincia de Atacama, Chile”. En ella describe, en el perfil al SE del Tranque Lautaro, la presencia de “conglomerados de color pardo – amarillo a verdoso [...] En estos niveles es común encontrar restos de troncos fósiles silicificados”.
- Blanco (1996), realiza su memoria de tesis titulada “Sedimentología y ambientes deposicionales de la Formación La Ternera, Triásico Superior de la precordillera

andina de Copiapó, región de Atacama, Chile”. En ella se realizó un estudio sedimentológico de las facies y asociaciones presentes en el área de estudio del presente trabajo. Además, el autor realizó dos trabajos previos en la misma área en 1991 y 1992 para los cursos Proyecto I y Proyecto II, respectivamente.

- Arévalo, C. (2005), en su trabajo realiza un levantamiento geológico a escala 1:100.000 para el Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile.
- Torres, T., Suárez, M. y Olivares, H. (2010), presentan en el II Simposio de Paleontología en Chile, el trabajo titulado “Maderas de gimnospermas del Triásico y Jurásico en la región de Atacama, norte de Chile” indicando la presencia de troncos fósiles en los alrededores del Tranque Lautaro.
- Martínez *et al.*, (2013) realizan un estudio sobre la Cuenca Chañarcillo, analizando cómo la inversión de ésta podría haber generado una deformación dominante en los sistemas extensionales del Mesozoico.
- Peña (2015), expone su trabajo en el XIV Congreso Geológico Chileno titulado “El valle del Río Copiapó: una incisión de visitas ilustres y un retrato de la evolución del conocimiento geológico” evidenciando el paso de diversos naturalistas y geólogos que han estudiado el valle de Copiapó.
- Torres, T. y Moisan, P. (2018), retoman los trabajos de Torres presentando en el I Congreso Chileno de Paleontología los últimos avances en el estudio anatómico realizado a fragmentos fósiles de maderas, recolectadas en las cercanías del Tranque Lautaro.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Paleobotánica**

Corresponde a la ciencia que se encarga del estudio de las plantas que habitaban en la Tierra en el pasado, es decir, la reconstrucción de la historia del reino vegetal. Aunque los estudios moleculares y genéticos de las plantas actuales se han vuelto herramientas cada vez más importantes para la reconstrucción de la filogenia y su evolución, la paleobotánica sigue siendo el único medio para obtener la información de la evolución y diversidad vegetal (Taylor, *et. al.*, 2009). Las plantas son los productores primarios de la vida en la Tierra, pues tienen un papel primordial dentro del escenario físico y biológico de la evolución del planeta. Durante el transcurso de su existencia pueden desarrollar una gama de adaptaciones y es, por esta misma razón, que se debe tener una comprensión clara y precisa sobre la evolución de los linajes y de los cambios de sus interacciones con el medio, que resultan fundamentales para el entendimiento de los ecosistemas terrestres (Spicer, 1991). Actualmente el registro de plantas fósiles es amplio y la señal ambiental que conlleva, demuestra tener una gran importancia para las reconstrucciones y estudios asociados al cambio climático (Serrano y Reyes, 2014).

Desde el punto de vista bioestratigráfico, es de conocimiento la utilización de polen y esporas para la correlación con unidades de roca. Sin embargo, hojas y semillas también pueden proporcionar un método de correlación de unidades de roca que están ampliamente separadas geográficamente mientras que, desde el punto de vista paleoclimático, las plantas fósiles suministran datos de referencia para la construcción de modelos y calibrarlos con los parámetros físicos existentes en el pasado (Taylor *et al.*, 2009). De esta manera, el conocimiento de los procesos tafonómicos que afectan a la formación de los yacimientos de plantas es esencial para lograr una correcta interpretación de las señales paleoclimáticas del pasado (Spicer, 1991).

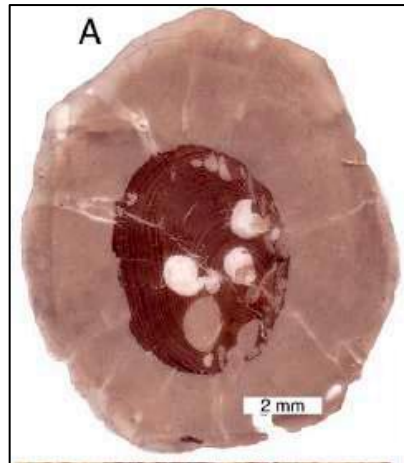
Por otra parte, se entiende la tafonomía como el estudio de la transición de los restos orgánicos de la biósfera a la litósfera (Efremov, 1940). De forma particular, la tafonomía de plantas incorpora la abscisión de los diferentes órganos, su transporte y su eventual depósito, seguido de un enterramiento y una litificación subsecuentes (Serrano y Reyes, 2014).

## **2.2. Preservación de troncos fósiles**

De manera obvia, el primer requerimiento para una fosilización es que las plantas al morir sean depositadas en un ambiente excluido de oxígeno, es decir, un ambiente anaeróbico. Una vez depositadas, las plantas deben ser enterradas por sedimentos capaces de tener la suficiente acidez para así reducir el oxígeno del ambiente. Las rocas que contienen los restos fósiles de una planta son aquellas que han sido expuestas de alguna manera. Lugares erosionados por el agua, son ejemplos de áreas donde se exponen rocas que contienen fósiles (Taylor *et al.*, 2009).

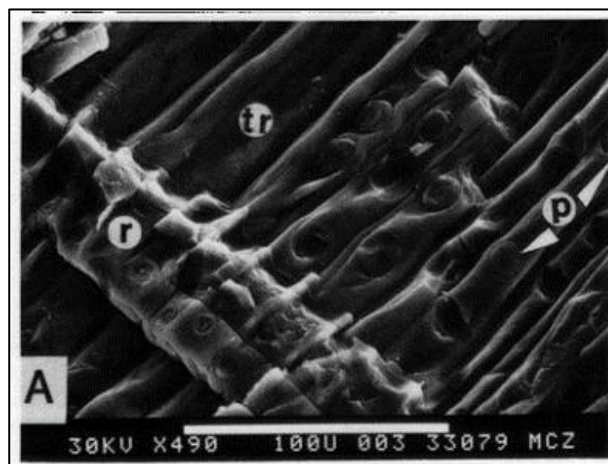
El transporte de los diferentes órganos que conforman las plantas (especialmente las hojas), pueden llegar a constituir una fuente de sesgo tafonómico. Por lo general el transporte comienza con el aire, aunque en la mayoría de los casos una fuente de agua se ve involucrada en algún momento. El proceso de decaimiento puede ser muy variable pues depende de los tejidos vegetales, de las especies de plantas y del tipo de ambiente sedimentario (Serrano y Reyes, 2014).

La preservación de un tronco fósil proporciona la oportunidad de examinar la estructura interna de una planta o parte de ella. Esta puede ocurrir por permineralización, que se forma cuando las soluciones ricas en minerales impregnan el tejido poroso como el hueso o en este caso, la madera. Los minerales precipitan fuera de la solución y llenan los poros y espacios vacíos. Parte del material orgánico original permanece, pero ahora esta incrustado en una matriz mineral (Figura 2.1) (Schopf, 1975). Generalmente, la mineralización de los restos vegetales es altamente dependiente del tipo de ambiente sedimentario y de la presencia de depósitos secundarios de sílice, carbonato o pirita (Schopf, 1975; Brack-Hynes, 1978; Scott, 1990).



**Figura 2. 1.** Madera permineralizada en donde el material orgánico se encuentra incrustado en una matriz mineral de calcita (Mustoe, 2017).

En una permineralización los minerales rellenan los lúmenes de las células y los espacios intersticiales, pero no reemplazan por completo las paredes celulares. Estas aún constan de materia orgánica a pesar de que pueden tener varios grados de alteración química. El nivel de detalle que se puede preservar mediante una permineralización es extraordinario, pudiendo conservar estructuras tan delicadas como granos de almidón, núcleos, diversos tipos de membranas, radios y hoyos bordeados (Figura 2.2) (Taylor *et al.*, 2009).



**Figura 2. 2.** Conífera silicificada de Yellowstone, Wyoming ( $2.430 \pm 250$  años, determinada por  $C^{14}$ ). En el microscopio se observa la excelente conservación de traqueidas (tr), radios (r) y hoyos bordeados (p). La escala usada es de  $100 \mu$ . (Stein, 1982).

Muchas permineralizaciones contienen sílice como mineral incrustado (Figura 2.3). En el caso de la madera silicificada, esta se forma principalmente en dos ambientes geológicos:

- 1) Los árboles transportados por arroyos y ríos pueden quedar enterrados en los sedimentos fluviales de grano fino de deltas y llanuras aluviales o,
- 2) Las cenizas volcánicas pueden enterrar árboles mientras aún están erguidos (Mustoe, 2003).

La madera fresca enterrada en lodo blando bajo el agua que transporta grandes cantidades de sedimentos puede establecer las condiciones necesarias para la fosilización. El entierro rápido en ceniza volcánica es la etapa inicial para muchos bosques fósiles conservados con sílice (Leo y Barghoorn, 1976). La ceniza volcánica actúa como una fuente abundante de sílice para el agua subterránea. La presencia de agua es importante por varias razones: reduce el oxígeno inhibiendo así el deterioro tisular de los hongos aeróbicos, actúa como agente para la alteración de la ceniza, mantiene la forma de la madera para una máxima permeabilidad y crea un medio para el transporte y la deposición de sílice.

Las condiciones de temperatura y presión durante la formación de madera fósil son equivalentes a las que se encuentran en ambientes sedimentarios de poca profundidad: las presiones excesivas deformarían la forma y los tejidos de la madera, y las temperaturas excesivas (por encima de 100°C) descomponen las sustancias de la madera. El pH del agua cargada de sedimentos dentro de la madera es probablemente neutro a ligeramente ácido, pues la madera se descompone químicamente a valores de pH por debajo de 4.5 y por encima de 7. La sílice es altamente soluble a un pH superior a 9, lo que hace que la precipitación sea menos probable. La erosión de la ceniza volcánica puede producir un pH bastante alto (alcalino), lo que liberaría sílice en solución, lo que la haría disponible para su colocación en la madera a medida que se reduce el pH (Leo y Barghoorn, 1976). Estos parámetros físicos y químicos ayudan a definir las condiciones ambientales en las que la madera puede actuar como plantilla para la precipitación de sílice. Para replicar la estructura celular con alta fidelidad se debe lograr un equilibrio entre la degradación de la madera y la precipitación mineral. La sílice amorfa que inicialmente impregna la madera es altamente higroscópica (atrae el agua) y altamente permeable al flujo de fluidos (Leo y Barghoorn, 1976). Durante las etapas iniciales de la permineralización, la sílice amorfa se

apila en las células que están conectadas y precipita en las paredes celulares. El reemplazo de la celulosa en las paredes celulares ocurre a medida que continúa el proceso de permineralización. La celulosa degradada deja espacio para el emplazamiento de sílice entre y dentro de las paredes celulares. La sílice que inicialmente se impregna en el tejido poroso y la que reemplaza el material de la pared celular es amorfa, por ende es inestable y cristaliza lentamente a formas más estables durante millones de años. La transición a formas más estables de sílice implica la polimerización continua y la pérdida de agua (Stein, 1982). La lignina, en condiciones anaeróbicas, es el compuesto más resistente a la descomposición en la madera y continúa actuando como una plantilla para el detalle estructural. De hecho, las maderas fósiles muestran un aumento en la proporción de lignina a holocelulosa (celulosa y hemicelulosa) en comparación con sus contrapartes contemporáneas. Los especímenes envejecidos del Eoceno o mayores carecen de holocelulosa. Por lo tanto, la lignina es la última materia orgánica en ser reemplazada (Stein, 1982).



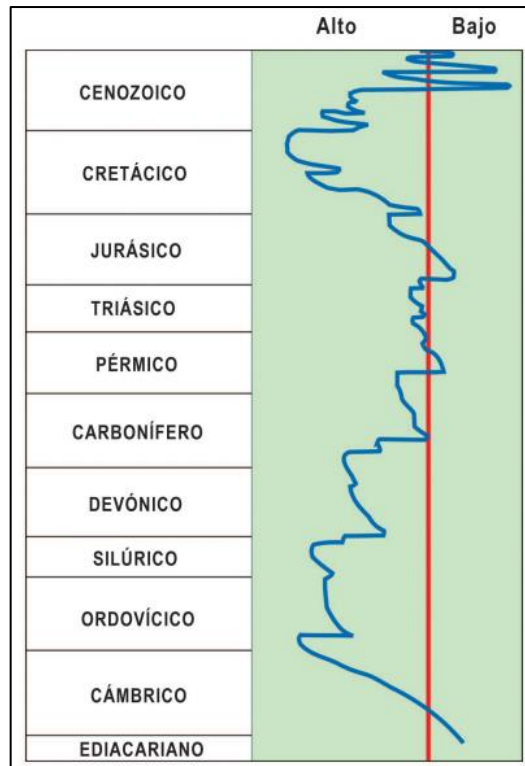
**Figura 2. 3.** Madera fosilizada mediante permineralización de sílice, de la especie *Araucarioxylon arizonicum*, perteneciente al Triásico Superior. La permineralización ha conservado estructuras como los anillos de crecimiento (Museo Geominero del Instituto Geológico y Minero de España, 2019).

El equilibrio entre la eliminación de la materia orgánica y la deposición de minerales a menudo no es completo, por lo que parte de la materia orgánica permanece en muchas permineralizaciones. A medida que el proceso continúa, los depósitos de sílice rellenan espacios intercelulares y vacíos creados por la contracción y la degradación de la madera (Stein, 1982).

Un modelo tradicional de silicificación incluye una transformación de la sílice inicial a formas cada vez más estables de ópalo-A (mineraloide extremadamente desordenado, casi amorfo) a ópalo-CT (mineraloide con cristobalita desordenada y tridimita) a calcedonia y finalmente a cuarzo. Sin embargo, falta evidencia de recristalización de sílice en algunos especímenes que sugieren más de una vía para la formación de madera silicificada (Mustoe, 2008).

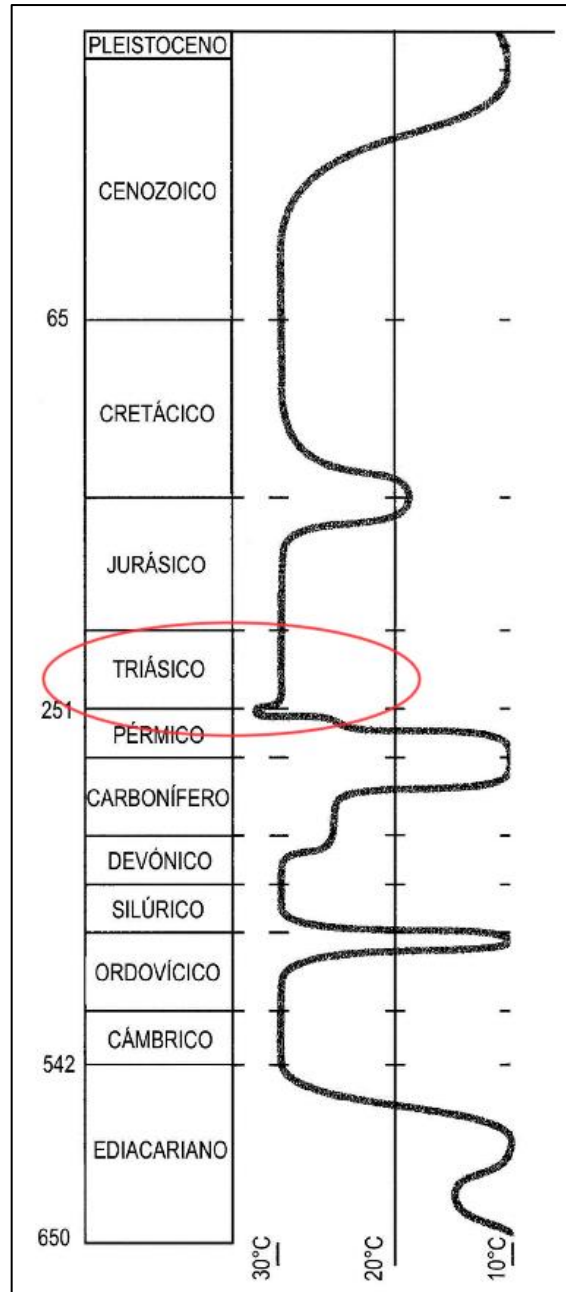
### **2.3 Paleogeografía, paleoclima y paleobotánica del Triásico**

Hay dos fenómenos notables que son propios del Triásico: el inicio de la fragmentación del supercontinente Pangea y la recuperación de la flora y fauna luego de la severa extinción a fines del Pérmico. Otro rasgo distintivo es que el nivel del mar alcanzó el punto más bajo de todo el Fanerozoico (Figura 2.4 y 2.5). Una revisión reciente de la curva del nivel del mar en el Triásico muestra un extenso período (~ 80 Ma) de nivel bajo, igual o ligeramente superior al nivel del mar actual, con un pico de ascenso de alrededor del Carniano Tardío, para declinar fuertemente a finales del período (Haq, 2018). El persistente nivel bajo ha sido relacionado con la escasa actividad de las dorsales mesoceánicas (Flament *et al.*, 2013; Haq, 2018).



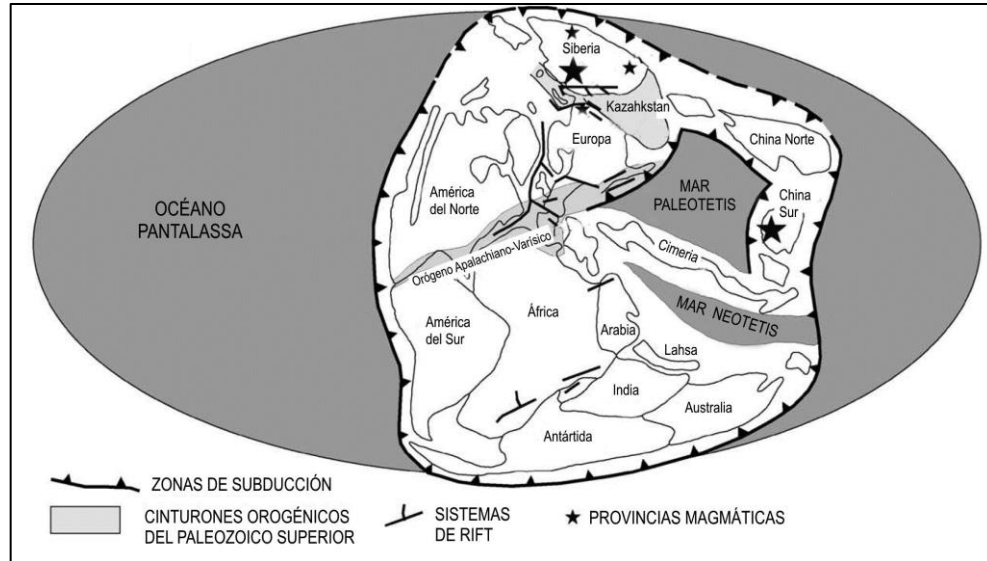
**Figura 2. 4.** Variaciones eustáticas a través del Fanerozoico. La línea roja marca el nivel promedio actual (Benedetto, 2018).

Otro factor que también contribuyó al descenso eustático fue el gradual hundimiento del fondo oceánico, lo que amplió la capacidad de las cuencas oceánicas. Este fenómeno se produjo porque al no haber dorsales activas generando nueva corteza oceánica ésta “envejeció” haciéndose más fría y densa (Flament *et al.*, 2013; Haq, 2018).



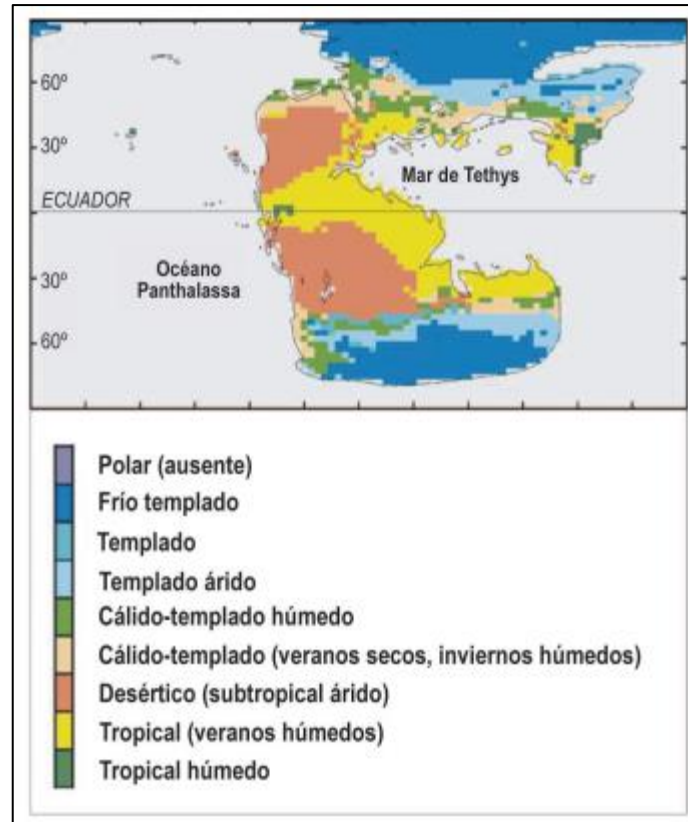
**Figura 2. 5.** Variación de la paleotemperatura durante el Neoproterozoico Superior (Ediacárico) y Fanerozoico. Nótese los cuatro pulsos de glaciación y los intervalos prolongados de clima notablemente más cálido que el actual (modificado de Scotese *et al.*, 1999).

La posición paleogeográfica del supercontinente Pangea en el Triásico difiere poco de la que tenía en el Pérmico, sólo se trasladó unos pocos grados al hemisferio norte (Figura 2.5) (Benedetto, 2018).



**Figura 2. 6.** Paleogeografía del Triásico Temprano. La actividad de las provincias magmáticas se inició cerca del límite Pérmico - Triásico (Benedetto, 2018; modificado de Nikishin *et al.*, 2002).

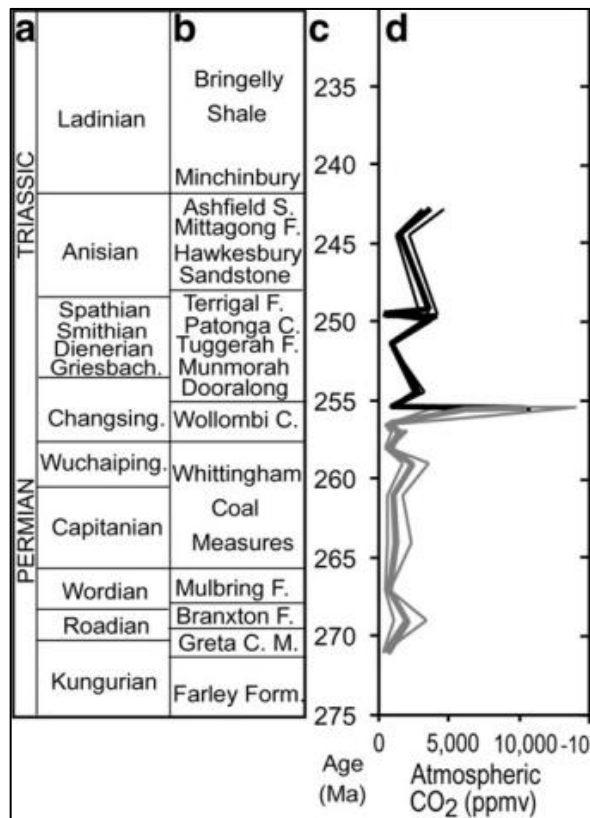
Después del fin de la glaciación, el clima del planeta entró en una fase de invernadero que perduró hasta mediados del Cenozoico, cuando se formaron nuevamente los casquetes polares. Durante el Mesozoico la temperatura se mantuvo entre 6°C y 10°C por arriba de la media actual. Análisis más precisos del paleoclima triásico realizados en programas meteorológicos como OAGCM (Ocean Atmosphere General Circulation Mode) permitieron identificar aspectos importantes como que en las regiones circumpolares triásicas los veranos no eran suficientemente fríos para la formación de hielo y acumulación de nieve (Sellwood y Valdes, 2006).



**Figura 2. 7.** Distribución de las zonas climáticas durante el Triásico Tardío (Benedetto, 2018; modificado de Sellwood y Valdes, 2006).

La presencia de la licópsida arborescente *Pleuromeia* en latitudes altas también es indicadora de que no había fuertes heladas. En las áreas tropicales y subtropicales la temperatura de los mares fue ideal para el desarrollo de arrecifes coralinos. En el Triásico Tardío alcanzaron latitudes cercanas a los 35°C en coincidencia con la ubicación de la isoterma de 20°C. En la región subtropical de Gondwana y en el centro – oeste de Norteamérica la evaporación superó largamente la precipitación desarrollándose áreas subtropicales desérticas. Las capas de carbón están ausentes en el Triásico Temprano y reaparecen en el Triásico Medio (Anisiano). La investigación de Retallack *et al.* (2011) indicó nuevos datos de la cuenca de Australia que revelan que a principios del Triásico hubo varios eventos invernales producidos por las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico lo que indica un clima cálido y lluvioso y una intensa meteorización en latitudes cercanas a los 60° donde se constata, además, el ingreso de anfibios y flora de

climas tropicales. La densidad de los estomas preservados en las hojas de plantas de *Ledopteris* pertenecientes al Triásico entregan información relevante sobre la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico. Se sabe, en base a experimentos realizados con plantas actuales, que el índice estomático disminuye (hay menos estomas en igual superficie) a medida que aumenta la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico. Este índice permitió el cálculo de la concentración de 3.869 ppmv para la base del Triásico (Griesbachiano) y de 3.510 ppmv para el Triásico Medio (Anisiano), valores que son extremadamente altos si se los compara con las 370 ppmv de la atmósfera actual (y las 280 ppmv de la época preindustrial). De hecho, estos valores son 10 veces mayores que en el presente y son muy similares a los de finales del Pérmico. Entre estos valores además existen picos que indican fuertes caídas de hasta 450 ppmv. Las fluctuaciones solo son explicables por inyecciones masivas de CH<sub>4</sub> o CO<sub>2</sub> en la atmósfera en cortos lapsos de tiempo (Retallack *et al.*, 2011).



**Figura 2. 8.** Serie temporal de cambio paleoambiental asociado al CO<sub>2</sub> atmosférico (ppmv) estimado a partir del índice estomático de las hojas de *Lepidopteris* de la cuenca de Sídney. El color negro representa el Triásico mientras que el color gris representa al Pérmico (Retallack *et al.*, 2011.)

En los continentes el paisaje cambió sustancialmente respecto del Pérmico. Las asociaciones mesofíticas (típicas del Mesozoico) se diferencian de las paleofíticas (típicas del Paleozoico) por la ausencia de licofitas y esfenófitas arborescente, de cordaitales y de glosopteridales, entre otros grupos. Los helechos con semillas (pteridospermas), si bien persistieron hasta fines de la Era Mesozoica, decrecieron en importancia, mientras que las gimnospermas experimentaron una gran expansión. Formas dominantes del Triásico fueron las coníferas, cicadales, bennetitales y ginkgoales, representada actualmente por la especie *Ginkgo biloba*, considerada un fósil viviente. Entre las coníferas fueron comunes las formas arbóreas de gran porte similares a la araucaria actual. La flora triásica gondwánica, denominada Flora de *Dicroidium*, está caracterizada por gimnospermas de la familia corystospermáceas (familia a la cual pertenece el *Dicroidium*) y formas endémicas de otros grupos florísticos (Figura 2.9) (Brea *et al.*, 2005).



**Figura 2. 9.** Representación de un paisaje del Triásico Medio. En primer plano, un reptil aetosáurido; atrás, un dinosaurio carnívoro con una manada de dicinodontes. La flora es de cycadales y helechos (Benedetto, 2018).

## 2.4. Bosques fósiles de Sudamérica

Un bosque petrificado<sup>1</sup> corresponde a una acumulación local de vestigios de árboles fosilizados (Sondor y Martínez, 2020). Existen fundamentalmente dos tipos de bosques petrificados según Archangelsky (1970):

- 1) Bosques petrificados autóctonos que conservaron los fósiles *in situ*: la madera fue petrificada en el mismo sitio donde vivió la planta original;
- 2) Las acumulaciones alóctonas, donde la madera ha sido transportada por el agua desde los cerros, laderas de montañas, planicies o a lo largo de una franja litoral o acarreo por una corriente.

Algunos de los bosques petrificados más importantes de Sudamérica son los que indica la Figura 2.10, mientras que sus edades se observan en la Figura 2.11 y 2.12.



Figura 2. 10. Bosques petrificados en Sudamérica.

<sup>1</sup> Aunque la terminología correcta es bosque permineralizado o silicificado, es común utilizar el término “petrificado” referido a la acción de convertir algo en piedra. Es por lo mismo que el término es utilizado en este trabajo.

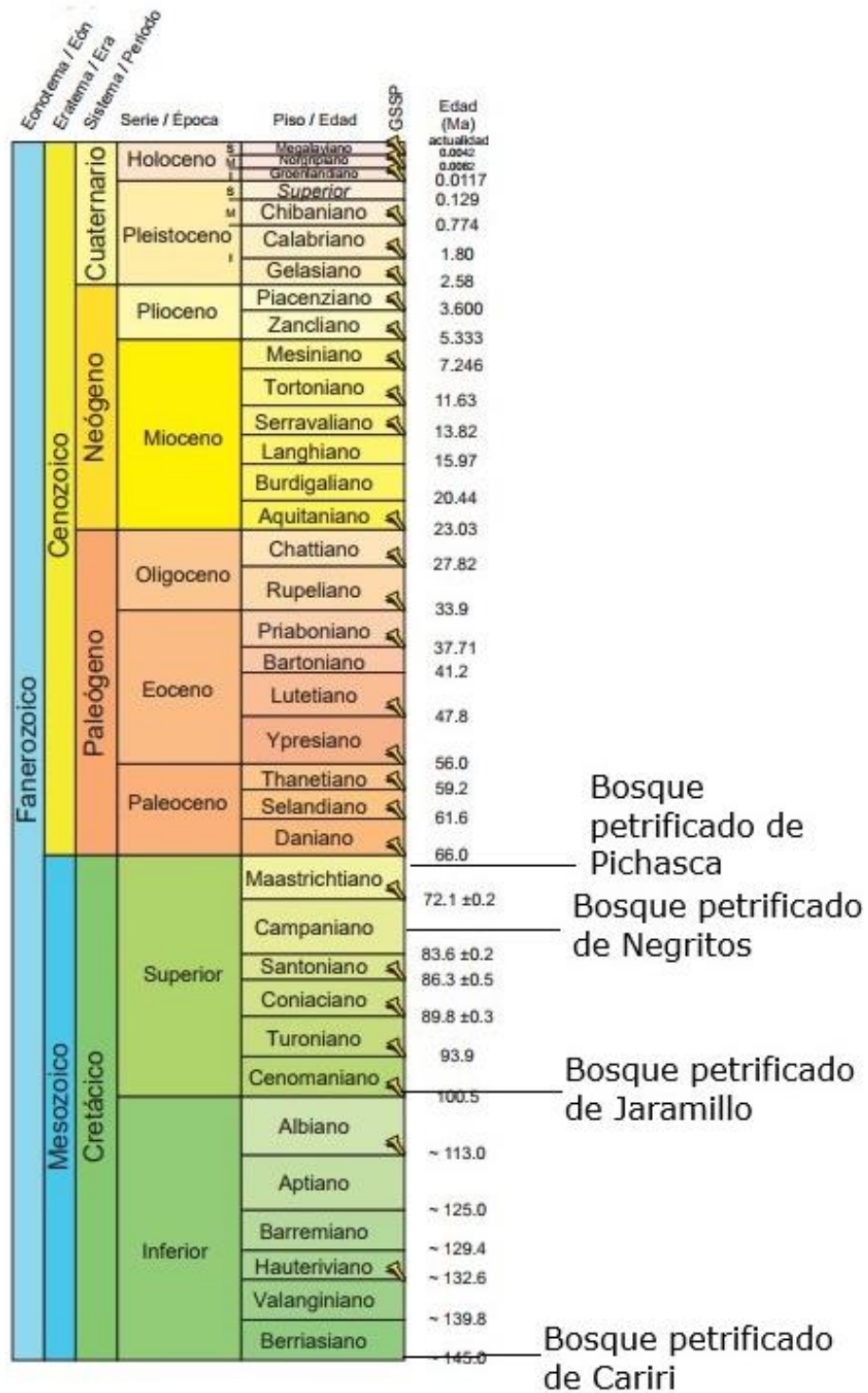


Figura 2. 11. Ubicación de la edad de los bosques petrificados más importantes en Sudamérica en la tabla cronoestratigráfica.

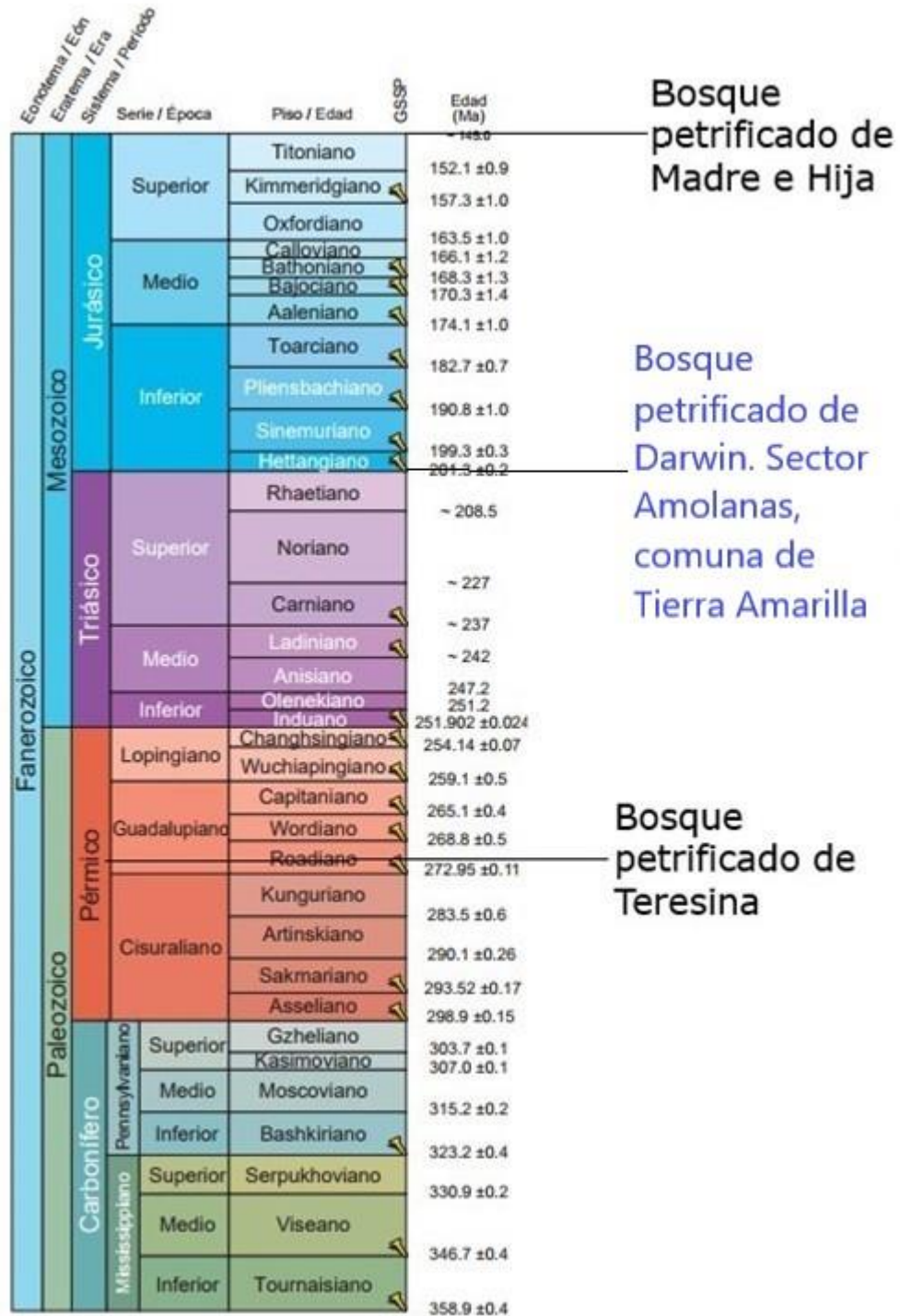


Figura 2. 12. (cont.) Ubicación de la edad de los bosques petrificados más importantes en Sudamérica en la tabla cronoestratigráfica. Además, se incluye el bosque petrificado de Darwin del sector Amolanas, en la comuna de Tierra Amarilla.

- Parque Nacional Bosques Petrificados de Jaramillo:

Ubicado en la provincia de Santa Cruz, Argentina, posee una superficie cercana a las 63.543 hectáreas que pertenecen a la ecorregión Estepa Patagónica. A estas hectáreas se le suman 15.000 más pertenecientes al Monumento Natural de Bosques Petrificados. Hace unos 150 millones de años, durante el período Jurásico Medio Superior, el área que ocupa este Monumento Natural presentaba un clima estable de gran humedad. En esta región se desarrollaban densos bosques con árboles de porte gigantesco, entre los que se destacaban antiguos parientes de los pehuenes o araucarias (Figura 2.13). Con las erupciones volcánicas, en los inicios del Cretácico, y el inicio del levantamiento de la cordillera, el territorio patagónico fue sepultado con cenizas y lavas y los bosques se petrificaron (Gobierno de Argentina, 2019).



**Figura 2. 13.** Parque Nacional Bosques Petrificados de Jaramillo en Argentina (Gobierno de Argentina, 2019).

- Monumento Natural Pichasca:

Ubicado en la región de Coquimbo, Chile, posee 128 hectáreas y se cree que es el lugar del país con la mayor concentración de troncos petrificados. Los árboles petrificados corresponden a especies de coníferas ya extintas (Figura 2.14), y que estarían emparentadas lejanamente con las araucarias (Sociedad Geográfica de Documentación Andina, 2019).



**Figura 2. 14.** Restos de tronco petrificado en Monumento Natural Pichasca (Consejo de Monumentos Nacionales, 2022).

- Bosque petrificado de Negritos:

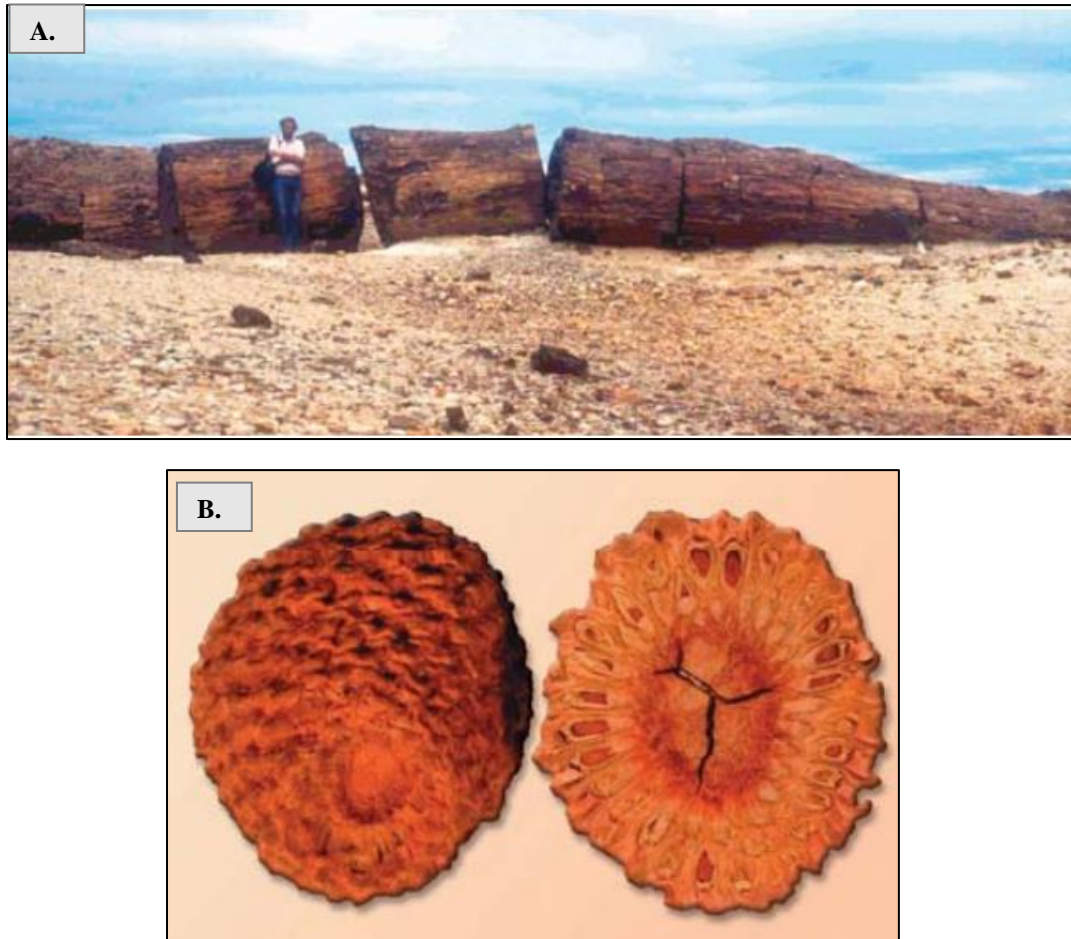
Ubicado en Perú, en la provincia de Talara, el bosque petrificado de Negritos se puede considerar un ejemplo de yacimiento paleontológico donde es posible encontrar una cantidad significativa de madera fósil con especímenes que varían en tamaño desde pequeños fragmentos hasta troncos muy largos, llegando algunos a medir entre 5 a 12 metros (Figura 2.15). El bosque petrificado de Negritos es una acumulación de troncos fosilizados que fueron transportados y depositados en la desembocadura de un río antiguo antes de ser sepultados y mineralizados, específicamente en la cuenca de Talara que comprende secuencias fluvio – deltáicas desde el Campaniano hasta el Eoceno Superior (Sondor y Martínez, 2020).



**Figura 2. 15.** Fragmento de tronco petrificado en el Bosque Petrificado de Negritos (Yaya, 2018)

- Bosque Petrificado de Madre e Hija:

De edad Jurásica y ubicado en la patagonia argentina, el Monumento Natural Bosques Petrificados o Bosque Petrificado de Madre e Hija (o del Cerro Cuadrado), es considerado el más importante de dicho país y el segundo más importante a nivel mundial por la magnífica preservación de sus troncos (Figura 2.16.A) y, en especial, de sus famosas piñas (Figura 2.16.B), en las que es posible observar los detalles anatómicos como los embriones del interior de las semillas (Cúneo y Panza, 2008). Los grandes troncos caídos se ubican en dirección este – oeste, lo que sugiere que fueron abatidos por vientos de gran intensidad provenientes del oeste durante una intensa actividad volcánica (Cúneo y Panza, 2008).



**Figura 2. 16.** Ejemplares del bosque petrificado Madre e Hija. **A.** Tronco caído perteneciente a uno de los ejemplares de mayor tamaño. **B.** Conos femeninos o "piñas"; a la izquierda vista externa de un ejemplar. A la derecha, corte mostrando los rasgos anatómicos externos, perfectamente conservados (Cúneo y Panza, 2008).

▪ Bosque petrificado de Teresina:

Ubicado en Brasil, en la Cuenca del Parnaíba, se reconoce por el alto contenido en troncos fósiles del género *Psaronius*, aunque también de otros fósiles (Batista *et al.*, 1989). Los troncos se encuentran en posición de vida (Figura 2.17) en el margen derecho del río Poti en facies sedimentarias que sugieren un ambiente deposicional de transición (marino – continental).



**Figura 2. 17.** Bosque fósil de Teresina (ECOM, 2015).

▪ Bosque petrificado de Cariri:

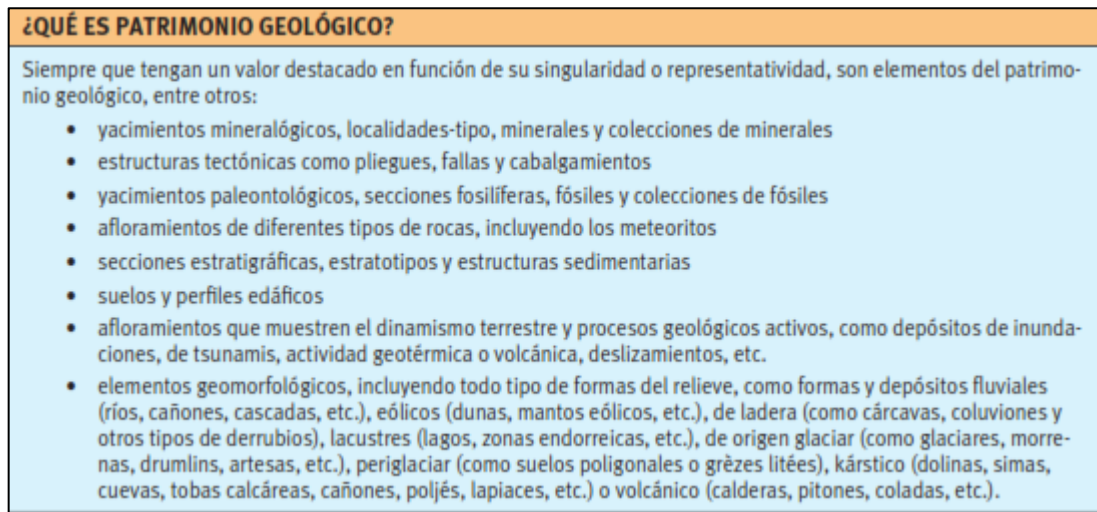
Ubicado en el municipio de Missao Velha, es una gruta de areniscas rojizas con capas de guijarros donde se encuentran troncos de pinos petrificados que vivieron allí hace 150 millones de años algunos de más de 2 kilómetros de largo (Ceará, 2010). Son, por lo tanto, registros materiales de lo que era un hermoso bosque que ofrece un excelente contenido científico – didáctico (Figura 2.18).



**Figura 2. 18.** Tronco petrificado ubicado en el bosque Petrificado do Cariri (Ceará, 2010).

## 2.5. Patrimonio geológico, geoturismo y geoconservación

El inicio de la conservación de sitios geológicos se remonta al año 1977 en Reino Unido, posterior a la creación de la *Geological Conservation Review* por medio de Nature Conservancy (Wimbledon, 1988) y surge como el resultado de entender el papel del hombre en su relación con la Tierra, de manera que la sociedad considera un derecho, una necesidad y un deber proteger el medio ambiente, promover un desarrollo sostenible y dejar para las generaciones futuras un entorno bien conservado, incluyendo los elementos geológicos de interés excepcional (Carcavilla, 2011). Es así como el patrimonio geológico es formado por elementos geológicos que presentan una especial singularidad debido, fundamentalmente, a su interés científico o didáctico. Constituye una parte importante del patrimonio natural e incluye formas, elementos y estructuras originadas por cualquier proceso geológico (Figura 2.19 y Figura 2.20) (Carcavilla, 2014).



**Figura 2. 19.** Criterios para considerar qué es el patrimonio geológico (Carcavilla, 2014).

| ¿QUÉ NO ES PATRIMONIO GEOLÓGICO?  |
|---|
| <p>El patrimonio geológico está formado exclusivamente por elementos naturales debidos a la acción de procesos geológicos. Así que no forman parte del patrimonio geológico:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• minas o instalaciones mineras (castilletes, galerías, escombreras, hornos, etc.)</li><li>• norias, molinos, acequias, fuentes, presas o cualquier otra instalación aunque sirva para aprovechar recursos geológicos</li><li>• mapas, planos de labores, libros, documentos, instrumentos de estudio</li><li>• dibujos, cuadros, edificios, esculturas y cualquier otra manifestación artística</li><li>• arte rupestre (pinturas o grabados) o yacimientos arqueológicos</li><li>• ermitas, castillos o cualquier otra construcción, aunque utilice piedra natural como material principal</li></ul> |

**Figura 2. 20.** Criterios que indican que no es considerado patrimonio geológico (Carcavilla, 2014).

En los últimos años se ha entendido que el patrimonio geológico, además de su valor científico, es un gran recurso para promover el desarrollo local a partir del geoturismo. El concepto ha tomado forma y se ha entendido como lo define Hose (2000) como “viajar con el objeto de experimentar, aprender y disfrutar el patrimonio de la Tierra” de manera que esto permita que el visitante pueda conocer el patrimonio geológico, disfrutarlo y, a su vez, fomentar y estimular en él actitudes favorables para su conservación.

Es por lo mismo que el geoturismo abarca lugares de alto interés escénico y/o paisajístico o que muestran procesos activos espectaculares, que atraen la atención del público y generar un beneficio socioeconómico, basándose en la creación de una infraestructura turística de apoyo para algunos elementos del patrimonio geológico presentes en una región. Sin embargo, en muchos casos el público que acude a estos lugares no es consciente de la participación de la geología en la configuración de esos paisajes o del funcionamiento geológico de los procesos que está observando (Carcavilla, 2014).

Sabiendo que, el fin del patrimonio geológico es promover la conservación de este y más teniendo en cuenta que la mayoría de los lugares de alto valor geológico son recursos no renovables por lo que su destrucción es irreversible, podría creerse contraproducente incluir el turismo en el sector. Y es allí donde se incluye otro concepto: la geoconservación. Este concepto se basa en la estimación del valor, la vulnerabilidad y riesgo de degradación de los Lugares de Interés Geológico (LIGs), y debido a la poca o nula posibilidad de rehabilitación del patrimonio geológico degradado, en geoconservación adquiere especial relevancia prevenir, corregir y minimizar el impacto

(Carcavilla *et al.*, 2007). Es así como en la actualidad, el geoturismo empieza a ser considerado como una gran oportunidad para la divulgación de la geología y para promover el desarrollo de determinadas zonas, especialmente las rurales. Todo sin olvidar el objetivo intrínseco del patrimonio geológico: asegurar su preservación y, en la medida de lo posible, promover su aprovechamiento. Geoturismo y geoconservación deben ir obligatoriamente unidos uno de la mano del otro.

## **2.6. Patrimonio geológico y geoturismo en Chile: legislación actual**

Con su diversidad de formas y ambientes, el patrimonio natural es parte de la vida de las personas y contribuye a la formación de su identidad territorial. A diferencia del patrimonio cultural, el patrimonio natural no es una herencia de nuestros antepasados sino un legado de la naturaleza. Sin embargo, las formas en que nos relacionamos con él constituyen un bien cultural intangible que si ha sido heredado de quienes vivieron antes que nosotros y que está constituido, en muchos casos, por tradiciones que forman parte de la cultura y de la identidad de los pueblos (Consejo de Monumentos Nacionales, 2015). El patrimonio geológico forma parte del patrimonio natural y, en la actualidad, es lógico pensar que el patrimonio geológico necesita protección. Sin embargo, es también evidente que los gobiernos, con sus prioridades económicas y sociales, no son propensos a financiar programas importantes para protección del patrimonio, no en el pasado, no en este momento, y posiblemente tampoco en el futuro. Además, se puede decir que esto es particularmente cierto cuando hablamos del patrimonio geológico o natural (Martini, 2000).

En Chile, el término geopatrimonio, ha sido usado como sinónimo de patrimonio geológico o “patrimonio de la Tierra”. En sí el término se refiere a sitios o localidades donde se encuentran componentes significativos (materiales o del paisaje) para la geología y las ciencias de la Tierra en su conjunto y las acciones involucradas se centran en la gestión patrimonial y turística de tales áreas (Rubilar, 2008). Hoy en día el patrimonio geológico está incluido dentro de la Ley de Monumentos Nacionales (Ley 17.288), que expresa lo siguiente:

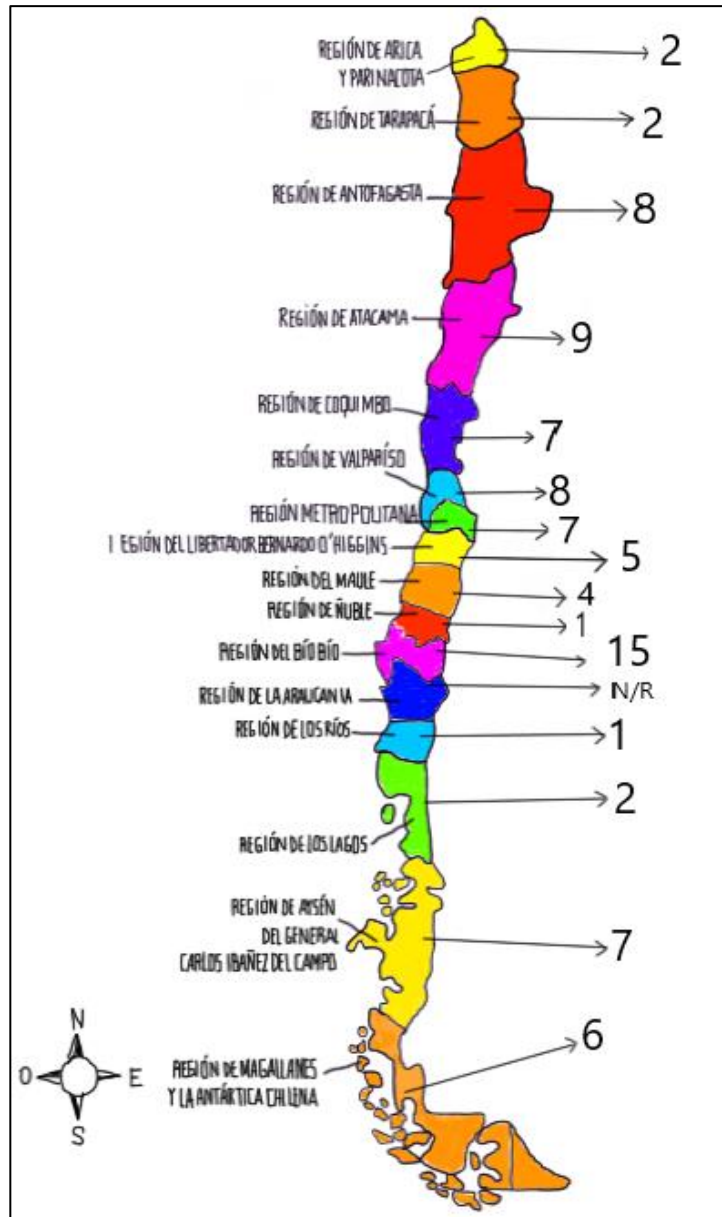
*“Artículo 1.º - Son monumentos nacionales y quedan bajo tuición y protección del Estado, los lugares, ruinas, construcciones u objetos de carácter histórico o artístico [...] piezas u objetos antropo – arqueológicos, paleontológicos o de formación natural, que existan bajo o sobre la superficie de territorio nacional o en la plataforma submarina de sus aguas jurisdiccionales y cuya conservación interesa a la historia, al arte o a la ciencia; [...] Su tuición y protección se ejercerá por medio del Consejo de Monumentos Nacionales, en la forma que determina la presente ley” (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2020).*

Es importante destacar que el patrimonio geológico se encuentra compuesto exclusivamente por elementos geológicos y, aunque la idea pareciera ser obvia, suele causar mucha confusión debido a que el patrimonio geológico tienen un contexto complejo enmarcado con diversas disciplinas e implicaciones científicas, técnicas, culturales, sociales y económicas que posee. Además, en variadas ocasiones hay una estrecha relación con el patrimonio histórico – artístico o cultural, con las tradiciones, creencias y folclore de las localidades e incluso tener una significancia religiosa o convertirse en un signo de identidad local. Por ende, no debe confundirse el patrimonio geológico con sus implicancias culturales (Carcavilla, 2014).

Con respecto al geoturismo, Geremia *et al.*, (2003) define el geoturismo como una actividad recreativa con fines culturales y educativos en donde los principales sujetos o atracciones son la geología y la geomorfología de los paisajes; estos lugares son sujetos de visitas y recorridos como por ejemplo, las excursiones a cavernas, montañismo, alpinismo, observación de la dinámica de playas y todas las actividades relacionadas y que motiven la educación geo-científica, estimulando al mismo tiempo la economía de dichos sitios. En Chile, la geodiversidad contiene elementos de relevancia científica global, que registra momentos destacados de la historia terrestre o que son ejemplos de procesos geológicos singulares, los que conforman el patrimonio geológico (Delgado, 2011).

Las recomendaciones internacionales en relación con el reconocimiento y conservación del geopatrimonio (UNESCO, 1972; UICN, 2008, 2012; ProGEO, 2011), han sido lentas, pero progresivamente atendidas, aunque de manera aún inorgánica. Desde el año 2000 se

han elaborado diversos inventarios y registros de sitios de interés geológico, los cuales han sido impulsados principalmente por la Sociedad Geológica de Chile (SGCh), el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin), el Instituto Antártico Chileno (INACH), y universidades nacionales (Schilling, *et al.*, 2015). El proyecto Global Geosites de la IUGS y de la UNESCO considera la definición de contextos geológicos para cada país, con la finalidad de realizar la identificación de los sitios de interés geológico que sean de mayor relevancia para cada uno de estos contextos (Wimbledon *et al.*, 2000). Pese a la información y múltiples investigaciones en Chile, hasta el momento, no existe un inventario oficial de los sitios de interés geológico. La Sociedad Geológica en Chile han logrado validar 84 sitios de interés geológico a nivel nacional (Sociedad Geológica de Chile, 2022) entregando la información al Servicio de Geología y Minería (Sernageomin) en pos de avanzar en su protección (Droppelmann, 2021) (Figura 2.21; Tabla 2.1).



**Figura 2. 21.** Cantidad de geositos en Chile, según catastro realizado por la Sociedad Geológica de Chile. Para el caso de la región de Los Ríos, no se registran geositos por parte de la Sociedad Geológica de Chile. Actualmente, mediante su página web, siguen recolectando propuestas de geositos para la creación de un inventario nacional.

| <b>Región</b>      | <b>Cantidad de geositios</b> | <b>Nombre</b>  |
|--------------------|------------------------------|--|
| Arica y Parinacota | 2                            | Nevados de Payachata                                 |
|                    |                              | Esquistos de Belén                                   |
| Tarapacá           | 2                            | Duna Cerro Dragón                                    |
|                    |                              | Campo Geotérmico Puchuldiza                          |
| Antofagasta        | 8                            | Gabros de la Playa El Lenguado                       |
|                    |                              | Cuenca Tectónica Cerro Bandurrias                    |
|                    |                              | Cráter de Impacto Monturaqui                         |
|                    |                              | Anticlinal de Caleta Herradura                       |
|                    |                              | Portada de Antofagasta                               |
|                    |                              | Géiseres El Tatio                                    |
|                    |                              | Colada de Azufre del Volcán Lastarria                |
|                    |                              | Cerros de Caracoles                                  |
| Atacama            | 9                            | Tonalita Orbicular de Caldera                        |
|                    |                              | Sismítas de la Desembocadura del Río Copiapó         |
|                    |                              | Plutón Cerros del Vetado                             |
|                    |                              | Duna del Cerro Bramador                              |
|                    |                              | Diques del Morro Copiapó                             |
|                    |                              | Caos de Puquios                                      |
|                    |                              | Huellas de Dinosaurios de la Quebrada Descubridora   |
|                    |                              | Yacimiento Paleontológico Cerro Ballena              |
|                    |                              | Zoológico de Piedra                                  |
| Coquimbo           | 7                            | Esquistos Punta Claditas                             |
|                    |                              | Dunas de Quereo                                      |
|                    |                              | Cantera de Huentelauquén                             |
|                    |                              | Cerro La Gitana                                      |
|                    |                              | Gneises con Granate de Quebrada Maitencillo – Choapa |
|                    |                              | Quebrada Tres Cruces                                 |
|                    |                              | Discordancia en Los Vilos                            |
|                    |                              |  |
| Valparaíso         | 8                            | Dunas de Concón                                      |
|                    |                              | Jurásico de San Antonio de Puchuncaví                |
|                    |                              | Rocas Bajas de Algarrobo                             |
|                    |                              | Rocas Punta Tralca                                   |
|                    |                              | Yacimiento Paleontológico Los Maitenes de Puchuncaví |
|                    |                              | Arco de Rocas de Las Ventanas de Puchuncaví          |
|                    |                              | Acantilados de Playa Larga de Horcón de Puchuncaví   |
|                    |                              | Acantilados Costeros de Quirilluca – Puchuncaví      |

|   |       |  |
|---|-------|--|
| Metropolitana                             | 7     | Glaciar La Paloma  |
|   |       | Contacto Formación Abanico – Plutón San Gabriel          |
|   |       | Remoción en Masa Las Amarillas                           |
|   |       | Estratos Lo Valdes                                       |
|   |       | Centro Eruptivo Volcán Maipo                             |
|   |       | Basaltos Columnares del Cerro Santa Lucia                |
|   |       | Anticlinal Volcado del Valle El Volcán                   |
| Libertador General Bernardo O’Higgins     | 5     | Lavas de Valle de Cachapoal                              |
|   |       | Balanus de Darwin  |
|   |       | Sill de Punta de Lobos                                   |
|   |       | Esquistos Azules de Infiernillo                          |
|   |       | Andalucitas de Tanume                                    |
| Maule                                     | 4     | Meseta del Enladrillado, Reserva Nacional Alto de Lircay |
|   |       | Complejo Volcánico Laguna del Maule                      |
|   |       | Piedra de La Iglesia en Constitución                     |
|   |       | Acantilados de Loanco                                    |
| Ñuble                                     | 1     | Remoción en Masa Laguna El Potro                         |
| Biobío                                    | 15    | Pegmatita Granítica Poñen                                |
|   |       | Grupo Volcánico Antuco – Sierra Velluda                  |
|   |       | Pliegue Recumbente de Playa Purema                       |
|   |       | Mina Chiflón del Diablo                                  |
|   |       | Quebrada Sierra Velluda                                  |
|   |       | Granodiorita Mirador Piedra del Águila                   |
|   |       | Formación Quirina en Bahía Las Tablas                    |
|   |       | Salto Las Chilcas – Salto El Torbellino                  |
|   |       | Esquistos de Caleta Purema                               |
|   |       | Turbiditas de Quidico                                    |
|   |       | Eoceno Sedimentario de Punta Morhuilla                   |
|   |       | Dunas de Pangué  |
|   |       | Centro Eruptivo Los Pangués y Fisura NE                  |
|   |       | Cavernas Benavides                                       |
| Anticlinal Volcado en Curamallín          |       |  |
| Araucanía                                 | ----- | -----  |
| Los Ríos                                  | 1     | Depósitos de Movimientos en Masa del Río San Pedro       |
| Los Lagos                                 | 2     | Fisura Eruptiva en el Volcán Osorno                      |
|   |       | Depósitos Marinos Holocenos de Huinay                    |
| Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo | 7     | Roca Aborregada Cerro Castillo                           |
|   |       | Mirador Cuesta del Diablo                                |
|   |       | Laguna Castillo  |
|   |       | Depósitos de Vaciamiento Abrupto Lago Proglaciar Mapuche |
|   |       | Cicatriz de Remoción en Masa Punta Cola                  |

|                                      |   |   |
|--------------------------------------|---|---|
|                                      |   | Catedral de Mármol                                      |
|                                      |   | Andesita Cerro Apidame                                  |
| Magallanes y de la Antártica Chilena | 6 | Trombolitos de Lago Sarmiento                           |
|                                      |   | Conglomerados de Ambiente Marino – Profundo, Lago Sofia |
|                                      |   | Cianitas en Roncagli                                    |
|                                      |   | Karst de la Isla Madre de Dios                          |
|                                      |   | Estromatolitos Laguna Amarga                            |
|                                      |   | Basaltos Columnares Isla Packsaddle                     |

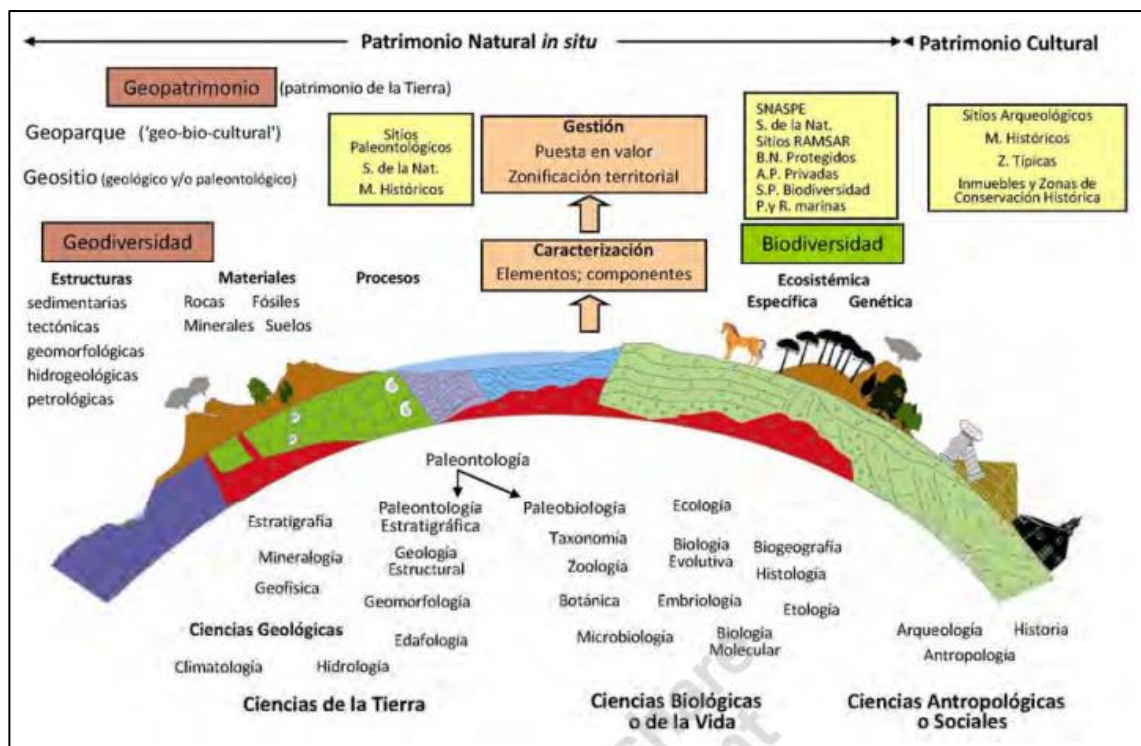
**Tabla 2. 1.** Cantidad y nombres de geositos reconocidos por la Sociedad Geológica de Chile y Sernageomin.

### **2.6.1. Santuarios de la Naturaleza**

En Chile, la Ley N°17.288 que legisla sobre Monumentos Nacionales considera como bienes patrimoniales, y por su sólo ministerio, a los fósiles y los lugares donde se encuentran (Rubilar, 2011) (Figura 2.22). Específicamente la Ley indica que:

*“Son monumentos nacionales y quedan bajo tuición y protección del Estado [...] piezas u objetos antropo – arqueológicos, paleontológicos o de formación natural, que existan bajo o sobre la superficie del territorio nacional o en la plataforma submarina de sus aguas jurisdiccionales y cuya conservación interesa a la historia, al arte o a la ciencia; los santuarios de la naturaleza [...].”<sup>2</sup>*

<sup>2</sup> Ley N° 17.288 de 1970. Legisla sobre Monumentos Nacionales.



**Figura 2. 22.** Categorización del Patrimonio Natural y Cultural en Chile, y disciplinas que fundamentan el reconocimiento y valorización de sus componentes significativos. Se incluyen las principales iniciativas de integración y etapas de análisis vinculadas a la geoconservación, y se destaca el carácter interdisciplinario de la Paleontología (Rubilar, 2008).

Una figura legal que aparece en la Ley de Monumentos Nacionales es la de Santuarios de la Naturaleza. La Ley expresa lo siguiente:

*“Son santuarios de la naturaleza todos aquellos sitios terrestres o marinos que ofrezcan posibilidades especiales para estudios e investigaciones geológicas, paleontológicas, zoológicas, botánicas o de ecología, o que posean formaciones naturales, cuyas conservaciones sea de interés para la ciencia o para el Estado.”<sup>3</sup>*

Esta figura legal, permite la protección de terrenos tanto de propiedad privada como pública, resultando ser un modelo flexible en términos de las características de los lugares a proteger. Es la única figura legal vigente en Chile que promueve la conservación privada

<sup>3</sup> Art. 31°. Ley 17.288.

como pública por lo que, al ser un modelo flexible, permite proteger ambientes terrestres y cuerpos de agua marinos o continentales, independientemente de su extensión o propiedad. El reconocimiento de los Santuarios de la Naturaleza se otorga a través de un Decreto de Declaratoria emitido por el Ministerio de Educación. Actualmente en el país existen 39 Santuarios de la Naturaleza, que suma una superficie total de 490.985,15 hectáreas (Consejo de Monumentos Nacionales, 2015).

### **2.6.2. Rutas patrimoniales**

Creadas por el Ministerio de Bienes Nacionales, su objetivo es otorgar acceso a todas y todos los ciudadanos a los bienes físicos, culturales y paisajísticos que se encuentran en territorio fiscal (Ministerio de Bienes Nacionales, 2022). Estas rutas están pensadas en conservar los terrenos con alto valor natural o histórico – cultural, mediante recorridos transitables a pie, bicicleta, cabalgata y/o vehículo, con el fin de valorizarlos y conservarlos, ampliando y mejorando a su vez las alternativas de uso. Existen tres tipos de rutas patrimoniales:

- Senderos de la naturaleza, que combinan la caminata y/o la cabalgata en terrenos fiscales, cuya extensión promedio bordea los 50 km.
- Rutas turísticas, que combinan el uso de vehículo y caminata. Esta última puede hacerse sólo en algunas horas por caminos públicos, con extensiones que generalmente superan los 150 km.
- Circuitos histórico – culturales, que están insertos en las ciudades y/o sitios con valor patrimonial, cuya extensión es reducida y puede hacerse sólo en algunas horas.

Las rutas patrimoniales son una ventana abierta al visitante que da cuenta del patrimonio diverso, singular y endémico, un representante del Chile desconocido, siendo un desafío gubernamental de que estos bienes sean reconocidos por las futuras generaciones, desde una mirada de conservación y respeto por el patrimonio del país.

## **CAPÍTULO 3: ZONA DE ESTUDIO**

### **3.1. Ubicación y accesos**

El área de estudio del presente trabajo se ubica en el valle de Copiapó, en el sector de Amolanas a 91.1 km hacia el sureste de la ciudad de Copiapó.

Geográficamente el área se encuentra entre las coordenadas norte: 6.905.300 – 6.908.900; este: 396.500 – 399.300 a una altura máxima de 1.945 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Para acceder a ella se puede ingresar por dos rutas diferentes, que se proponen a continuación en base a la accesibilidad del sitio y la geodiversidad del recorrido:

- 1) La ruta patrimonial N°1 corresponde a aquella en la cual saliendo de Tierra Amarilla, se toma la ruta C-33 hasta llegar al desvío hacia COEMIN S.A. Desde allí, continuar por la ruta C-350 hasta tomar la ruta C-451. Desde allí se debe manejar por la ruta C-431 que se encuentra a medio pavimentar, por lo mismo es recomendable acceder en vehículos de doble tracción. Es necesario realizar un desvío hacia un camino particular para ingresar (siempre solicitando los permisos correspondientes), llegando a la falda del cerro luego de recorrer 49 km. El camino se debe continuar caminando cerro arriba unos 5 km hasta llegar a la cima del cerro en donde se pueden encontrar algunos troncos petrificados. Es posible bajar por la quebrada y acceder a los otros puntos de interés como el tranque Lautaro y el acueducto Amolanas (Figura 3.1 y 3.2), finalizando con la visita al sector de Potrero Seco.
- 2) La ruta patrimonial N°2 corresponde a aquella en la cual, saliendo de Tierra Amarilla, se toma la ruta C-33 hasta llegar al desvío hacia COEMIN S.A. Desde allí, continuar por la ruta C-350 por 23 km hasta llegar al sector de Potrero Seco siendo la primera parada de la ruta. Luego se continúa manejando por 40 km hasta llegar a Amolanas siendo esa la segunda parada. Al estar las tres paradas restantes a menos de 1 km es posible elegir cuál visitar primero (Figura 3.1 y 3.3).

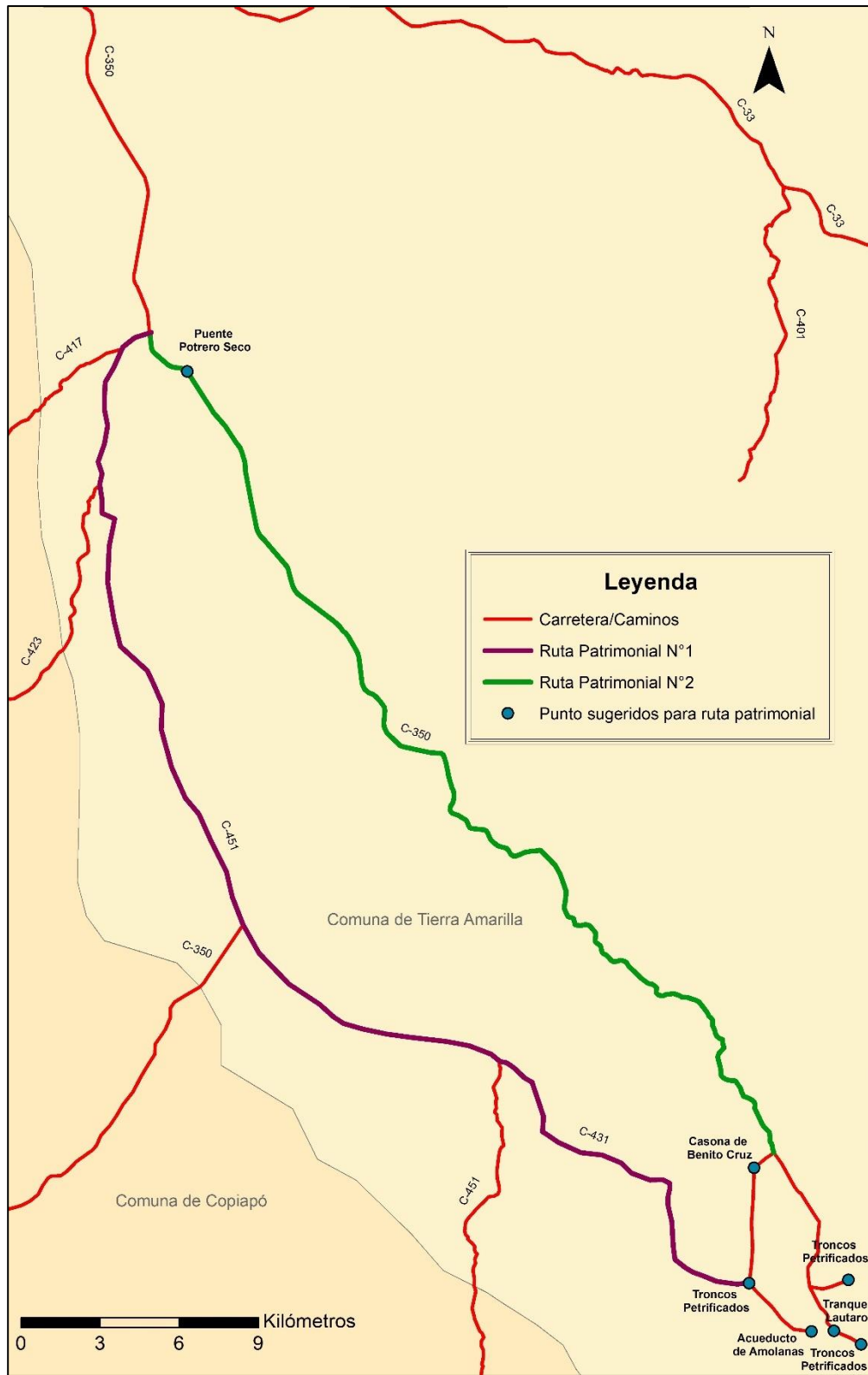


Figura 3. 1. Mapa de los accesos a los lugares de interés geológico e histórico-cultural.

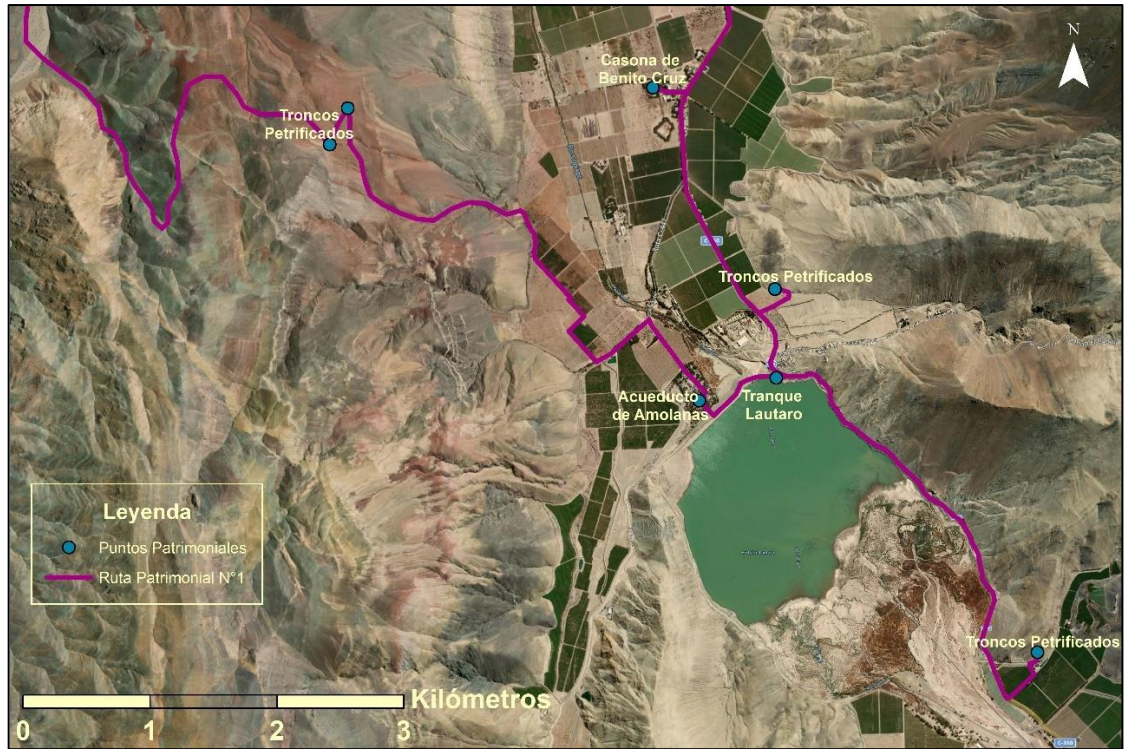


Figura 3. 2. Imagen satelital con la ruta patrimonial N°1 sugerida.



Figura 3. 3. Imagen satelital con la ruta patrimonial N°2 sugerida.

## **3.2. Situación geográfica**

### **3.2.1. Geomorfología**

La evolución geomorfológica de la provincia de Copiapó consta de cinco etapas principales que se dieron durante el Cenozoico. Esta evolución geomorfológica fue realizada por medio de un análisis de las formas de relieve y los depósitos involucrados, considerando además la aridez del clima que ha permitido la conservación de los rasgos originales del paisaje (Naranjo y Paskoff, 1980).

Las etapas de la evolución geomorfológica de la provincia de Copiapó son:

1) Elaboración de una topografía madura:

Se conserva a alturas variables como remanentes de planicies colgadas sobre los valles. Corresponde al término acuñado por Mortimer (1973) “*Cumbre Surface*”, reconociéndose a media distancia entre las cordilleras de la Costa y de los Andes (Figura 3.4). Ocasionalmente, es posible reconstruir un plano topográfico de alturas constantes a nivel de las crestas; sin embargo, la observación de extensiones mayores que dicho relieve no había alcanzado una madurez total, reconociéndose algunos desniveles (Naranjo y Paskoff, 1980). Los antecedentes disponibles no permiten dilucidar la complejidad de la evolución de dicha morfología desarrollada, en parte, sobre las formaciones Cerrillos y Hornitos, asignadas al Cretácico Superior-Terciario inferior (Zentilli, 1974).

2) Solevantamiento de los Andes: fase de erosión vertical:

El alzamiento de los grandes volúmenes montañosos que constituyen la cordillera andina está ligado a una tectónica mayor, compresiva, registrada principalmente en fallas inversas de fuerte rechazo y en la deformación de unidades de roca (Figura 3.4). Algunas de estas fallas inversas han sido selladas por manifestaciones volcánicas del Oligo-Mioceno (Cisternas y Oviedo, 1979), en otros sectores se les reconoce afectando a la Formación Hornitos (Naranjo y Sepúlveda, 1980). Este alzamiento va desarrollando un nuevo sistema de pendientes al cual se adapta la red hidrográfica que altera la topografía antigua.

Predomina la incisión vertical profunda, a consecuencia de la cual se forman los grandes valles de dirección este-oeste.

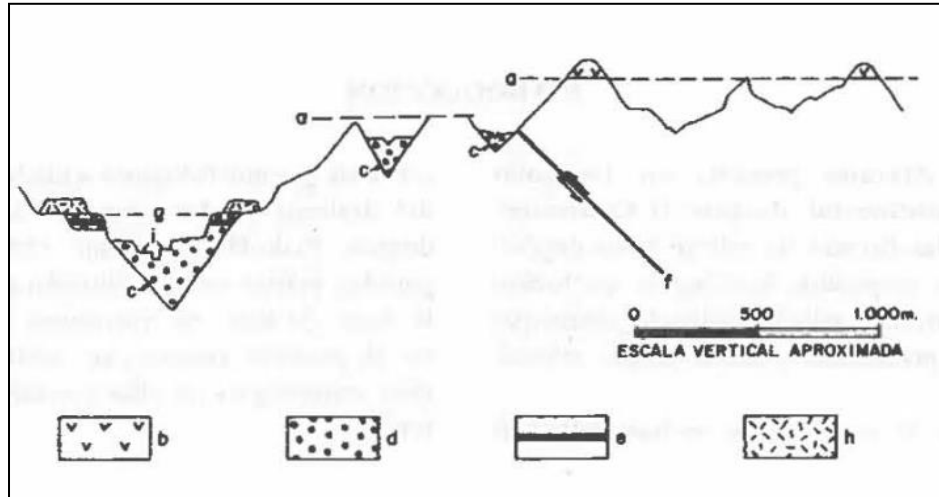
3) Relleno general:

En esta etapa se produce un cambio radical en el comportamiento de los ríos. La incisión se termina y los valles labrados anteriormente son colmatados, en forma progresiva, por potentes rellenos detríticos, tanto en la proximidad de la costa como en la alta cordillera correspondientes a las Gravas de Atacama (Sillitoe *et al.*, 1968). Éstas se restringen principalmente a la Cordillera de la Costa de los valles de Copiapó, Huasco y Elqui (Paskoff, 1970). En la región de Atacama, las gravas presentan una gradación vertical que va desde facies fluviales sedimentarias en la base, a facies sedimentarias en el techo. Lo anterior es indicativo de la progresiva desecación climática del Mioceno Medio, que origina la actual condición hiperárida del Desierto de Atacama (Aguilar *et al.*, 2013). Considerando la extensa distribución que alcanzó el relleno, reconociéndose depósitos inclusive en sectores elevados de la cadena andina, también es posible que haya existido una "aridificación" del clima que indujo una disminución progresiva de la actividad de las corrientes de agua superficiales (Figura. 3.4). De este modo, los aportes coluviales no evacuados fosilizaron los faldeos de los cerros, acumulándose los materiales detríticos en el fondo de los valles (Naranjo y Paskoff, 1980).

4) Proceso de pedimentación:

Evidencias de terreno indican la ausencia de la parte superior del relleno continental (Gravas de Atacama), ya que aún subsisten testigos que permiten pensar que la acumulación ha sido truncada en la mayoría de sus lugares de distribución. De este modo, la superficie actual es el resultado de una acción erosiva lateral que, probablemente, está ligada a divagaciones de los cursos de agua en condiciones climáticas semi-áridas. La pedimentación ha afectado también a los flancos de los valles, principalmente donde las rocas se presentaban más fracturadas y con alteración hidrotermal o meteórica (Figura. 3.2). De

acuerdo con los antecedentes aportados por Clark *et al.* (1967) y Naranjo y Sepúlveda (1980), en las quebradas San Andrés y Paipote se distinguen ignimbritas de edad Mioceno Superior ( $9,5\pm 0,5$  y  $9,0\pm 0,3$  Ma), que "sellan" el pediplano desarrollado en los rellenos continentales.



**Figura 3. 4.** Sección esquemática, que muestra las distintas etapas de la evolución geomorfológica cenozoica, de la parte sur del desierto de Atacama (modificado en Paskoff y Naranjo, 1979). a) testigos de una superficie madura antigua; b) rocas volcánicas del Eoceno Inferior: Formación La Peineta (Sillitoe *et al.*, 1968); c) valles labrados durante la etapa de erosión vertical, a consecuencia del solevamiento de los Andes; d) relleno detrítico polimíctico (Gravas de Atacama); e) flujos ignimbríticos del Mioceno Medio a Superior (Clark *et al.*, 1967), intercalados en el relleno continental; f) falla inversa; g) remanentes del pedimento; h) flujos ignimbríticos del Mioceno Superior (Clark *et al.*, 1967), sobrepuestos al relleno continental; i) terrazas fluviales.

##### 5) Etapa de reincisión:

Durante el Cuaternario se produce un retorno a la acción de incisión vertical, desarrollada principalmente en el relleno de los valles y depresiones formados en la Etapa 3 (Figura 3.2). Este nuevo comportamiento de los cursos de agua podría explicarse por un descenso eustático del Océano Pacífico (Paskoff, 1977) y también por causas tectónicas, que corresponderían a una recurrencia muy moderada del solevamiento andino (Mortimer, 1973), caracterizado más bien por fallas de extensión restringida y escaso rechazo, que por deformaciones desarrolladas a gran escala (Cooke y Mortimer, 1971).

La reincisión evolucionó en forma discontinua durante el Cuaternario, como lo testifican las terrazas aluviales que evidencian períodos de regresión desarrollados como consecuencia, por una parte, de la alternancia de etapas glaciales e interglaciales y, por otra, por ascensos y descensos glacioeustáticos de los océanos.

En la actualidad, la evolución geomorfológica del desierto de Atacama aparentemente es lenta; sólo se reconocen algunos cambios aislados en la topografía heredada de las etapas descritas. Nuevos antecedentes añadidos por el trabajo de Aguilar *et al.*, (2013), postulan que al menos dos factores tectónicos pudieron haber contribuido al alzamiento y a la configuración del paisaje en la zona, siendo éstos el aumento de la convergencia de las placas a partir del Oligoceno y la migración desde el norte hacia el sur de la subducción de la Dorsal de Juan Fernández. No obstante, también postulan que, en conjunto con los factores tectónicos, el factor climático también jugó un rol importante. La región de Atacama es una zona de transición climática, caracterizada por un clima árido hacia el norte que cambia uno semiárido hacia el sur. Al norte de los 27,5° S las precipitaciones ocurren principalmente durante el verano y son asociadas al Monzón Tropical mientras que, al sur de esa latitud, ocurren principalmente durante el invierno y están asociadas a la acción de los vientos del oeste (Garreaud *et al.*, 2008). Por lo tanto, la influencia de este último se acentúa hacia el sur. Por ende, el factor climático modula la respuesta erosiva del paisaje (Aguilar *et al.*, 2013).

### **3.2.2. Clima**

Con respecto al clima, la región de Atacama se encuentra ubicada entre la zona hiper-árida de la región de Antofagasta y la zona mediterránea semiárida de la región de Coquimbo (Juliá *et al.*, 2008). Además, la región se sitúa longitudinalmente en la zona de los anticiclones subtropicales y por su ubicación es donde confluyen los tres rasgos climáticos principales que caracterizan el clima del país (Strahler y Strahler, 1986): por el norte y limitado por la alta cordillera el cinturón de vientos Alisios o del este que provienen de la vertiente amazónica, que en la zona genera precipitaciones estivales de manera decreciente de norte a sur mientras que, por el sur, se manifiesta el cinturón de vientos de

oeste de latitudes templadas, que es por donde viajan los sistemas frontales y bajas migratorias provenientes del suroeste el cual es modulado por la presencia del anticiclón subtropical del Pacífico Sur (Miller, 1976).

En el desierto de Atacama hay una gran amplitud térmica en los niveles cercanos a la superficie, con un fuerte contraste de temperaturas entre las fases extremas del ciclo diario (día – noche). De manera adicional en las zonas de valle aparece la clásica brisa de valle/montaña. El relieve juega un papel de importancia, primero porque constituye una barrera a contra las influencias oceánicas, segundo por la disminución que impone a la temperatura a medida que aumenta la altitud y tercero, por las sombras que proyectan sobre los estrechos valles las serranías transversales (que culminan sobre los 2.500 m.s.n.m) y los cordones longitudinales del interior (con cimas de 4.000 m.s.n.m), afectando el ritmo diario y anual de temperatura (Antonioletti *et al.*, 1972).

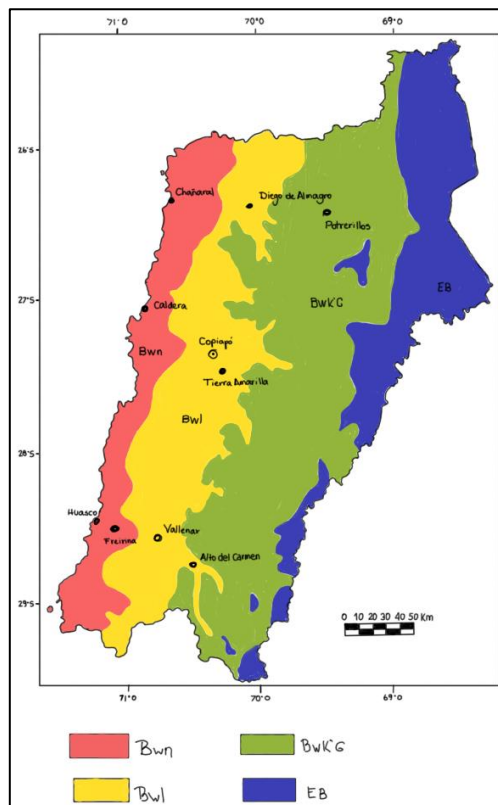
La Dirección Meteorológica de Chile ha realizado una clasificación de los diferentes tipos de clima en la región de Atacama, basada en la clasificación de Köeppen (1948). Según esta clasificación el clima tipo Bw (correspondiente a un clima desértico) predomina ocupando un 81% de la superficie total de la región; mientras que, la superficie restante, corresponde a un clima tipo tundra de alta montaña catalogado como Eb por Köeppen (Figura 3.5) Ambos climas se caracterizan en tener precipitaciones anuales inferiores a la tasa de evaporación del área. (Henríquez, 2013).

| Clima  | Km <sup>2</sup> | %          |
|--|-----------------|------------|
| Desierto costero con nubosidad abundante (Bwn) | 10.096          | 13,4       |
| Clima de tundra de alta montaña (EB)           | 14.488          | 19,2       |
| Clima desértico transicional (Bwi)             | 19.748          | 26,2       |
| Desierto frio de montaña (Bwk`G)               | 31.176          | 41,3       |
| <b>Total</b>                                   | <b>75.508</b>   | <b>100</b> |

Figura 3. 5. Climas en la región de Atacama (Henríquez, 2013).

La clasificación, a su vez, se subdivide por particularidades indicando finalmente que en la región hay cuatro tipos de climas presentes (como se observa en la Figura. 3.3): Desierto Costero con Nubosidad Abundante (Bwn), Clima Desértico Transicional (Bwl), Desierto Frío de Montaña (Bwk'G) y Clima de Tundra de Alta Montaña (EB).

En el valle de Copiapó, en las cercanías del Tranque Lautaro se registra un Clima Desierto Frío de Montaña (Figura. 3.6), clima característico que se da por sobre los 1.200 a 1.500 m.s.n.m que se caracteriza por un clima de desierto frío donde el ritmo de las temperaturas es regulado por la altitud. Normalmente el cielo se encuentra despejado: la estadística meteorológica promedia sólo 16 días cubierto todo el año y 264 días despejados (Antonioletti *et al.*, 1972), lo que unido a la transparencia del aire crea condiciones para que se produzca un sensible contraste entre las temperaturas del día, sometiendo a fuerte insolación, y de la noche, en que nada se interpone para atenuar la pérdida de calor por radiación (Juliá *et al.*, 2008).



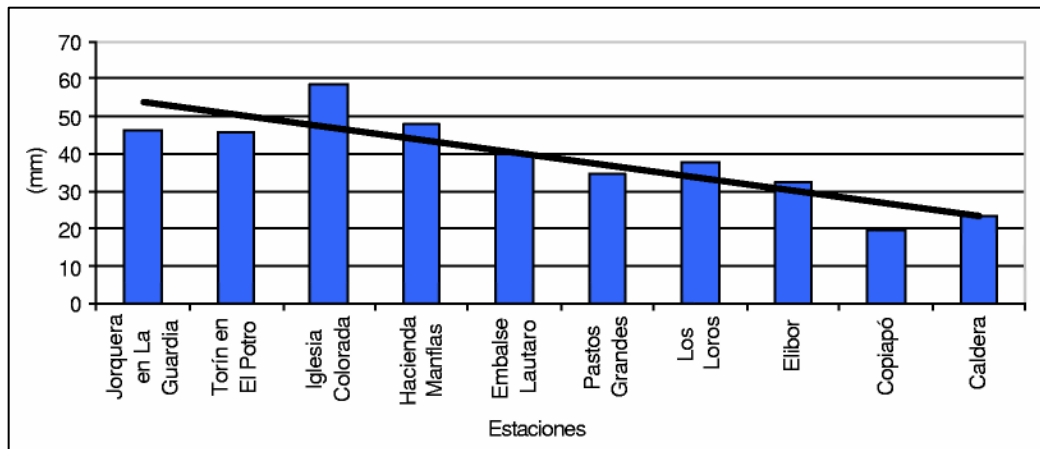
**Figura 3. 6.** Tipos climáticos existentes en la región de Atacama, según la clasificación de Köppen (1948). En la imagen, el tipo climático de la zona del tranque Lautaro (en coloración verde) corresponde a la sigla Bwk'G: Clima Desierto Frío de Montaña (modificado de Juliá *et al.*, 2008).

### 3.2.3. Hidrología e Hidrogeología

El origen de las aguas del valle del río Copiapó, se relaciona con los deshielos de los glaciares Los Heraldos, Marancel y Cerro del Potro en la alta cordillera; cauces de los ríos tributarios, cauces efímeros generados por lluvias esporádicas y aguas subterráneas fuertemente mineralizadas en acuíferos rocosos recargados por precipitaciones pasadas, algunas con extensa circulación posiblemente a partir de Altiplano o de grandes profundidades. Estimaciones basadas en las velocidades de flujo, señalan que los tiempos de residencia máximos que alcanzan la mayor parte de las aguas subterráneas radicadas en acuíferos ubicados aguas debajo de Paipote son del orden de 100 – 200 años (Aguirre *et al.*, 1999).

#### 3.2.3.1. Hidrología

La cuenca del río Copiapó tiene 8 estaciones que entregan información hidrológica. Las precipitaciones en el valle de Copiapó aumentan de mar a cordillera, aunque el efecto orográfico no incide en cambios drásticos a lo largo del valle. En la parte media y baja de la cuenca hay promedios anuales más bajos (Estación Copiapó, 19,6 mm) y un período seco más prolongado (generalmente ocho meses), mientras que en la parte más alta llueve más (Estación Jorquera, 46,2 mm) y la ausencia de precipitaciones dura sólo entre cinco y seis meses (Figura 3.7 y Tabla 3.1) (Golden Associates, 2006).

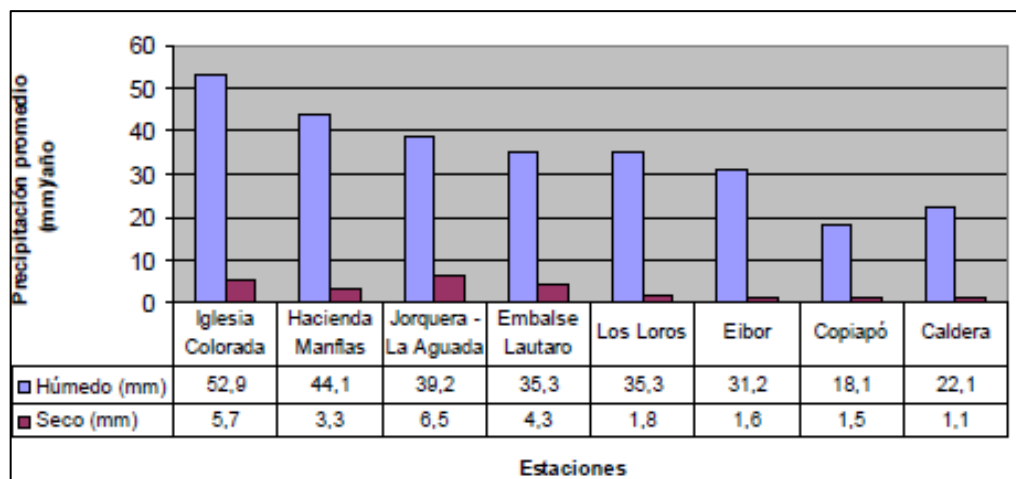


**Figura 3. 7.** Comparación de promedios anuales y tendencia general de las precipitaciones (Golden Associates, 2006).

| Estación               | Años de Observación | Promedio anual (mm) |
|------------------------|---------------------|---------------------|
| Jorquera en La Guardia | 35                  | 46,2                |
| Torín en el Potro      | 3                   | 46                  |
| Iglesia Colorada       | 13                  | 58,3                |
| Hacienda Manflas       | 35                  | 47,7                |
| Embalse Lautaro        | 44                  | 39,7                |
| Los Loros en Retén     | 34                  | 37,7                |
| Elisa de Bordos        | 23                  | 32,6                |
| Pasto Grande           | 35                  | 34,6                |
| Copiapó                | 30                  | 19,6                |
| Caldera                | 9                   | 23,1                |

**Tabla 3. 1.** Promedio de precipitaciones anuales (modificado de Golden Associates, 2006).

Es posible distinguir en la cuenca del río Copiapó una estación “seca” con casi total ausencia de precipitaciones que dura desde octubre a marzo y otra estación “húmeda” con precipitaciones que ocurren desde abril a septiembre. Lo anterior es observable claramente en los promedios anuales que entregan las estaciones (Figura 3.8).



**Figura 3. 8.** Comparación entre estaciones de precipitaciones durante la estación seca (octubre - marzo) y la húmeda (abril - septiembre) (Golden Associates, 2006).

### 3.2.3.2. Hidrogeología

Los recursos hídricos subterráneos en la cuenca del río Copiapó, están dentro de depósitos sedimentarios (gravas y arenas aluviales cuaternarias), que han rellenado un basamento rocoso impermeable. Estos depósitos de gravas y arenas forman un acuífero confinado con un espesor saturado medio de 150 metros mientras que, en el valle, pueden llegar a alcanzar una anchura entre los 250 y 1000 metros (Golden Associates, 2006).

Además, el agua superficial y subterránea tiene flujos interconectados entre sí. Es así como el río Copiapó está conectado con su acuífero, proporcionando una fuente de recarga y, en ciertos lugares (como en los estrechamientos de los valles), el río recibe aportes desde el acuífero (flujo base). La recarga del acuífero ocurre producto de la infiltración de las aguas que fluyen por el río Copiapó y por infiltración desde los sistemas de regadíos del valle. El agua subterránea en el valle rellena los depósitos y se encuentra a profundidades entre los 4 y 25 metros por debajo de la superficie. La distancia más grande se encuentra localizada en sectores aguas arriba de Copiapó, sin embargo, aguas debajo de la ciudad, los niveles freáticos se encuentran más cercanos a la superficie (Golden Associates, 2006).

### 3.2.4. Flora y Fauna

La flora presente en el área de estudio corresponde a una porción de la formación vegetacional desierto florido de las serranías, específicamente al Matorral de *Bulnesia chilensis*. Esta formación vegetacional se caracteriza por la dominancia de una especie arbustiva áfila (con la mayor parte de su ciclo de vida sin hojas), con ramazón verde – grisáceo. La flora asociada a esta formación está constituida por especies características del desierto florido de las serranías con algunos aportes de mayor altitud además de especies propias de ambientes azonales como los fondos de valles, en donde producto de una mejor condición edáfica y aportes hídricos más o menos permite el establecimiento y desarrollo de alguna de ellas. Especies de tipo arbusto que destacan son la *Atriplex desertícola*, *Adesmia hystrix* y *Ephedra breana*, mientras que, las especies de tipo árbol

que destacan son el *Prosopis chilensis* (Algarrobo), *Geoffroea decorticans* (Chañar) y el *Schinus molle* (Pimiento) (Pérez, *et al.*, 2009).

Por otro lado, la fauna generalmente se encuentra asociada a la flora presente en el área pues es utilizada como fuente de alimento o territorio de caza. En la fauna presente se reconocen mamíferos, aves y reptiles.

Dentro de los mamíferos se destacan la vizcacha, la chinchilla y el ratón andino como roedores; entre lo herbívoros destacan la llama, la vicuña, la alpaca y el guanaco; mientras que, si de los carnívoros se trata se destacan el puma, el zorro culpeo, el gato andino y el zorrillo de la puna. En el caso de las aves, en la región de Atacama existen 208 especies, siendo 3 de ellas endémicas. En el área de estudio se ha identificado la presencia del aguilucho, el jote, el chincol, el pequén y el tucúquere (búho magallánico). Con respecto a los reptiles ha sido observable la presencia de la lagartija de mancha, la lagartija de Eleodoro, culebra de cola larga y culebra de cola corta (CIREN, 2013).

### **3.2.5. Actividad económica**

Respecto a la actividad económica de la comuna de Tierra Amarilla, los registros extraídos desde CIREN (2021) indican que está principalmente orientada a la minería y agricultura. En la comuna se ubica el 40% de los proyectos mineros de la región. La pequeña minería, asienta sus explotaciones de minerales de oro, plata y cobre, con yacimientos de la envergadura de la Compañía Minera Candelaria y Punta del Cobre. Por su parte, en la comuna se concentra el 80% de exportación de uva.

El tamaño de mercado en la comuna de Tierra Amarilla, durante el año 2018, fue de US\$ 115 millones y, según el Servicio de Impuestos Internos, los principales rubros fueron explotación de minas y canteras, agricultura, ganadería, caza y silvicultura y construcción. En términos de subrubros económicos (Figura 3.9), destacan explotación de minas y canteras, cultivos, cultivo de productos de mercado, horticultura y extracción de minerales metalíferos, representando un 40%, 16.9% y 16.7% del tamaño total del mercado (CIREN, 2021).

| Subrubro  | %    |
|---|------|
| Explotación de minas o canteras                           | 40   |
| Cultivos, cultivo de productos de mercado, horticultura   | 16,9 |
| Extracción de minerales metalíferos                       | 16,7 |
| Construcción  | 15,8 |
| Otros tipos de transporte por vía terrestre               | 1,6  |
| Actividades inmobiliarias con bienes propios o arrendados | 1,5  |
| Otros   | 7,5  |

**Figura 3. 9.** Tamaño del mercado según los principales subrubros económicos año 2018 (CIREN, 2021).

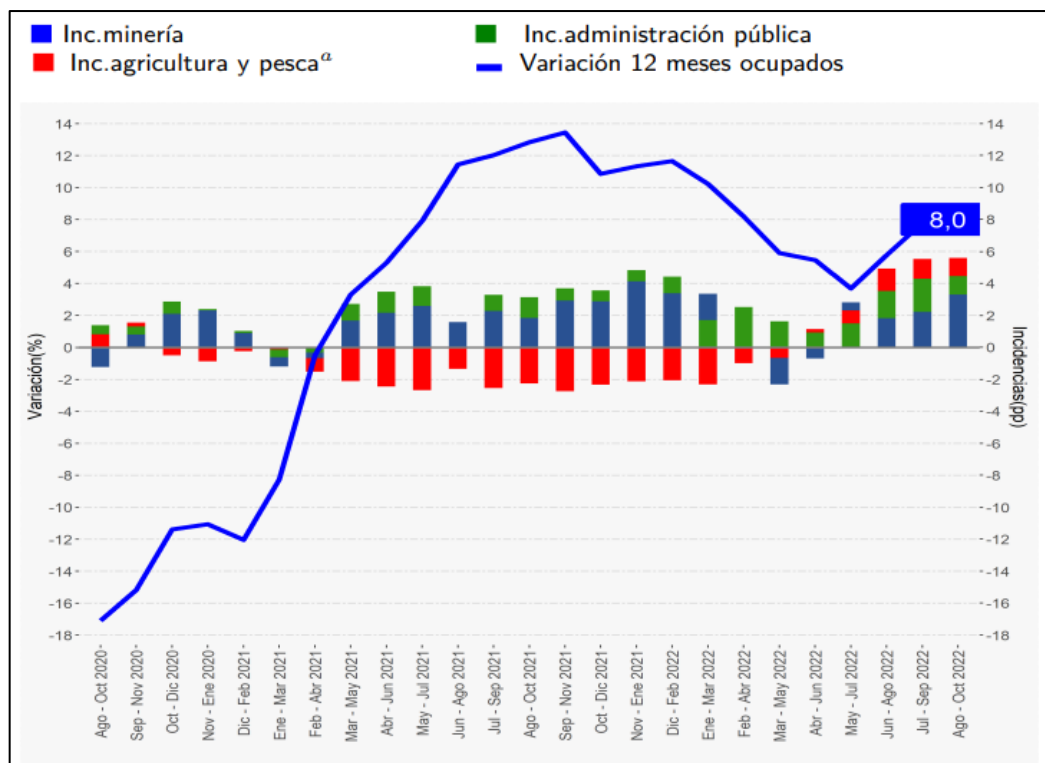
Dentro de los subrubros en el apartado de “otros” figura la actividad turística. La región de Atacama se encuentra en el puesto número 12 (Figura 3.10) de las regiones de Chile en los EAT's (Establecimientos de alojamiento turístico), teniendo una competitividad baja respecto a otras regiones (Gobierno regional de Atacama, 2015).

| TOTAL                               | LLEGADAS<br>6.603,182 | RANKING   |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------|
| Región Metropolitana de Santiago    | 1,922,906             | 1         |
| Región de Valparaíso                | 775,011               | 2         |
| Región de Antofagasta               | 657,286               | 3         |
| Región del Biobío                   | 557,330               | 4         |
| Región de Los Lagos                 | 534,494               | 5         |
| Región de la Araucanía              | 384,222               | 6         |
| Región de Coquimbo                  | 315,549               | 7         |
| Región de Tarapacá                  | 288,592               | 8         |
| Región de Magallanes y La Antártica | 260,213               | 9         |
| Región del Maule                    | 204,903               | 10        |
| Región de Los Ríos                  | 200,653               | 11        |
| <b>Región de Atacama</b>            | <b>155,652</b>        | <b>12</b> |
| Región de O'Higgins                 | 145,775               | 13        |
| Región de Arica y Parinacota        | 143,702               | 14        |
| Región de Aysén                     | 56,894                | 15        |

**Figura 3. 10.** Estadísticas de establecimientos de alojamiento turístico en Atacama (Gobierno regional de Atacama, 2015).

Si bien, se tiene conciencia que la llegada de más turistas no necesariamente significa una mayor competitividad, si ayuda a tener menores tasas de desocupación, a partir de lo cual se genera una serie de posibilidades para el desarrollo: mayor cantidad de empleo, incorporación de más mujeres al mercado laboral, etc. La oferta turística en un sistema turístico lo componen los atractivos – naturales y culturales –, planta – alojamiento, alimentación, servicios, actividades – y la infraestructura de apoyo – caminos, telecomunicaciones, servicios financieros, otros. Según catastros oficiales de SERNATUR, Atacama posee 210 atractivos, de los cuales la mayoría se cataloga como “sitios naturales”. En cuanto a la jerarquía de estos, 19 de ellos atraen a mercados internacionales, lo que es una alta proporción respecto a otras regiones, y la mayor cantidad se ubica en la provincia de Copiapó (Gobierno regional de Atacama, 2015).

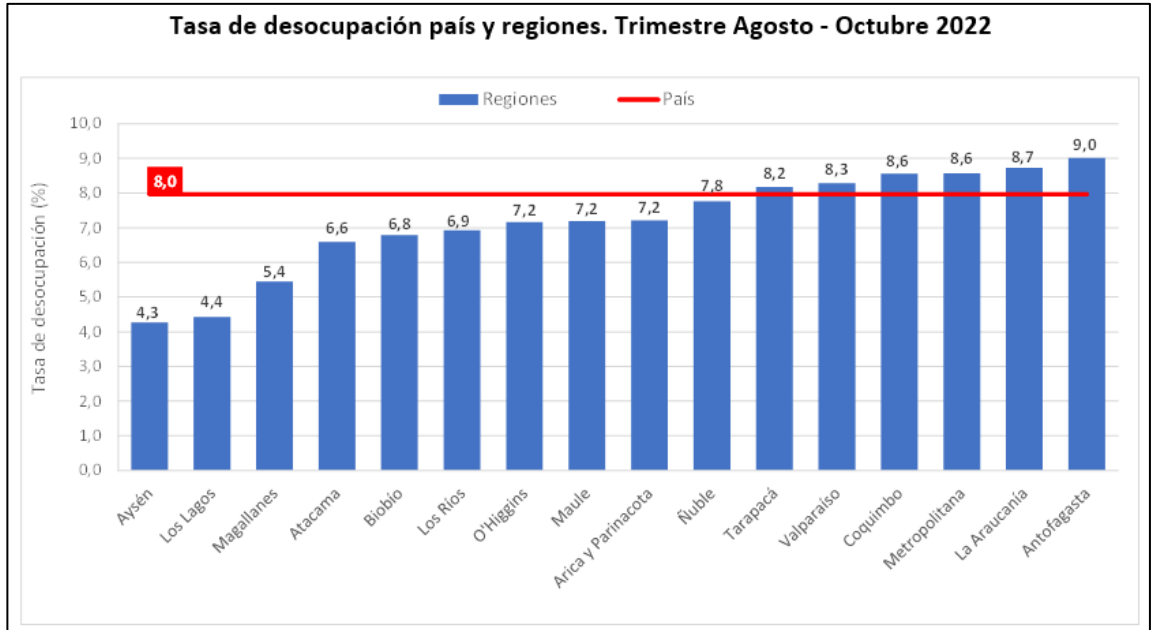
Con respecto a la planta turística, y específicamente alojamiento, Atacama cuenta con 183 establecimientos, con una capacidad total de camas de 5.862. De estos, seis se encuentran certificados con la Q de calidad y solo uno posee el sello S, lo que implica una baja capacidad de incorporación a la competitividad de la industria. La cantidad de servicios de alimentación registrados son 34, lo que no significa que sea el total regional, ya que el registro es voluntario. Si de las agencias de viajes y tour operadores se trata, el portal muestra un total de 18 negocios, con un total de 22 guías de turismo (Gobierno regional de Atacama, 2015).



**Figura 3. 11.** Variación a 12 meses de ocupados e incidencias según rama de actividad económica, total región (INE, 2022). Para el análisis el INE consideró aquellas actividades que se realizan históricamente en la región y han concentrado la mayor participación de ocupados: agricultura y pesca, minería, industria manufacturera, construcción, comercio, administración pública y enseñanza.

Durante los últimos doce meses (octubre de 2021 a octubre de 2022), la ocupación de las personas aumentó un 8% es decir, un total de 10.887 personas (Figura 3.11). Según el sector económico, el alza de los ocupados fue influida, principalmente, por minería (18%), administración pública (14.2%) y agricultura y pesca (27%) (INE, 2022). Las categorías ocupacionales que más incidieron en el crecimiento de los ocupados fueron los asalariados formales (8.9%) trabajadores por cuenta propia (7.9%) y la categoría de asalariados informales (3.5%).

Por otro lado, la tasa de desocupación del trimestre móvil agosto – octubre de 2022 fue de un 6.6% estando la región de Atacama por debajo de la media nacional (Figura 3.12). Aunque disminuyó un 1.5 puntos porcentuales aun así se considera elevada.



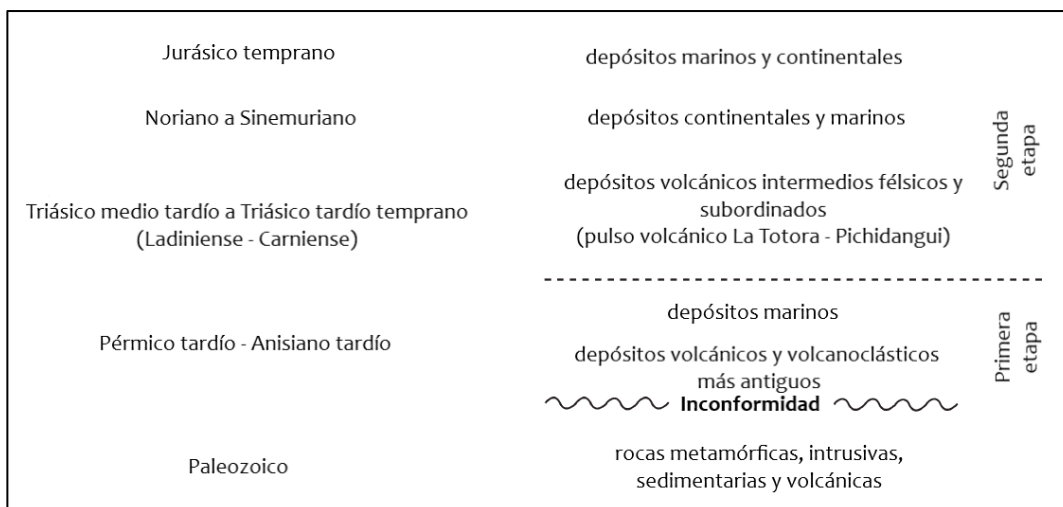
**Figura 3. 12.** Gráfico de la tasa de desocupación del país y regiones, durante el trimestre agosto - octubre de 2022 (INE, 2022).

## **CAPÍTULO 4: MARCO GEOLÓGICO**

### **4.1. Geología regional**

El ciclo Pre – Andino se desarrolló después de la fase final del ensamblaje del megacontinente de Gondwana y antes del desarrollo del arco magmático del Jurásico Temprano. Fue, durante este ciclo, que la subducción se vio interrumpida a lo largo del margen continental o, al menos, disminuyó considerablemente. Este período estacionario se atribuye a la consolidación final del megacontinente, que produjo nuevas condiciones tectónicas a lo largo del margen continental occidental de Gondwana. Fueron estas condiciones las que favorecieron la acumulación de calor en el manto superior, la fusión de la corteza inferior y la producción de enormes volúmenes de magmas a lo largo de la costa del norte de Chile, en los altos Andes chilenos y en el lado argentino de los Andes. Como consecuencia de esto la corteza se deformó, debido a la extensión de la parte superior de ésta para posteriormente quebrarse, llevando al desarrollo de cuencas extensionales (Charrier *et al.*, 2007).

Por lo tanto, las características distintivas del ciclo Pre – Andino son el desarrollo abundante de magmas silíceos y una paleogeografía dominada por cuencas extensionales con orientación NNW – SSE (Formación La Ternera) (Charrier *et al.*, 2007). En la Figura 4.1. se puede observar una representación esquemática del Ciclo Pre – Andino.



**Figura 4. 1.** Representación esquemática de las dos etapas de evolución de las cuencas triásicas deposicionales en Chile durante el Ciclo Pre – Andino. Primera etapa (cuencas San Félix y El Quereo – Los Molles): fase de rift, en donde se desarrollaron las unidades paleozoicas, que resultan en un ciclo sedimentario de transgresión – regresión (inicialmente asociado con el vulcanismo local de edad Pérmico), seguido por depósitos de subsidencia termal. En la segunda etapa (¿cuencas El Profeta – La Ternera, San Félix?, La Ramada, El Quereo – Los Molles y Bio-Bío – Temuco): fase de rift, asociada inicialmente a un intenso vulcanismo félsico (pulso volcánico La Titora – Pichidangui), que resulta en depósitos continentales y marinos, seguido por una fase de subsidencia durando hasta el Jurásico Temprano con un desarrollo predominante de facies marinas (modificado de Charrier et al., 2007).

Luego del ciclo Pre – Andino el período de reposo de las placas tectónicas cesó, lo que dio comienzo al Ciclo Andino donde la subducción retomó su actividad. Este ciclo refleja la evolución del margen continental activo de Gondwana occidental y América del Sur durante la ruptura y deriva continental del supercontinente y fue precisamente esa actividad, la que creó el arco magmático conocido hasta el día de hoy. Una característica importante es el desarrollo de zonas paralelas a las trincheras desarrolladas a lo largo de los sucesivos ejes magmáticos los que dieron origen a sistemas de fallas como la de Atacama, Domeyko y Liquiñe - Ofqui, las cuales se pueden rastrear durante varios cientos de kilómetros (Charrier *et al.*, 2007). Este ciclo se subdivide en tres estadios:

- Primer estadio (Jurásico Temprano Superior – Cretácico Temprano):  
Se forma el arco volcanomagmático en la actual cordillera de la Costa, donde persisten condiciones extensionales que se asocian a la placa oceánica fría siendo además posible observar una continuidad estratigráfica con secuencias pertenecientes al Ciclo Pre – Andino. Este primer estadio se puede a la vez subdividir en dos etapas siendo la subetapa I caracterizada por una intensa actividad en el arco y el desarrollo de un primer ciclo marino regresivo – transgresivo en la cuenca de trasarco; y la subetapa II caracterizada por la disminución de la actividad del arco en ciertas regiones y un segundo ciclo marino transgresivo – regresivo en la cuenca de trasarco. En el área de estudio se observa la existencia de la subetapa I con afloramientos en orientación NS a lo largo de la Cordillera de Domeyko y que son controlados por cabalgamiento con vergencia al este, depositándose sobre las secuencias de edades triásicas. Se encuentra representado por formaciones marinas, como por ejemplo la Formación Lautaro (Charrier *et al.*, 2007).
  
- Segundo estadio (Cretácico Temprano Superior – Paleógeno Temprano):  
Corresponde a eventos extensionales que se asocian a una intensa actividad magmática en donde la paleogeografía se caracteriza por un amplio antearco, un arco magmático y una cuenca antepaís. La mayoría de las formaciones de este ciclo presentan grandes potencias, lo que supone la existencia de un régimen fuertemente subsidente, el que se acompaña por un régimen extensional y controlado por estructuras mayores. Un ejemplo de un régimen extensional se encuentra en la Formación Hornitos (Charrier *et al.*, 2007).
  
- Tercer estadio (Paleógeno Tardío – Presente):  
Corresponde a la última fase del Ciclo Andino, donde ocurre el alzamiento de los Andes, el desarrollo de las unidades morfoestructurales que dan origen al relieve chileno, el emplazamiento de los grandes pórfidos cupríferos y el arco volcánico asume su posición actual (Charrier *et al.*, 2007).

## **4.2. Geología estructural**

La geología estructural del área se caracteriza por tener diversas fallas. Las estructuras más antiguas están representadas por fallas de bajo y alto ángulo. En el flanco este del valle del río Copiapó, aflora la terminación sur de una falla frágil de bajo ángulo (Despegue Punta del Cobre) que despega parcialmente la Formación Nantoco de la subyacente Formación Punta del Cobre. En rocas del colgante, se expone una variedad de estructuras subsidiarias (fallas lítricas, fallas frágiles, bloques rotados en dominó, budines), que demuestran la naturaleza extensional de la falla. Otra falla extensional está representada por la Zona de Cizalle Ojancos – La florida, expuesta como una franja de rocas miloníticas de manteo moderado ( $50^\circ$  a  $60^\circ$ ) (Carta Los Loros; Arévalo, 2005).

Fallas de alto ángulo y movimiento inverso con componente sinistral, desplazan estratos de las Formaciones Punta del Cobre y Nantoco y retrabajan las milonitas de la zona de Cizalle Ojancos – La Florida. Estas estructuras forman parte de la Faja Plegada y Corrida de Paipote, un sistema estructural de tipo flor positiva, enraizado en la Falla Paipote, que desplaza y deforma las secuencias del Cretácico Inferior a lo largo de la quebrada de Paipote y del valle del río Copiapó y que generan un anticlinal de escala kilométrica conocido como Anticlinorio de Tierra Amarilla (Segerstrom, 1968). El despegue Cerrillos forma parte de esta familia de estructuras y se habría formado como un retrocorrimiento (*back thrust*) intraestratal, explotando horizontes poco competentes, durante la propagación hacia el sureste de la Falla Paipote y de sus estructuras subsidiarias. Más al sur, a la altura de la sierra Punta del Diablo, otro anticlinal asimétrico, de limbo oriental vertical ha invertido y limbo occidental levemente inclinado ( $30^\circ$  -  $13^\circ$ ) en esa dirección, afecta a las rocas calcáreas del Cretácico Inferior y a la Formación Cerrillos. Esta megaestructura se interpreta como un anticlinal de inversión producido por la reactivación contraccional de una falla preexistente, activa durante la depositación de las rocas calcáreas. La existencia de esta falla normal sinsedimentaria es confirmada, por un parte, por el aumento de espesor de la Formación Pabellón que en esta latitud casi triplica la potencia estimada unos 15 km más al norte en la quebrada Carrizalillo, y por otra, por la existencia de un nivel de megadeslizamiento sedimentario (“*megaslump*”), se intercala, también en esta latitud, en la Formación Pabellón. Estas estructuras se habrían formado durante un episodio de transpresión sinistral en el Cretácico Superior Temprano que

coincide con la Fase Peruana de deformación. En las proximidades que la quebrada de Calquis y del tranque Lautaro, una franja estrecha de fallas inversas de bajo ángulo y pliegues asimétricos volcados hacia el este, involucra rocas del Triásico, Jurásico y Cretácico Inferior y no afecta a las rocas del Cretácico Superior (Formación Hornitos). Esto indica que este sistema estructural es, probablemente el equivalente temporal de la Faja Plegada y Corrida de Paipote, hacia el Oriente (Carta Los Loros; Arévalo, 2005).

Los estratos de la Formación Hornitos constituyen el relleno de una cuenca extensional (Cuenca Hornitos) formada durante el Campaniano – Maastrichtiano (80 – 65 Ma). El borde occidental de la cuenca está definido por una superficie de moderado a alto ángulo, labrada en la Formación Cerrillos, sobre la cual los depósitos de relleno se disponen con una geometría de “*on lap*”. La distalización de las facies clásticas y el acuñamiento de capas que se verifica hacia el este, indican que esta superficie habría actuado como una falla de borde de la cuenca, encontrándose activa al momento de la depositación, correspondiente a la Falla Elisa de Bordos (Arévalo *et al.*, 1994). La cuenca Hornitos constituiría la más occidental de un sistema de cuencas similares construidas más al este (Formación Quebrada Seca), sobre un basamento Triásico – Cretácico Inferior, que habría culminado con la depositación de un paquete de volcanitas basálticas a traquibasálticas como un plateau volcánico, continuo hasta el límite oeste del salar de Maricunga.

Una serie de fallas normales, que involucran principalmente el relleno sedimentario de la cuenca Hornitos, son lístricas y presentan discordancias de crecimiento en los colgantes, lo que indica su contemporaneidad con la formación de los depósitos. Asimismo, fallas inversas y pliegues anticlinales y sinclinales, que desplazan y deforman estos depósitos, y no a los suprayacentes productos de las calderas paleocenas, son posteriores a las estructuras sinsedimentarias y dan cuenta de una fase de acortamiento, en el límite Cretácico Superior – Paleoceno Inferior.

### **4.3. Recursos minerales**

Los minerales presentes se agrupan por dominio metalogénico en los que se encuentran seis:

- Dominio 1: incluye yacimientos mesotermales de cobre, oro y hierro albergados principalmente por unidades plutónicas de la Cordillera de la Costa. Incluye vetas de Cu-Au y vetas de Fe-Cu-Au (Arévalo, 2005).
- Dominio 2: se caracteriza por tener mineralización de cobre, oro, plata y hierro, que se encuentra hospedadas en rocas principalmente estratificadas volcánicas y sedimentarias de las formaciones Punta del Cobre y Grupo Chañarcillo. Considera: vetas de Cu-Fe-Au, depósitos estratoligados de Cu-Fe±Au, cuerpos irregulares y mantiformes de Fe-Cu, depósitos vetiformes de Cu y Cu-Au-Ag (por ejemplo, distrito Punta del Cobre, mina Candelaria), estratoligados de Fe (mina Bandurrias), vetas y mantos de Ag (distrito Chañarcillo) y stockworks, vetas, cuerpos irregulares y estratoligados de Cu±Au-Ag (mina Santa Teresita) (Arévalo, 2005).
- Dominio 3: caracterizado por tener mineralización de cobre y plata en rocas estratificadas de la Formación Cerrillos y rocas intrusivas del Cretácico Superior, que intruyen a esta última unidad. Incluye vetas, mantos, cuerpos irregulares estratiforme, irregular y chimeneas de brechas de Cu (minas Checo de Cobre y San Marcos); vetas de Ag acompañadas ocasionalmente por minerales de Cu, Co, U, Hg, As, Au y/o Sb (distrito Pampa Larga) y vetas de Ag-Cu (mina Sacramento) (Arévalo, 2005).
- Dominio 4: se caracteriza por presentar mineralización de cobre y plata hospedada en rocas estratificadas de la Formación Hornitos. Considera vetas y mantos de Cu (mina Pisagua y Manto El Indio) y vetas, mantos y chimeneas de brechas y cuerpos irregulares de Ag-Cu (mina El Jardín y Elisa de Bordos y minas del sector sierra de Chancheros) (Arévalo, 2005).

- Dominio 5: caracterizado por presentar mineralización de cobre, oro, plomo y zinc albergada en el Plutón Cabeza de Vaca y en las rocas de caja próximas al intrusivo. Incluye a las brechas de Cu±Au-Ag (mina Japonesa, Remolinos Vieja y Remolinos Nueva del Distrito Cabeza de Vaca) y vetas de Cu (Ag? -Ag?) y Pb-Zn (Arévalo, 2005).
- Dominio 6: mineralización epitermal de plata y oro hospedada en rocas representativas de las facies de relleno de la caldera Lomas Bayas y de su domo intrusivo resurgente. Considera a yacimientos de Ag (Au) en manto y vetas (distrito Lomas Bayas) (Arévalo, 2005).

#### **4.4. Geología local**

##### **4.4.1. Unidades geológicas**

La zona de se ubica en las formaciones generadas durante el Ciclo Pre – Andino y Ciclo Andino.

- Formación La Ternera (Triásico Superior – Lías Inferior):

Corresponde a una secuencia volcanosedimentaria homogénea de aproximadamente 200 metros de espesor compuesta por basaltos, traquibasaltos y andesitas, que afloran en ambos flancos del valle del río Copiapó. Hacia techo la formación pasa concordantemente a calizas de la Formación Lautaro y, a través de una discordancia de erosión, a brechas verdosas de la Formación Cerrillos y areniscas rojas de la Formación Hornitos. La formación está constituida por coladas en parte amigdaloidales, rojizas y violáceas de 6 a 10 metros de espesor, de basaltos, traquibasaltos y andesitas con intercalaciones métricas de volcarenitas y ortoconglomerados. Las lavas tienen bases y techos brechizados y zonas centrales macizas que muestran, en parte, estructura columnar (Arévalo, 2005).

La edad de la formación ha sido asignada sobre las relaciones estratigráficas de base a techo, en conjunto con la flora fósil encontrada en la quebrada El Carbón y por la fauna liásica inferior encontrada en la ladera occidental del río Jorquera, la cual está compuesta por *Weyla* sp., *Rinchonella* sp. y *Lythotrocos humbolditi* Buch (Soffia, 1989). La gran cantidad de depósitos lávicos de composición basáltica a andesítico basáltica comparada con la relativa escasez de depósitos piroclásticos y epiclásticos, indica que estos depósitos se formaron durante una fase de volcanismo de baja explosividad. Estos productos acompañados de sedimentos continentales a marinos representan los rellenos de un sistema de cuencas de rift extensionales desarrollados en el Triásico Superior en la Precordillera de Atacama (Arévalo, 2005).

▪ Formación Lautaro (Jurásico [Sinemuriano – Bajociano]):

Corresponde a una secuencia marina calcárea arenosa, que aflora en ambos flancos del río Copiapó a la altura del embalse Lautaro (localidad de la cual toma su nombre). Se dispone de forma concordante sobre basaltos de la Formación La Ternera y subyace, a través de una discordancia angular, a brechas verdosas de la Formación Cerrillos y areniscas rojas de la Formación Hornitos. A través de la realización de una columna estratigráfica generalizada, se pudo establecer que está compuesta por: (1) una sección base, de 60 metros de espesor, de ortoconglomerados blanquecinos y rojizos y areniscas calcáreas gruesas con intercalaciones de areniscas conglomerádicas y calizas menores, que gradan hacia arriba a areniscas con intercalaciones de calcarenitas coquinoideas; (2) una sección intermedia de 100 metros de constituida por una alternancia rítmica de calcilitas grises y negras con intercalaciones de calcarenitas amarillentas, que gradan hacia el techo a calcilitas bioclásticas grises y calcarenitas amarillentas alternadas; y (3) una sección superior compuesta por 300 metros de calcarenitas finas y calcilitas rojizas, que culminan en areniscas calcáreas rojizas de grano medio. La edad de esta formación es definida a partir de dos conjuntos de faunísticos que provienen de las calizas ubicadas en la saliente sur de la quebrada Caquis (Corvalán, 1974; Segerstrom, 1959). Uno está formado por la presencia de *Weyla alata*, *Pholadomya* cf. *Plagemani*, *Oxynoticeras oxynotocum* y *Areeticeras* sp. y otro formado por *Pecten personatus*, *Pholadomya* cf. *Plegamani*, *Rynchonella andium*, *Terebratula punctata*, *Harpoceras falcifer* y *Pernoceras* sp. aff. *P. fibulatum*. Las facies clásticas que pueden ser observadas en esta formación y que se ubican al oeste de la Falla Quebrada Amolanas, se habrían depositado en un ambiente transicional, bajo condiciones de abundante influjo clástico, en un ambiente como el de un abanico deltaico. Las facies que se encuentran expuestas al este de la falla representan depósitos de plataforma calcárea y la evolución de sus facies representan, probablemente, el cambio de condiciones submareales profundas en la base, a submareales someras hacia techo (Arévalo, 2005).

▪ Formación Cerrillos (Albiano - Turoniano):

Secuencia sedimentaria, volcánica y continental que yace, en discordancia de erosión sobre la Formación Pabellón y sobre un sill de pórfido diorítico de piroxeno y olivino, emplazados en estratos de la Formación Pabellón. A su vez, está cubierta en discordancia angular por la Formación Hornitos. Su espesor estimado es de 6.000 metros. Es una unidad esencialmente clástica, donde su sección inferior está compuesta por 2.300 metros de areniscas verdes rojizas de grano medio a muy grueso, con clastos andesíticos flotantes, dispuestas en capas planas con gradación inversa – normal e intercalaciones de paraconglomerados en capas gruesas. La sección superior incluye 3.500 metros de paraconglomerados y brechas volcánicas gruesas, de buena estratificación, alternadas con areniscas gris rojizas de grano medio y con lavas andesíticas y andesítico – basálticas (Arévalo, 2005). La formación no posee fósiles de valor cronoestratigráfico por lo que su edad ha sido asignada de forma indirecta por la edad de las unidades infra y suprayacentes y por los intrusivos que la cortan. Sabiendo que la edad mínima de la Formación Pabellón que subyace a la unidad es Aptiano Superior mientras que, la edad de la Formación Hornitos que sobreyace la unidad es Campaniano – Maastrichtiano, junto con la edad U-Pb de  $90,4 \pm 0,5$  Ma obtenida en un pórfido de hornblenda, permite asignar a la Formación Cerrillos un rango de edad que va entre el Albiano y Turoniano. Además, la Formación Cerrillos es posible correlacionarla con los Estratos de Sierra Alcota de la Hoja Carrera Pinto (Iriarte *et al.*, 1996).

Las areniscas basales de la formación representarían flujos arenosos densos y flujos de detritos depositados en ambientes de llanuras de inundación. Las brechas y conglomerados corresponderían, en general, a flujos de detritos formados en condiciones de alta energía, asociados con áreas proximales de depositación aluvial. Es por lo anterior que, los estratos de la Formación Cerrillos han sido atribuidos al relleno de una cuenca subsidente, asociada a la fase extensional del Cretácico Inferior Alto, descrita por Mpodozis y Allmendinger (1993) en la zona de Puquios – Sierra de Fraga y extendida hacia el oeste, documentada por Arévalo (1995; 1999).

▪ Formación Hornitos (Cretácico Superior):

Corresponde a una potente secuencia sedimentaria y volcánica que yace de manera discordante sobre la Formación Cerrillos y subyace, con el mismo tipo de relación, a tobas paleocenas de las calderas Lomas Bayas y Cerro Blanco. La secuencia está formada en la base, por brechas y conglomerados verdosos con intercalaciones de paquetes lenticulares de areniscas rojas, fangolitas calcáreas amarillentas y calizas, y por niveles de tobas blanquecinas. Las brechas y conglomerados presentes son matriz soportados, poseen clastos decimétricos a métricos que se encuentran inmersos en una matriz de areniscas gruesas, de mala selección. Se organizan en capas gruesas, de espesor muy continuo (1 a 6 metros), de aspecto macizo y de gradación inversa – normal, que culminan en techos arenáceos con laminación discontinua. Las intercalaciones de areniscas rojas, fangolitas calcáreas y calizas representan subsecuencias (150 a 300 metros de espesor) de buena estratificación. Las areniscas presentes, constituyen capas planas de 3 a 25 centímetros de espesor, con grietas de secamiento y ondulitas. Por otro lado, las fangolitas son ricas en restos vegetales y las calizas presentan algas estromatolíticas, valvas de ostrácodos y gasterópodos. Restos óseos como detritos o piezas mayores son comúnmente encontrados en areniscas rojas y fangolitas calcáreas. Las tobas existentes son riolíticas, presentan ceniza y cristales como sus componentes principales (cuarzo, plagioclasa y sanidina) exhiben escaso soldamiento. Hay presencia de cuerpos irregulares a diapíricos formados por precipitados evaporíticos, principalmente de yeso bandeado. Hacia techo, las rocas clásticas basales están cubiertas por una secuencia lateralmente muy continua de lavas basálticas y traquibasálticas, las cuales consisten en lavas verdes y rojizas de composición basáltica a traquibasáltica que forman coladas de 7 a 20 metros de espesor, con centros macizos y brechas autoclásticas de base y techo. Intercaladas con ella, de forma subordinada, se encuentran brechas, paraconglomerados y areniscas rojas de grano medio a conglomerádicas. Domos y lavas dacíticos se intercalan en todo el espesor de la secuencia. Consisten en cuerpos de dacitas y riolitas de reducida dimensión (de 1 a 6 kilómetros de longitud máxima). Las dacitas son macizas, de colores rosado a blanquecino y poseen generalmente fragmentos

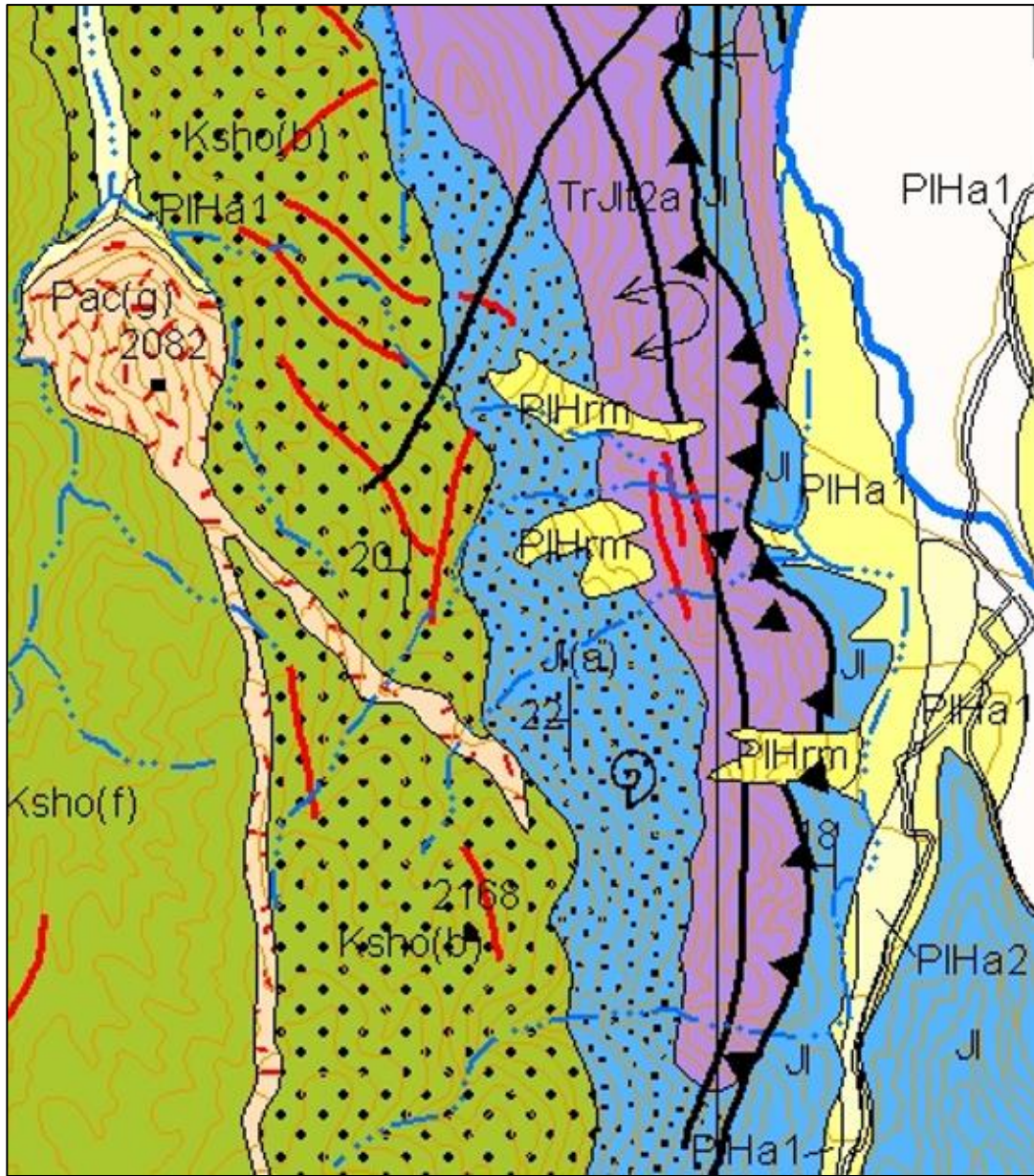
líticos andesíticos subesféricos y fragmentos de pómez no colapsados. La edad de la formación se estableció a través de los restos óseos de saurópodos encontrados en fangolitas y por la presencia de edades K-Ar, U-Pb obtenidas en pórfidos hipabisales y en domos dacíticos. Las brechas y conglomerados verdosos representan flujos de detritos de alta energía formados en posiciones proximales. Las facies de areniscas finas y fangolitas calcáreas representarían depósitos de llanura de inundación, que se alternarían con periodos lacustres indicados por las calizas. Las tobas de ceniza y cristales corresponderán a unidades de flujo piroclástico depositadas, probablemente durante la misma actividad explosiva en que se emplazaron los cuerpos de domos y lavas domo. Por lo tanto, la Formación Hornitos representaría facies sedimentarias y volcánicas del relleno de una cuenca volcanotectónica extensional (Arévalo, 2005).

▪ Depósitos Aluviales (Cuaternario):

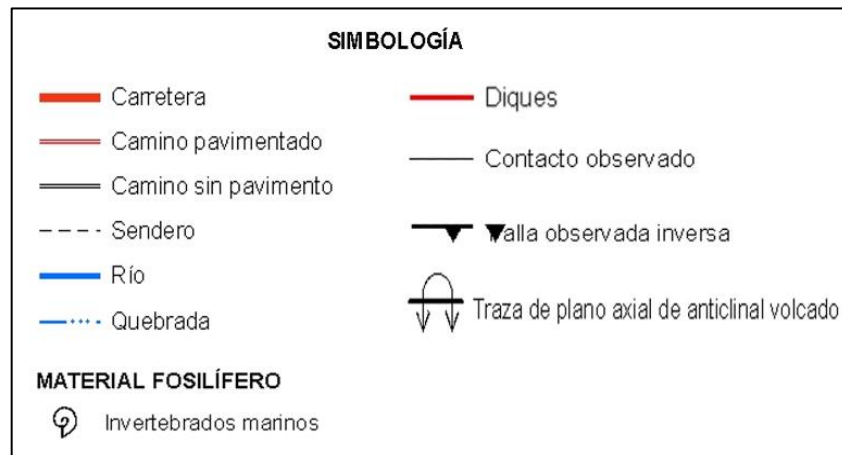
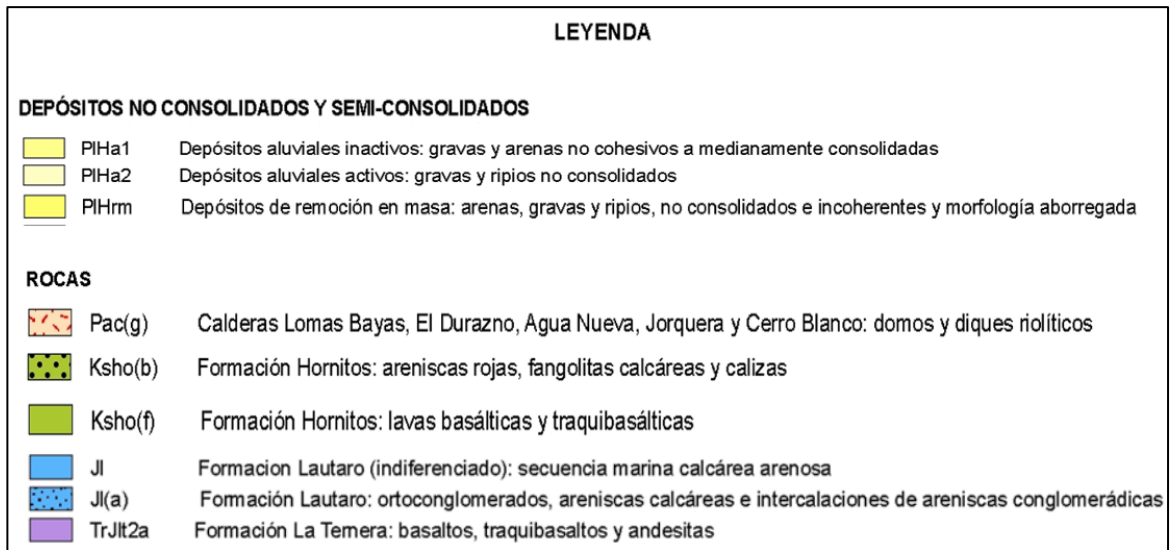
Corresponden a depósitos no consolidados de arenas finas a medias. La formación de este tipo de depósitos se produce por la acumulación de flujos gravitacionales densos (corrientes de barro y/o flujo de detritos), aguas debajo de zonas altas, los que forman conos aluviales bajos, extendidos lateralmente. Los flujos se producirían por episodios pluviales esporádicos, pero de alta intensidad. La edad de estos depósitos es Pleistoceno a Holoceno, ya que erosionan unidades continentales del Mioceno – Plioceno y se encuentran actualmente en actividad (Arévalo, 2005).

▪ Depósitos Fluviales (Cuaternario):

Corresponden a depósitos asociados directamente a la escorrentía superficial del río Copiapó y que forman el relleno principal del valle. Comprenden ripios, gravas y arenas bien seleccionadas con abundantes niveles de limos intercalados. Los clastos más gruesos son heterocomposicionales, bien redondeados, con formas discoidales y generalmente aparecen imbricados. La edad de estos depósitos es Pleistoceno a Holoceno, ya que erosionan unidades continentales del Mioceno – Plioceno y se encuentran actualmente en actividad (Arévalo, 2005).



**Figura 4. 2.** Mapa geológico de Carta Los Loros realizada por Arévalo (2005) donde se observan las unidades geológicas correspondientes al área de estudio, donde Pac corresponde calderas volcánicas, Ksho a la Fm. Hornitos, JI a la Fm. Lautaro, TrJlt como la Fm. La Ternera, PIHrm como depósitos de remoción en masa y PIHa como depósitos aluviales.



**Figura 4. 3. (cont.)** Leyenda y simbología del área de estudio en la Carta Geológica Los Loros (Modificado de Arévalo, 2005).

## **CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA**

### **5.1. Recopilación de antecedentes**

Consiste en la recolección de la información previa a la etapa de terreno. Está orientada a recabar los antecedentes necesarios del tema abordado para así facilitar la siguiente etapa de trabajo. En esta etapa se procedió a recolectar la información bibliográfica necesaria, recopilando los antecedentes del área a través de artículos científicos de autores que previamente trabajaron en el área de estudio. Se elaboró una base de mapeo para identificar los sectores de la recolección de las muestras, siendo utilizada esta misma base para la realización de un mapa de terreno previo durante esta etapa, para corroborar la buena calidad de caminos y accesos hacia el área de estudio. Además, se elaboró una lista con los posibles lugares de interés geológico (LIGs) que se encuentren cercanos a la zona para la realización de la ruta geopatrimonial.

### **5.2. Etapa de terreno e identificación de Lugares de interés geológico (LIGs)**

Esta etapa fue llevada a cabo durante el mes de abril y diciembre del año 2021. Se recolectaron 3 muestras de troncos fósiles en el área de estudio, se realizó una columna estratigráfica y un mapa geológico previo para la identificación de las sucesiones litoestratigráficas. Además, se recorrieron los lugares que previamente se identificaron como posibles lugares de interés geológico para el relleno de la tabla de clasificación y su correspondiente inventario. La metodología usada para el inventario de posibles lugares de interés geológico son las tablas de Maldonado (2017). Este inventario consiste en llevar a cabo un registro sistemático de estos lugares ubicados en un área determinada, siendo éste el primer paso para generar una estrategia de geoconservación (Brilha, 2005). Los parámetros de la tabla incluyen: nombre del lugar de interés geológico, tipo de interés y contexto geológico y relevancia (ver Tabla 5.1). Para el contexto geológico se ha usado la clasificación de Morgues *et al.*, (2012), mientras que para los parámetros restantes se utilizó la clasificación de Vegas *et al.*, (2013).

| Nº | Nombre del LIG | Tipo de Interés Geológico | Contexto Geológico | Relevancia |
|----|----------------|---------------------------|--------------------|------------|
|    |                |                           |                    |            |
|    |                |                           |                    |            |
|    |                |                           |                    |            |
|    |                |                           |                    |            |
|    |                |                           |                    |            |
|    |                |                           |                    |            |

**Tabla 5. 1.** Modelo de inventario de LIG's (extraído de Maldonado, 2017; modificado de Vegas *et al.*, 2013).

Además, es necesario manejar fichas descriptivas que contengan características detalladas de cada sitio con la mayor cantidad de información posible. Para eso se utilizará la Tabla 5.2. Aquí, también será añadido la ubicación y el acceso de cada lugar de interés geológico. Por otra parte, la evaluación de éstos se realizará en base al potencial turístico, educativo y el riesgo que tienen de degradarse, obtenidos de Maldonado (2017). Los criterios que se han empleado son la representatividad, calidad de la exposición, accesibilidad, vulnerabilidad, situación demográfica de la zona de ubicación del lugar de interés geológico, entre otros (Tabla 5.3). Es así como esta información será complementada con la obtenida anteriormente.

| <b>LIG</b>                         |                       |                  |                        |   |                |
|------------------------------------|-----------------------|------------------|------------------------|---|----------------|
| <b>Nombre</b>                      |                       |                  |                        | <b>Interés Principal</b>                |                |
| <b>Ubicación</b>                   |                       |                  |                        | <b>Distancia Población más cercana:</b> |                |
| <b>Coordenadas</b>                 |                       | <b>X</b>         |                        | <b>Y</b>                                |                |
|                                    |                       |                  |                        |   |                |
| <b>VALOR INTRÍNSECO</b>            |                       |                  |                        |   |                |
| Diversidad                         | Único                 | mejor ejemplo    |                        | Rareza                                  | otros          |
| Edad Geológica                     | Proterozoico          | Paleozoico       |                        | Mesozoico                               | Cenozoico      |
| Procesos Geológicos                | Endógeno              | Exógeno          |                        |   |                |
| Marco Geológico                    | Interés Internacional | Interés Nacional | Interés Regional       |   | Interés Local  |
| Valor Científico                   | Nulo                  | Bajo             | Medio                  | Alto                                    | Muy Alto       |
| Interés Geológico                  | Cárstico              | Estratigráfico   |                        | Geomorfológico                          | Litoral        |
|                                    | Económico             | Fluvial          |                        | Hidrogeológico                          | Paleontológico |
|                                    | Eólico                | Geo-cultural     |                        | Lacustre                                | Petrológico    |
| <b>POTENCIAL DE USO</b>            |                       |                  |                        |   |                |
| Potencial Educativo                | Alto                  |                  | Medio                  |   | Bajo           |
| Potencial Turístico                | Alto                  |                  | Medio                  |   | Bajo           |
| Relación con el medio natural      | Fauna                 |                  | Flora                  | Cultura                                 | No tiene       |
| Reconocimiento de la comunidad     | Muy conocido          |                  | Poco conocido          |   | Desconocido    |
| Tipo de administración responsable | Estado                | Municipio        |                        | Privado                                 | Área protegida |
| Acceso                             | Vehículo 4x4          |                  | Vehículo normal        | Bus                                     | A pie          |
| <b>VULNERABILIDAD</b>              |                       |                  | <b>INFRAESTRUCTURA</b> |   |                |
|                                    | Si                    | No               | Cual                   | Bueno                                   | Regular        |
| Seguridad                          |                       |                  |                        | Transporte                              |                |
| Deterioro                          |                       |                  |                        | Hoteles                                 |                |
| Amenazas                           |                       |                  |                        | Restaurantes                            |                |
| <b>FOTO/ESQUEMA</b>                |                       |                  | <b>DESCRIPCIÓN</b>     |   |                |
|                                    |                       |                  |                        |   |                |
|                                    |                       |                  |                        |   |                |
| <b>INFORMACIÓN ADICIONAL:</b>      |                       |                  |                        |   |                |
|                                    |                       |                  |                        |   |                |

**Tabla 5. 2.** Ficha descriptiva de Patrimonio Geológico (extraído de Maldonado, 2017; modificado de Henao y Osorio, 2011).

El puntaje que se otorga es entre 1 y 4, de acuerdo con la metodología aplicada (ver Tabla 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 y 5.7). El puntaje obtenido será multiplicado en función del peso ponderado para obtener la valorización. Las tablas para realizar la evaluación de cada potencial (uso educativo y turístico, y riesgo de degradación) y los detalles de los criterios a evaluar se encuentran a continuación:

| <b>POTENCIAL DE USO DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS</b>   |                      |             |                   |                      |             |                   |
|--|----------------------|-------------|-------------------|----------------------|-------------|-------------------|
| <b>Criterios</b>                                   | <b>Uso Educativo</b> |             |                   | <b>Uso Turístico</b> |             |                   |
|  | <b>Puntos</b>        | <b>Peso</b> | <b>Valoración</b> | <b>Puntos</b>        | <b>Peso</b> | <b>Valoración</b> |
| Representatividad                                  |                      | 5           |                   |                      | -           |                   |
| Calidad de la exposición                           |                      | 10          |                   |                      | 5           |                   |
| La diversidad a nivel regional                     |                      | 5           |                   |                      | -           |                   |
| Potencial Educativo                                |                      | 30          |                   |                      | -           |                   |
| Logística  |                      | 15          |                   |                      | 10          |                   |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km           |                      | 10          |                   |                      | 5           |                   |
| Accesibilidad                                      |                      | 10          |                   |                      | 10          |                   |
| Vulnerabilidad causada por las actividades humanas |                      | 5           |                   |                      | 15          |                   |
| Asociación con otros valores                       |                      | 5           |                   |                      | 10          |                   |
| Monumentalidad                                     |                      | 5           |                   |                      | 15          |                   |
| Potencial Recreativo                               |                      | -           |                   |                      | 20          |                   |
| Entorno Social                                     |                      | -           |                   |                      | 5           |                   |
| Proximidad a las instalaciones recreativas         |                      | -           |                   |                      | 5           |                   |
| <b>TOTAL</b>                                       |                      | 100         |                   |                      | 100         |                   |

**Tabla 5. 3.** Potencial de uso educativo y turístico Maldonado, 2017; De Lima et al., 2010).

| <b>RIESGO DE DEGRADACION DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS</b>   |               |             |                   |
|---|---------------|-------------|-------------------|
| <b>Criterios</b>  | <b>Puntos</b> | <b>Peso</b> | <b>Valoración</b> |
| Vulnerabilidad causada por factores naturales o humanos |               | 35          |                   |
| Proximidad a las áreas potenciales dañinas              |               | 20          |                   |
| Estado de Protección Actual                             |               | 20          |                   |
| Accesibilidad   |               | 15          |                   |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km                |               | 10          |                   |
| <b>TOTAL</b>  |               | 100         |                   |

**Tabla 5. 4.** Riesgo de degradación (Maldonado, 2017; modificado de De Lima et al., 2010).

| <b>Criterios</b>  | <b>P</b> |
|---|----------|
| <b>Representatividad</b>  |          |
| El mejor ejemplo que representa un contenido geológico a nivel nacional   | 4        |
| El mejor ejemplo que representa un contenido geológico a nivel regional   | 3        |
| El mejor ejemplo que representa un contenido geológico a nivel provincial   | 2        |
| El mejor ejemplo que representa un contenido geológico a nivel local  | 1        |
| <b>Calidad de la exposición</b>   |          |
| Observado fácilmente en su totalidad  | 4        |
| Algunos aspectos geológicos son difíciles de observar   | 3        |
| Los principales aspectos geológicos son difíciles de observar   | 2        |
| Los principales aspectos geológicos son imposibles de observar  | 1        |
| <b>La diversidad a nivel regional</b>   |          |
| El geositio tiene 3 tipos de contenidos geológicas (estratigráficas, paleontológicos, geomorfológicos, etc.) y es representativa para todos | 4        |
| El geositio tiene 3 tipos de contenidos, pero no es representativa para los 3   | 3        |
| El geositio tiene 2 tipos de contenidos y es representativa para los dos  | 2        |
| El geositio tiene 2 tipos de contenidos, pero es sólo representativo para uno   | 1        |
| <b>Potencial educativo</b>  |          |
| El geositio ilustra aspectos geológicos útiles para todo el sistema educativo   | 4        |
| El geositio ilustra aspectos geológicos sólo es útil para los niveles de básica y media   | 3        |
| El geositio ilustra aspectos geológicos sólo es útil para el nivel de enseñanza media   | 2        |
| El geositio ilustra aspectos geológicos sólo es útil para el nivel universitario  | 1        |

**Tabla 5. 5.** Criterios utilizados para la evaluación del potencial de uso educativo de los sitios geológicos. Un valor final bajo significa una menor adecuación para uso educativo mientras que, un valor final alto significa una mayor adecuación para usos educativos (Maldonado, 2017; modificado de De Lima et al., 2010).

|   |   |
|---|---|
| <b>Logística</b>  |   |
| Hay alojamiento y restaurantes para grupos de 50 personas en menos de 15 km                           | 4 |
| Hay alojamiento y restaurantes para grupos de 50 personas en menos de 50 km                           | 3 |
| Hay alojamiento y restaurantes para grupos de 50 personas en menos de 100 km                          | 2 |
| Hay alojamiento y restaurantes sólo para grupos de 25 personas en menos de 50 km                      | 1 |
| <b>Habitantes superficie de 25 km</b>   |   |
| Más de 1,5 millones de habitantes   | 4 |
| Entre 500 mil 1.5 millones de habitantes  | 3 |
| Entre 150 mil y 500 mil habitantes  | 2 |
| Entre 50 y 150 mil habitantes   | 1 |
| <b>Accesibilidad</b>  |   |
| Acceso directo por carretera asfaltada con estacionamiento para autobuses                             | 4 |
| Acceso directo por carretera asfaltada  | 3 |
| Acceso directo por carretera sin pavimentar   | 2 |
| No hay acceso directo pero el geositio se encuentra a menos de 1 km de una carretera asfaltada        | 1 |
| <b>Vulnerabilidad causada por las actividades humanas</b>   |   |
| No hay riesgo de daños  | 4 |
| Posible riesgo que afectan a los aspectos geológicos secundarios                                      | 3 |
| Posible riesgo que afectan a los principales aspectos geológicos                                      | 2 |
| Posible riesgo que afecta a todos los aspectos geológicos   | 1 |
| <b>Asociación con otros valores (ecológico, cultural y proximidad con otros geositios)</b>            |   |
| La presencia de varios valores a 2 km   | 4 |
| La presencia de varios valores a menos de 5 km  | 3 |
| La presencia de dos valores a menos de 5 km   | 2 |
| Presencia de un solo valor dentro de los 5 km   | 1 |
| <b>Monumentalidad</b>   |   |
| El geositio se utiliza generalmente en la icnografía turística en los niveles nacionales o regionales | 4 |
| El geositio se utiliza a veces en la icnografía turística en los niveles nacionales o regionales      | 3 |
| El geositio se utiliza generalmente en la icnografía turística en los niveles provinciales o locales  | 2 |
| El geositio se utiliza a veces en la icnografía turística en los niveles nacionales o regionales      | 1 |

**Tabla 5.5. (cont.)** Criterios utilizados para la evaluación del potencial de uso educativo de los sitios geológicos. Un valor final bajo significa una menor adecuación para uso educativo mientras que, un valor final alto significa una mayor adecuación para usos educativos (Maldonado, 2017; modificado de De Lima et al., 2010).

| <b>Criterios</b>   | <b>P</b> |
|--|----------|
| Calidad de la exposición   |          |
| Observado fácilmente en su totalidad   | 4        |
| Algunos aspectos geológicos son difíciles de observar  | 3        |
| Los principales aspectos geológicos son difíciles de observar                                  | 2        |
| Los principales aspectos geológicos son imposibles de observar                                 | 1        |
| Logística  |          |
| Hay alojamiento y restaurantes para grupos de 50 personas en menos de 15 km                    | 4        |
| Hay alojamiento y restaurantes para grupos de 50 personas en menos de 50 km                    | 3        |
| Hay alojamiento y restaurantes para grupos de 50 personas en menos de 100 km                   | 2        |
| Hay alojamiento y restaurantes sólo para grupos de 25 personas en menos de 50 km               | 1        |
| Habitantes superficie de 25 km   |          |
| Más de 1,5 millones de habitantes  | 4        |
| Entre 500 mil 1.5 millones de habitantes   | 3        |
| Entre 150 mil y 500 mil habitantes   | 2        |
| Entre 50 mil y 150 mil habitantes  | 1        |
| Accesibilidad  |          |
| Acceso directo por carretera asfaltada con estacionamiento para autobuses                      | 4        |
| Acceso directo por carretera asfaltada   | 3        |
| Acceso directo por carretera sin pavimentar  | 2        |
| No hay acceso directo pero el geosítio se encuentra a menos de 1 km de una carretera asfaltada | 1        |
| Vulnerabilidad causada por las actividades humanas   |          |
| No hay riesgo de daños   | 4        |
| Posible riesgo que afectan a los aspectos geológicos secundarios                               | 3        |
| Posible riesgo que afectan a los principales aspectos geológicos                               | 2        |
| Posible riesgo que afecta a todos los aspectos geológicos                                      | 1        |
| Asociación con otros valores (ecológico, cultural y proximidad con otros geosítios)            |          |
| La presencia de varios valores a 2 km  | 4        |
| La presencia de varios valores a menos de 5 km   | 3        |
| La presencia de dos valores a menos de 5 km  | 2        |
| Presencia de un solo valor dentro de los 5 km  | 1        |

**Tabla 5. 6.** Criterios usados para evaluar el potencial de uso turístico en los sitios geológicos donde un valor bajo significa menor adecuación para uso turísticos mientras que, un valor final alto significa una mayor adecuación para uso turístico (Maldonado, 2017; modificado de De Lima et al., 2010.)

|   |   |
|---|---|
| <b>Monumentalidad</b>   |   |
| El geositio se utiliza generalmente en la icnografía turística en los niveles nacionales o regionales         | 4 |
| El geositio se utiliza a veces en la icnografía turística en los niveles nacionales o regionales              | 3 |
| El geositio se utiliza generalmente en la icnografía turística en los niveles provinciales o locales          | 2 |
| El geositio se utiliza a veces en la icnografía turística en los niveles nacionales o regionales              | 1 |
| <b>Potencial recreativo</b>   |   |
| El geositio ilustra fácilmente aspectos geológicos al público en general                                      | 4 |
| El geositio ilustra fácilmente aspectos geológicos para el público con algunos antecedentes geológicos        | 3 |
| El geositio ilustra fácilmente aspectos geológicos para el público con el fondo geológico sólido              | 2 |
| El geositio ilustra fácilmente aspectos geológicos, pero sólo para expertos                                   | 1 |
| <b>Entorno social</b>   |   |
| La provincia cuenta con indicadores socioeconómicos más altos en relación con el promedio regional y nacional | 4 |
| La provincia cuenta con indicadores socioeconómicos más altos en relación con la media regional               | 3 |
| La provincia cuenta con indicadores socioeconómicos idénticos en relación con la media regional               | 2 |
| La provincia tiene más bajos indicadores socioeconómicos en relación con la media regional                    | 1 |
| <b>La proximidad a las instalaciones recreativas</b>  |   |
| Hay instalaciones de ocio a menos de 5 km   | 4 |
| Hay instalaciones de ocio a menos de 10 km  | 3 |
| Hay instalaciones recreativas dentro de los 15 km   | 2 |
| Hay instalaciones de ocio a menos de 20 km  | 1 |

**Tabla 5.6. (cont.)** Criterios usados para evaluar el potencial de uso turístico en los sitios geológicos donde un valor bajo significa menor adecuación para uso turísticos mientras que, un valor final alto significa una mayor adecuación para uso turístico (Maldonado, 2017; modificado de De Lima et al., 2010.)

| <b>Criterios</b>   | <b>Puntos</b> | <b>Peso</b> |
|--|---------------|-------------|
| Vulnerabilidad causada por factores naturales o humanos  |               | 35          |
| Posible riesgo que afecta a todos los aspectos geológicos                                      | 4             |             |
| Posible riesgo que afectan a los principales aspectos geológicos                               | 3             |             |
| Posible riesgo que afectan a los aspectos geológicos secundarios                               | 2             |             |
| No hay riesgo de daños   | 1             |             |
| La proximidad a las áreas potenciales dañinos (minería, industrias, recreación, urbano, ...)   |               | 20          |
| Geosítio situado a unos 500 m de un área potencialmente dañina                                 | 4             |             |
| Geosítio situado a 1 km de una zona potencialmente dañina                                      | 3             |             |
| Geosítio ubicado a unos 2 km de una zona potencialmente dañina                                 | 2             |             |
| Geosítio ubicado a 5 km de un área potencialmente dañina                                       | 1             |             |
| Estado de protección actual  |               | 20          |
| Geosítio sin protección legal y sin control de acceso  | 4             |             |
| Geosítio sin protección legal, pero con control de acceso                                      | 3             |             |
| Geosítio con la protección legal, pero sin control de acceso                                   | 2             |             |
| Geosítio con la protección legal y con control de acceso legal                                 | 1             |             |
| Accesibilidad  |               | 15          |
| Acceso directo por carretera asfaltada con establecimiento para autobuses                      | 4             |             |
| Acceso directo por carretera asfaltada   | 3             |             |
| Acceso directo por carretera pavimentada   | 2             |             |
| No hay acceso directo pero el geosítio se encuentra a menos de 1 km de una carretera asfaltada | 1             |             |
| Habitantes dentro de 25 km   |               | 10          |
| Mas de 1.5 millones de habitantes  | 4             |             |
| Entre 500 mil y 1.5 millones de habitantes   | 3             |             |
| Entre 150 mil y 500 mil habitantes   | 2             |             |
| Entre 50 mil y 150 mil habitantes  | 1             |             |

**Tabla 5. 7.** Criterios usados para evaluar el potencial de degradación de un geosítio donde un valor bajo significa menor riesgo de degradación mientras que, un valor final alto significa un mayor riesgo de degradación lo que genera una mayor necesidad de un plan de gestión (Maldonado, 2017; modificado de De Lima et al., 2010).



| RANGOS    | CATEGORÍA | COLOR   |
|-----------|-----------|---|
| 100 – 200 | Bajo      |  |
| 201 – 300 | Medio     |  |
| 301 - 400 | Alto      |  |

**Tabla 5. 9** Rangos de clasificación de los geositios (Maldonado, 2017).

Posterior a la clasificación se realizará la clasificación definitiva, en donde prevalecerán los lugares con mayor puntuación (ya sea educativo o turístico) descartándose así, los lugares de bajo puntaje por ser menos representativos. Para realizar la clasificación se realizará el siguiente cálculo:

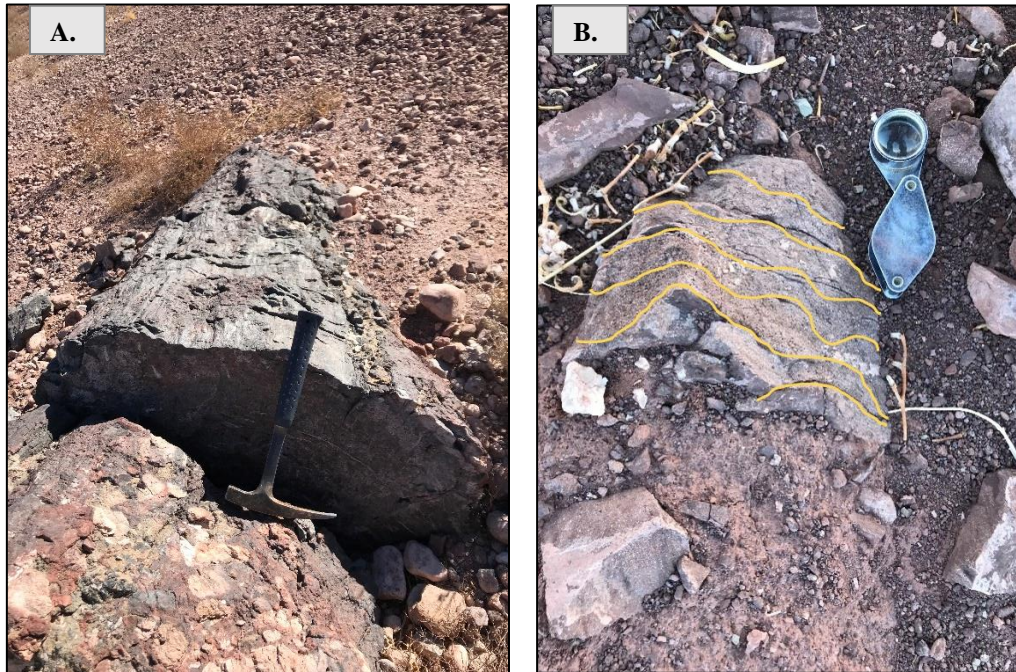
$$Puntaje\ final = \sum Potencial\ de\ uso - Potencial\ de\ Degradación$$

## **CAPÍTULO 6: RESULTADOS**

### **6.1. Geología y paleobotánica**

La geología de la zona del tranque Lautaro se caracteriza por su complejidad estructural y el extenso afloramiento de las formaciones La Ternera y Lautaro en los cerros que delimitan ambas laderas del valle. La Formación La Ternera aparece ampliamente representada en la zona por unos 350 metros de potentes coladas de lavas andesíticas y basálticas que caracterizan su miembro superior, según las descripciones clásicas, con típicas tonalidades oscuras y violáceas en el paisaje. Sin embargo, su techo en este sector, marcado por una concordancia con la Formación Lautaro, está definido por un paquete de unos 80 metros de conglomerados clasto-soportados y areniscas de intensas tonalidades rojizas, en estratos de escala decimétrica y métrica, con abundantes troncos fósiles que protagonizan este trabajo de investigación.

Estos conglomerados presentan empaquetamiento clasto-soportado, con clastos de subangulosos a subredondeados insertos en una matriz arenosa media a gruesa, con estratificación horizontal e inclinada de bajo ángulo difusa e imbricación de clastos. Los clastos son principalmente de naturaleza ígnea plutónica y volcánica ácida, de dimensiones heterométricas, que van desde los escasos centímetros hasta los 25 centímetros. Las escasas paleocorrientes medidas indican una procedencia meridional (Figura 6.1).

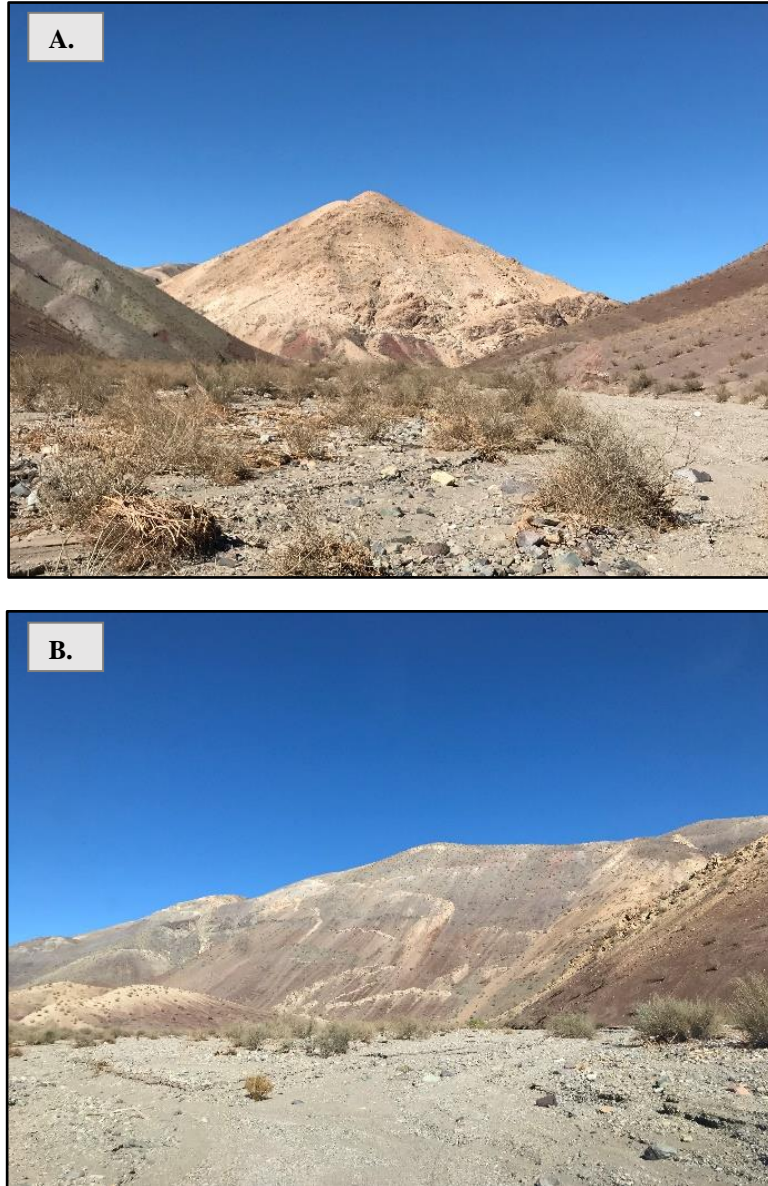


**Figura 6. 1. A.** Conglomerados en matriz arenosa gruesa con grandes troncos fósiles de la Fm. La Ternera. **B.** Capa de areniscas calcáreas con laminación cruzada asociada a un *ripple* (indicada en coloración amarillo) en la base de la Fm. Lautaro.

Todo este tramo detrítico grueso experimenta importantes cambios laterales de espesor, llegando a desaparecer de manera intermitente hacia el sur y sureste, o pasando a facies arenosas o incluso lutíticas de color rojizos más oscuros e intensos. Esta situación hace que los afloramientos con troncos silicificados aparezcan dispersos a lo largo del valle en este sector, lo que dificulta su localización, condicionada también por la intensa deformación tectónica que experimenta el techo de la Fm. La Ternera.

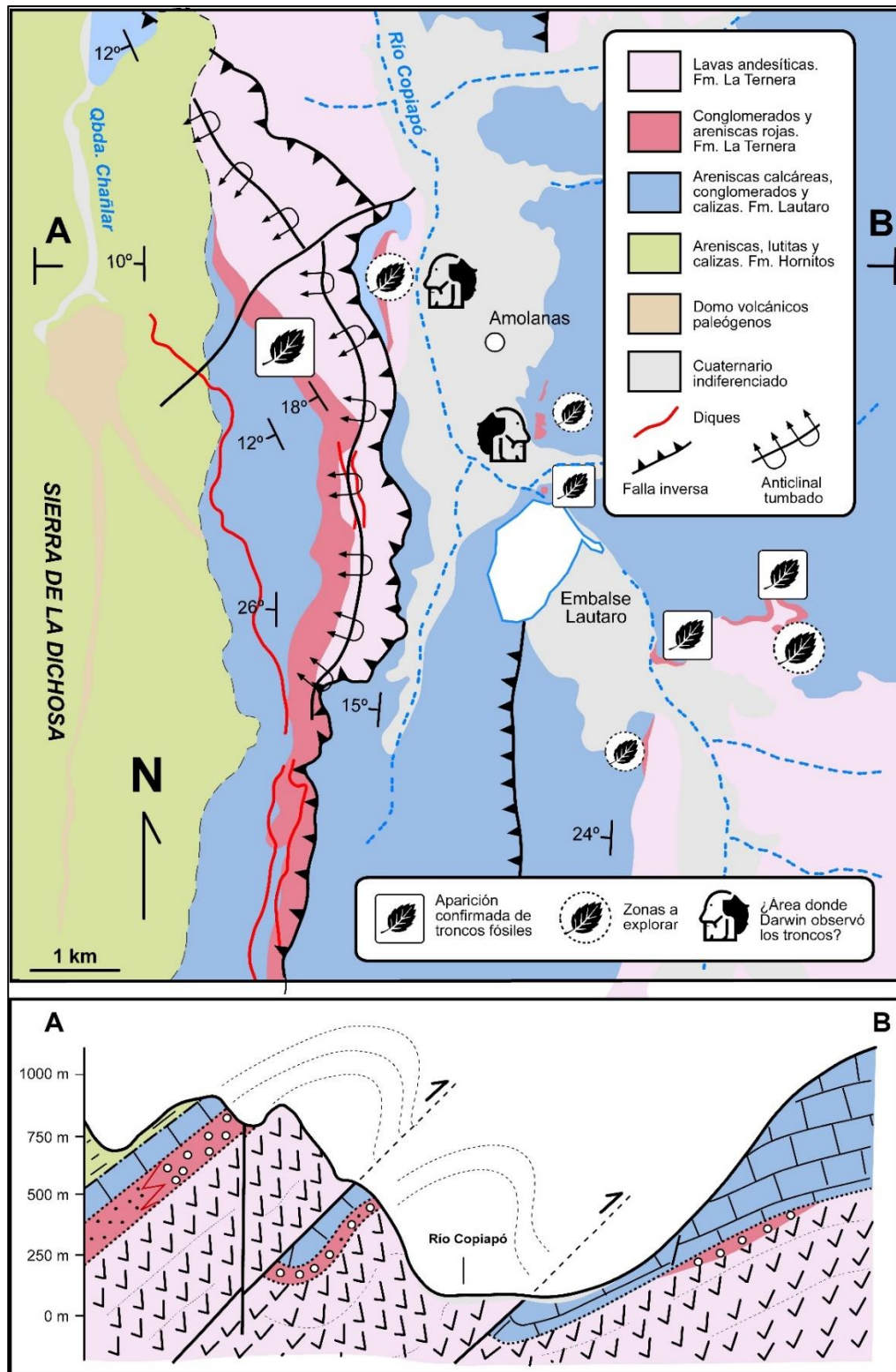
Sobre la Formación La Ternera se deposita la Formación Lautaro, mediante un paquete de 50 metros de areniscas calcáreas gruesas, conglomerados y lentejones de calizas de tonalidades blancas y anaranjadas, en ocasiones muy fosilíferas. Estas capas de areniscas gruesas presentan espesores inferiores a los 50 metros cerca de su contacto con la Formación La Ternera y laminación cruzada asociada a un *ripple*. Hacia techo pasan de forma gradual a lutitas y margas con intercalaciones de calcarenitas y calizas, no visualizadas en el afloramiento. Esta sucesión aparece cortada por una discordancia angular erosiva, que pone en contacto los materiales de la Fm. Hornitos con las otras dos

formaciones. Toda la sucesión aparece fuertemente intruida por diques y filones de naturaleza diorítica y característico color blanco y grisáceo, que cortan las formaciones previas. La Formación Hornitos constituye a su vez el basamento del domo volcánico riolítico de 900 metros de diámetro, asociado a la formación de calderas volcánicas durante el Paleógeno en esta zona.



**Figura 6. 2. A.** Domo riolítico asociado al vulcanismo paleógeno. **B.** Diques dioríticos plegados intruyendo la Fm. Hornitos.

El contacto entre la Fm. La Ternera y la Fm. Lautaro aparece fuertemente deformado por una franja estrecha de fallas inversas, de dirección norte y sur y bajo buzamiento (30° a 45°) acompañado por la formación de pliegues anticlinales y sinclinales volcados con vergencia hacia el Este. Estas estructuras, que pueden ser observadas en las laderas de la Sierra de La Dichosa y en el entorno de la Quebrada Chañar, producen la fragmentación y el desplazamiento del techo de la formación La Ternera, lo que dificulta en gran medida el seguimiento de los niveles con troncos fosilizados. El cambio lateral de facies de los conglomerados a las areniscas y lutitas rojas aporta una mayor complejidad a la identificación de las zonas donde encontrar yacimientos de paleoflora triásica. La falla inversa principal que se forma al pie de las laderas occidentales del valle del Copiapó y que favorece que el contacto entre la Fm. Lautaro y la Fm. La Ternera aflora a cotas topográficas cercanas al cauce del río, pudo ser la responsable de la existencia de afloramientos accesibles y cercanos a la población de Amolanas que describe Darwin en sus diarios (Figura 6.3).



**Figura 6. 3.** Esquema cartográfico y corte geológico (escala vertical exagerada x 3,5) de la zona de estudio. Se indica la existencia de yacimientos de troncos fósiles triásicos y posibles zonas donde podrían existir nuevos yacimientos.

La realización de una columna estratigráfica permitió la identificación de diferentes sucesiones de estratos. Debido a la ausencia de afloramientos y escasas condiciones de exposición de la serie estratigráfica del cerro aledaño al Tranque Lautaro donde están algunos troncos, no es posible realizar la columna estratigráfica allí. Por lo mismo, se realiza frente a éste en el sector agrícola conocido como “Altar de la Virgen”, donde también se encuentran troncos petrificados (Figura 6.4).



**Figura 6. 4.** Cerro sector Altar de la Virgen, en donde se realizó la columna estratigráfica.

Los troncos se encuentran en la parte superior de unos estratos de conglomerados clasto-soportados a la cual le sobreyace un estrato de lutitas. Esta intercalación se repite dos veces más en donde los troncos siempre están en la parte superior del conglomerado. Finalmente, el último estrato se observan andesitas sobreyacidas por depósitos aluviales (Figura 6.5). Estas últimas, son un claro indicativo de que los troncos se ubican en la Formación La Ternera.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA SECTOR ALTAR DE LA VIRGEN  
(FRENTE A TRANQUE LAUTARO)

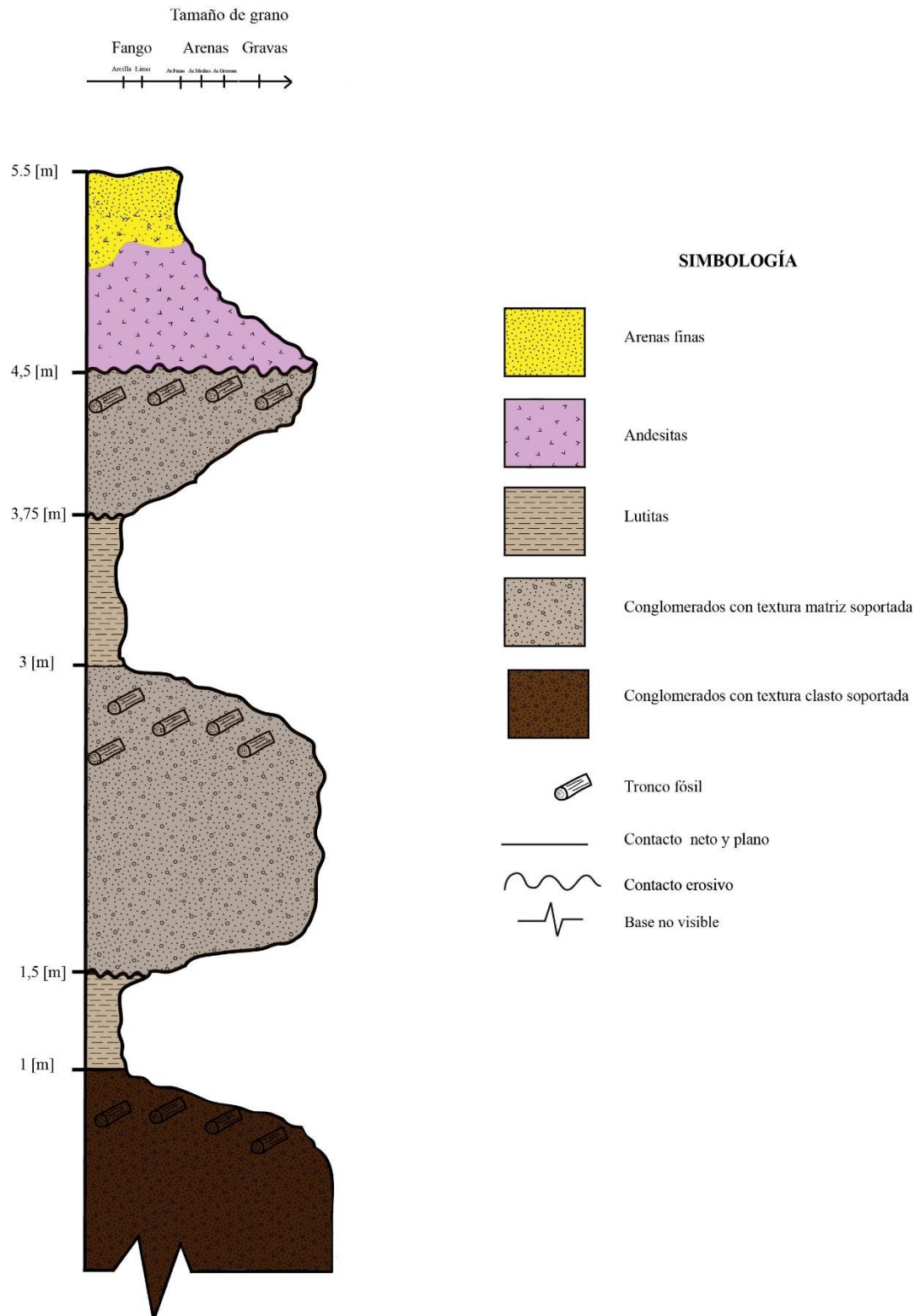

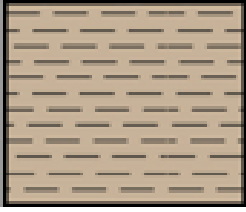
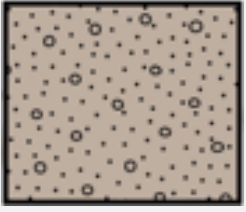

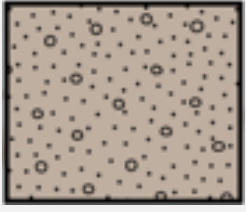

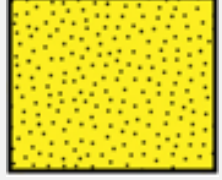


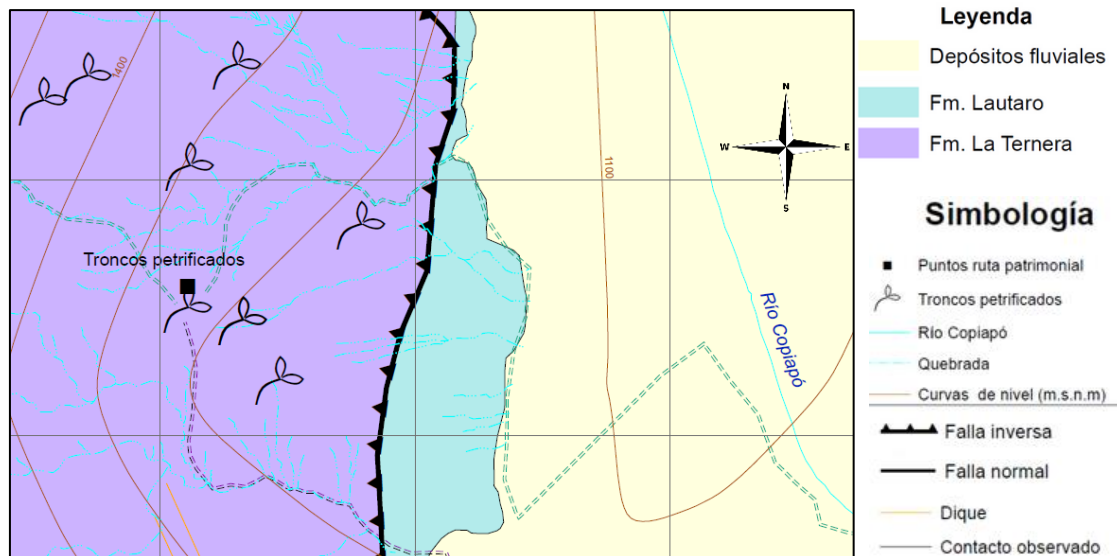
Figura 6. 5. Columna estratigráfica sector Altar de la Virgen.

| DEFINICIÓN DE FACIES PRESENTES EN COLUMNA ESTRATIGRÁFICA |   |   |
|--|---|---|
| FACIE 1  | Conglomerado con textura clasto – soportada con matriz arenosa y gradación normal. El paquete consta de un espesor de 1 metro. Base no visible.   |    |
| FACIE 2  | Paquete de 0.5 metros de lutita. Sobreyace en concordancia a la facie anterior.   |    |
| FACIE 3  | Conglomerado con textura matriz – soportada con matriz de arenas de grano medio y clastos con forma que fluctúa entre subredondeado y redondeado, además de tener gradación normal. El paquete consta de un espesor de 1.5 metros y sobreyace en concordancia a la facie anterior, aunque teniendo entre ellas un contacto levemente erosivo por la acción de los clastos. A techo se observan fragmentos de troncos petrificados.  |   |
| FACIE 4  | Paquete de 0.75 metros de lutita. Sobreyace en concordancia a la facie anterior.  |  |
| FACIE 5  | Conglomerado con textura matriz – soportada con matriz de arenas de grano medio y clastos con forma que fluctúa entre subredondeado y redondeado, además de tener gradación normal. El paquete consta de un espesor de 0.75 metros y sobreyace en concordancia a la facie anterior, aunque teniendo entre ellas un contacto levemente erosivo por la acción de los clastos. A techo se observan fragmentos de troncos petrificados. |  |

|         |  |   |
|---------|--|---|
| FACIE 6 | Paquete de andesitas de 1 metro de espesor. Sobreyace en discordancia a la facie anterior, además de generar erosión evidenciándose un contacto de tipo erosivo. |  |
| FACIE 7 | Depósitos aluviales que sobreyace a las andesitas.   |  |

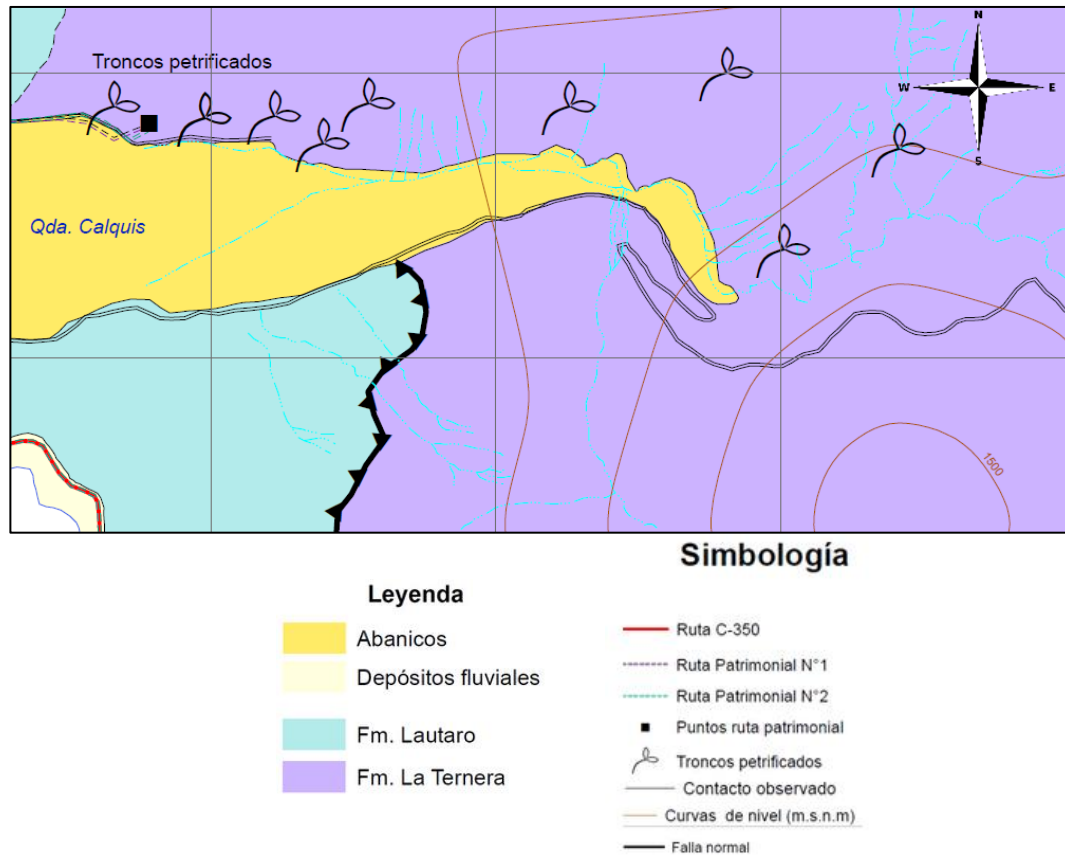
**Tabla 6. 1.** Definición de facies presentes en columna estratigráfica.

La columna estratigráfica es complementada con el mapa geológico realizado, en el que se localizan los troncos fosilizados sobre las Formaciones La Ternera y Lautaro (Figura 6.6).

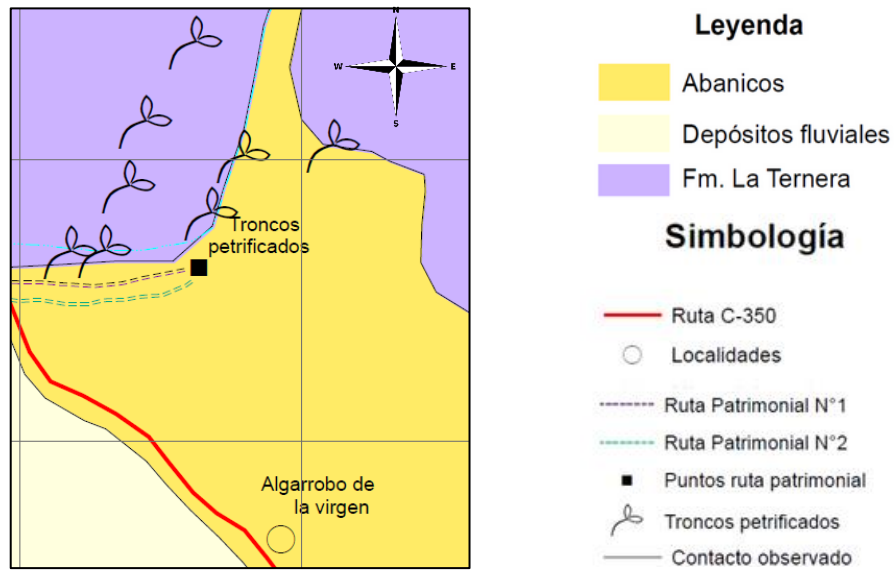


**Figura 6. 6.** Troncos petrificados ubicados en el cuadrángulo formado por las coordenadas: 6.905.500N - 6.907.000N - 398.500E y 400.000E, en cerro ubicado al NW del Tranque Lautaro. Los troncos petrificados ubicados sobre la Fm. Lautaro, fueron depositados allí producto del levantamiento del bloque por una falla inversa que afecta a la Fm. La Ternera.

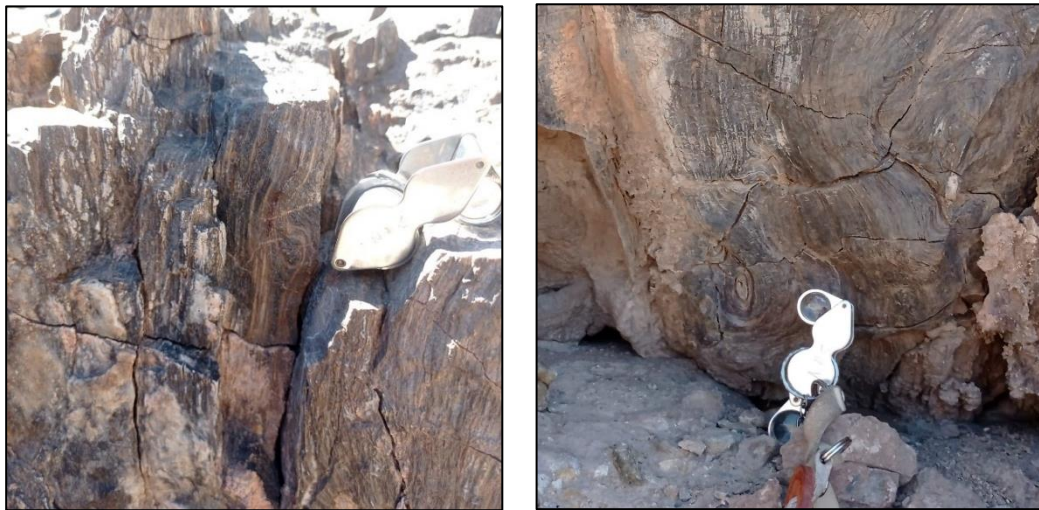
Los troncos en su mayoría se encuentran en quebradas donde hay arrastre de sedimentos aluviales, formando ladera abajo un abanico aluvial (Figura 6.7 y 6.8). Están bien preservados, visualizándose en uno de ellos lo que serían células vegetales, anillos de crecimiento, la textura rugosa de los troncos e incluso en uno de ellos se observan nudos, indicativo del crecimiento diametral del tronco envolviendo las ramas (Figura 6.9 y Figura 6.10). Se encuentran en su totalidad silicificados siendo éste el mecanismo de alteración tafonómica.



**Figura 6. 7.** Troncos petrificados ubicados en el cuadrángulo formado por las coordenadas: 6.905.500N - 6.905.500N - 402.000E y 404.000E, en quebrada Calquis al E del Tranque Lautaro.



**Figura 6. 8.** Troncos petrificados ubicados en el cuadrángulo formado por las coordenadas: 6.902.500N - 6.903.500N - 403.500E y 404.000E, en el sector Algarrobo de la virgen al SE del Tranque Lautaro.



**Figura 6. 9.** Nudos en la madera fosilizada



**Figura 6. 10.** Anillos de crecimiento en tronco silicificado. El tronco tiene alteración leve de óxidos de fierro (limolita, goethita).

Por la ubicación se determina que, los troncos que observó Darwin en su viaje por el valle de Copiapó serían los que están en las faldas de los cerros puesto que los que se encuentran en la cima del cerro aledaño al tranque, están a más de 2000 metros de altura y con difícil acceso.

Darwin en sus notas detalló:

*“Como esta parte del valle ofrece poco interés, regreso a la casa de don Benito, donde permanezco dos días con objeto de recoger en sus alrededores conchas y maderas fósiles. Se encuentran allí cantidades considerables de grandes troncos de árboles derribados, petrificados y hundidos en un conglomerado. Mido uno de esos troncos; tiene 15 pies<sup>4</sup> de circunferencia. ¿No es asombroso que cada átomo de las materias leñosas de ese inmenso cilindro haya desaparecido para dar lugar al sílice, y esto de tal forma que cada vaso, cada poro, se encuentre admirablemente reproducido? Esos árboles existían más o menos en la misma época que nuestro cretáceo inferior, perteneciendo todos a la familia de los pinos.”<sup>5</sup>*

---

<sup>4</sup> 15 pies = 4.572 metros.

<sup>5</sup> Darwin (1996).

Las coníferas, clase a la que pertenecen los pinos nombrados por Darwin, aunque datan del Carbonífero se desarrollaron más durante el Triásico Tardío y el Jurásico Temprano. La flora típica que se ha encontrado en lugares de la Fm. La Ternera son el género *Dicroidium*, ginkgoales, cycadofitas y las nombradas coníferas (Lutz *et al.*, 2001). Autores como Jensen (1976) corroboraron la presencia de los troncos incluso en sectores más altos que el Tranque Lautaro, cercano al río Pulido. Blanco (1991), en su trabajo de universidad titulado “Estudio de facies en las Formaciones La Ternera y Lautaro” identifica los mismos troncos mencionados por Darwin y Jensen, en lo que él denomina “Facies 9: correspondiente a depósitos de flujo ladera abajo” o mejor dicho abanicos aluviales. La apreciación de este autor corrobora lo observado de que los troncos están cerro abajo entre la Quebrada El Chañar y Sierra La Dichosa (Figura 6.11).

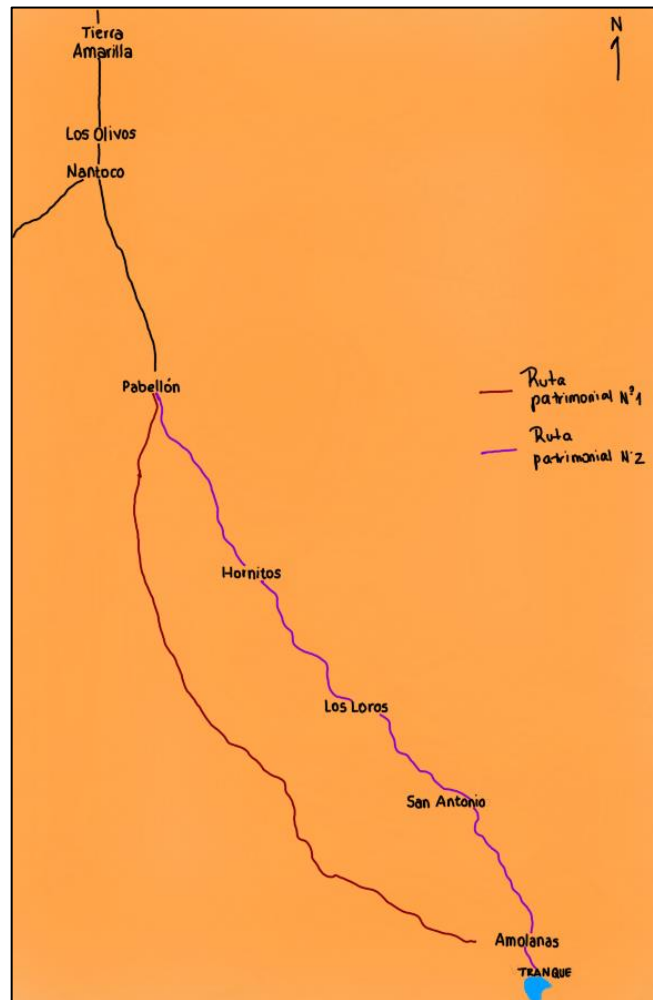


**Figura 6. 11.** Ubicación de los troncos (demarcada por los óvalos amarillos) indicada por la figura de hojas, entre la quebrada El Chañar y Sierra La Dichosa.

Los trabajos más recientes de Torres y Moisan (2018) corroboran lo visto por Darwin en su expedición por el valle de Copiapó encontrando ejemplares de troncos del orden Coniferales, Familia Araucariaceae, género *Agathoxylon* sp., además de un ejemplar del orden Ginkgoales. La presencia de los troncos corrobora las investigaciones de autores como Brea *et al.* (2005) que indican que durante el Triásico predominaba una flora tropical.

## **6.2. Ruta patrimonial asociada al viaje de Charles Darwin por el Valle de Copiapó**

La realización de las salidas a terreno realizadas durante el mes de diciembre del 2021 permitió la identificación de los lugares de interés geológico (Figura 6.12) y a su vez ya definir y trazar una propuesta de ruta patrimonial para el sector de Amolanas, en donde se ubica el Tranque Lautaro.



**Figura 6. 12.** Mapa con las rutas geopatrimoniales sugeridas.

Los lugares de interés histórico – cultural y geológico que se proponen como ruta patrimonial son:

- 1) **Puente Potrero Seco:** Pese a que hoy en día sólo se encuentra el puente, es precisamente en ese sector donde Charles Darwin llegó en primera instancia al valle de Copiapó. En el año 1835, todo ese sector pertenecía a Mr. Bingley en donde se ubicaba la Hacienda Potrero Seco (Darwin, 1835) indicada en mapas de la época como un pequeño poblado ubicado entre sector de Pabellón y el Yeso (Figura 6.13 y 6.14). Aunque no hay rastros físicos de esta hacienda debido al paso del tiempo, este sector es un buen inicio de la ruta patrimonial y así seguir la ruta de Darwin (Figura 6.15).



**Figura 6. 13.** Carta geográfica del desierto y cordilleras de Atacama que data del año 1892 (Comisión Exploradora de Atacama, 1892).





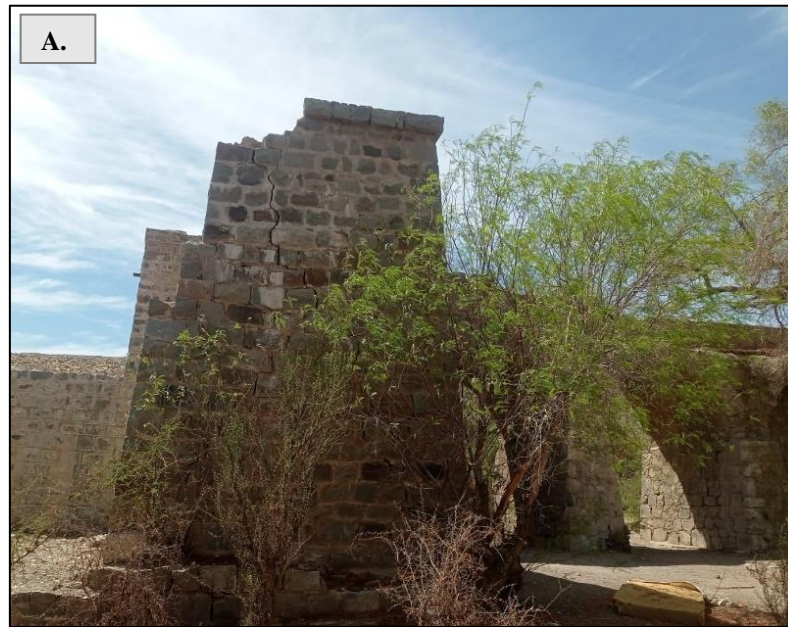
**Figura 6. 15.** Puente Potrero Seco. **A.** Vista hacia el río en Copiapó. **B.** Vista hacia el cerro desde el puente.

- 2) **Casona de Benito Cruz:** Charles Darwin continuó su viaje hacia la precordillera y cordillera del valle de Copiapó. Es así como llegó a su nuevo lugar de alojamiento, la casona de don Benito Cruz (Darwin, 1835). Fue él quien le recomendó qué ruta tomar para realizar sus investigaciones. Hoy en día esta casona se ubica en el Predio Amolanas que es propiedad privada en donde se dedican a la exportación de uvas. Pese a ello, con las debidas autorizaciones es posible entrar; la casona en sí no se encuentra bien conservada (Figura 6.16).



**Figura 6. 16.** Casona de Benito Cruz. En la imagen se observa la pieza que utilizó como dormitorio Charles Darwin.

- 3) **Acueducto Amolanas:** declarado como Monumento Histórico Nacional en el año 1983, se incluye en la ruta patrimonial por ser un testimonio del esfuerzo desplegado de las actividades mineras, además de ilustrar parte de la historia del país (Figura 6.17). Aunque su construcción fue en 1890 bajo el mandato de Agustín Edwards Ossandón quien era el nuevo dueño de la mina de cobre Amolanas, esta mina ya era explotada cuando Darwin realizó su viaje hacia la precordillera.



**Figura 6. 17.** Acueducto Amolanas. **A.** Estructura de cascada artificial por donde caía el agua.  
**B.** Puente superior por donde se realizaba el transporte de agua.

- 4) **Troncos petrificados alrededor del Tranque Lautaro:** descritos por primera vez por Charles Darwin en 1835 y posteriormente por Jensen (1976), estos troncos se encuentran aparentemente silicificados, lo que ha permitido la conservación de su estructura celular. Los troncos no solo tienen un valor científico elevado, sino también patrimonial e histórico a nivel internacional debido a la relación existente con Darwin. Desde el punto de vista geológico, los troncos fosilizados son capaces de entregar información sobre el ambiente de fosilización y mediante el análisis de sus células conservadas, conocer la flora que crecía en el valle de Copiapó en el pasado (ver Figura 6.18 y 6.19). Desde el punto de vista histórico el atractivo que genera seguir los pasos de Charles Darwin por el valle de Copiapó es evidente, no sólo para la comunidad científica sino también para la comunidad en general.



**Figura 6. 18.** Tronco petrificado ubicado en el cerro contiguo al Tranque Lautaro (Universidad de Atacama, 2018).



**Figura 6. 19.** Tronco petrificado ubicado en el viñedo Altar de la Virgen, ubicado en los cerros frente al Tranque Lautaro.

- 5) **Tranque Lautaro:** construido en 1930 para asegurar el suministro de agua en el valle de Copiapó y para eliminar probables inundaciones después de fuertes precipitaciones, el tranque se ubica a 1.130 metros de altitud y capta las aguas de del río Potro, Manflas, Jorquera, Chacay, Vizcachas del Pulido (o simplemente "Pulido") y Río Ramadillas. El tranque Lautaro tiene potencial didáctico para educar a las futuras generaciones en la protección del planeta es alto, siendo alto también su potencial científico y turístico.



**Figura 6. 20.** El tranque Lautaro es la última parada de ambas rutas patrimoniales. En su alrededor es posible observar el paisaje y, en su mayor expresión geológica, la Fm. La Ternera (Triásico) y la Fm. Lautaro Jurásico) intensamente plegadas y falladas, otorgándole un gran potencial científico y turístico.

Para la evaluación del potencial didáctico, científico y turístico de los lugares de interés geológico, se utilizaron las tablas de Maldonado (2017). Mediante la tabla para valorizar el potencial de uso educativo, turístico y riesgo de degradación es posible concluir que los troncos<sup>6</sup> tiene un potencial de uso educativo y turístico medio mientras que, el riesgo de degradación es alto. Respecto a la casona de Benito Cruz<sup>7</sup> donde se hospedó Charles Darwin durante su paso por el valle de Copiapó, la valorización de potencial de uso educativo es medio al igual que el potencial de uso turístico mientras que, el riesgo de degradación es alto. La valorización del puente Potrero Seco<sup>8</sup> a pesar de tener un buen potencial educativo no logra un buen puntaje turístico, llegando este incluso estar bajo el valor mínimo que se obtiene con esta metodología. Si del acueducto Amolanas<sup>9</sup> se trata,

---

<sup>6</sup> Ver Anexo 2

<sup>7</sup> *Ibid.*

<sup>8</sup> *Ibid.*

<sup>9</sup> *Ibid.*

ambos potenciales (educativo y turístico) son bajos, cuando en realidad este Monumento Nacional es un buen ejemplo del inicio de la industrialización de la minería en Atacama. Finalmente, la valorización del tranque Lautaro<sup>10</sup>, al igual que los troncos que se encuentran en sus inmediaciones, tiene un potencial de uso educativo y turístico medio, y un riesgo de degradación alto.

Los potenciales educativos y turísticos, pese a que en promedio tienen un nivel medio, son de importancia pues son el pie inicial para la conformación del geoturismo en el valle de Copiapó. La llegada de pasajeros a los establecimientos de alojamiento turístico es la principal forma de establecer la demanda turística en Chile. Según las cifras, la región de Atacama ha ido disminuyendo el número de llegadas de pasajeros desde el año 2012 a la fecha, lo que estaría ligado fuertemente a la crisis de la industria minera. La región depende en gran medida de esta industria para mantener las tasas de ocupación altas y al ser un sector que es inestable, la vulnerabilidad es mayor (Gobierno regional de Atacama, 2015).

|            | 2013 | 2014 |
|------------|------|------|
| Enero      | -15% | 6%   |
| Febrero    | -15% | 8%   |
| Marzo      | -14% | 21%  |
| Abril      | -30% | -3%  |
| Mayo       | -38% | -4%  |
| Junio      | -11% | -9%  |
| Julio      | -6%  | -7%  |
| Agosto     | -6%  | -15% |
| Septiembre | -2%  | -14% |
| Octubre    | 5%   | -22% |
| Noviembre  | 3%   | -6%  |
| Diciembre  | -2%  | 0%   |

**Figura 6. 21.** Variación de llegadas a establecimientos de alojamiento turístico en la región de Atacama por mes (Gobierno regional de Atacama, 2015).

---

<sup>10</sup> Ver Anexo 1

La figura 6.21, entrega varias conclusiones, por un lado que el año 2013 hubo una disminución en casi todos los meses del año, menos en octubre y noviembre, y que los meses de abril y mayo fueron los mas desfavorecidos. En tanto, los comportamientos del año 2014 demuestran que la recuperación provino de los meses estivales y que los otros, que son los que se caracterizan por una mayor recepción de pasajeros distintos al ocio, siguen teniendo bajas (Gobierno regional de Atacama, 2015).

Lo anterior es un argumento válido para que en el territorio puedan convivir la minería y el turismo como actividades económicas relevantes y que el turismo pueda adquirir una mayor importancia en el contexto regional. No solo porque es una industria más estable y sustentable en el tiempo, sino que además es uno de los pocos sectores económicos que no está por completo afectada por los cambios globales.

El geoturismo es un valor agregado que tiene el turismo en Atacama, ayudando a sustentar la economía no sólo en los meses estivales sino durante todo el año y además aumentando considerablemente los valores de la tasa de ocupación de la provincia de Copiapó, mejorando sectores económicos que no figuran en las estadísticas nacionales.

## **CAPÍTULO 7: DISCUSIÓN**

Pese a que hoy en día el valle de Copiapó tiene una flora rodeada por el desierto, durante Mesozoico la realidad era distinta. Mediante estudios de paleoclima, se ha determinado que durante el Mesozoico predominaban los climas tropicales a subtropicales, permitiendo la proliferación de vegetación y flora tanto en el tiempo como en el espacio ocupado. El clima tenía condiciones de invernadero con concentraciones relativamente altas de CO<sub>2</sub> y altas temperaturas a nivel global (Diéguez, 2003). Hacia el final de Jurásico Medio, existen evidencias del descenso de temperatura, ascendiendo constantemente generando un clima cálido y húmedo. Tal y como interpretan los autores previos, el área de estudio donde se encuentran los troncos petrificados, se asocia a llanuras aluviales de tipo *braided* o trenzado con carga de gravas y arenas, formadas a favor de una cuenca fuertemente controlada por fallas normales, lo que condiciona los rápidos cambios laterales en su espesor y tipo de facies. Este ambiente experimentaría fuertes crecidas e inundaciones que producirían el arrastre de troncos y vegetación de las zonas boscosas adyacentes a este sistema fluvial.

Actualmente, siendo el siglo XXI, se están viendo manifestaciones de cambio climático: aumento de temperatura, disminución y extensión de nieves y hielos, aumento de actividad ciclónica tropical intensa, aumento del nivel del mar, episodios de precipitación intensa, periodos/olas de calor, entre otros (Díaz, 2012). Todas esas manifestaciones de cambio climático contribuyen a la degradación de un geosítio y por ende a la pérdida de un gran patrimonio.

La metodología usada para la evaluación de los lugares de interés geológico (LIGs) es la metodología brasilera (Encalada, 2020) y, pese a ser la más utilizada a nivel sudamericano, considera la presencia de infraestructuras y desarrollo urbano en las zonas evaluadas, lo que no es coincidente con el contexto socio – económico y características rurales del sector. La metodología implica cuantificar la presencia de infraestructura evaluando hoteles, restaurantes y transporte. Considerando que el valle de Copiapó ya se considera una zona rural y no ha sido tomada en cuenta por autoridades, es imposible encontrar la presencia de hoteles. Si de restaurantes se trata, existe este tipo de servicios, pero no a gran escala sino como picadas, comida al paso o posadas que ofrecen comida. La

población en el valle de Copiapó vive espaciada entre sí, habiendo poblados de no más de 50 habitantes y otros con aproximadamente 1.064 habitantes (localidad de Los Loros). El criterio de habitantes que tiene la metodología es de habitantes por 25 km, siendo el mínimo entre 150 mil y 500 mil habitantes, no calzando con la población.

Todo eso hace que la puntuación del lugar baje, obteniendo un LIG con poca puntuación y, por ende, con bajo potencial turístico y educativo en la teoría cuando en la práctica no es así.

La región de Atacama tiene baja competitividad de la industria turística frente a otras regiones en del país, atribuibles a tres grandes causas:

1. Bajo desarrollo de la oferta turística de interés especiales: la oferta de atacama durante los últimos años se ha orientado a la recepción de personas que llegan por la industria minera, mayoritariamente. Esto provoca que la calidad de la planta turística sea baja, que los costos sean altos y que los negocios tengan visión de corto plazo. Bajo esta premisa, es importante que en la región se pueda desarrollar el turismo de intereses especiales, lo que incluye al geoturismo (Gobierno Regional de Atacama, 2015).
2. Debilidad en la gestión de marketing (empresas/destino): si bien es cierto que la región tiene literatura respecto a temáticas históricas, culturales, etnográficas, además de contar con una política regional de cultura, los resultados de esos documentos, públicos y privados, aun no se conectan con la actividad turística de manera de empaquetarla y transformarla en experiencias. Y eso es precisamente lo que ofrece el geoturismo (Gobierno Regional de Atacama, 2015).
3. Inexistencia de un marco institucional integral: en la actualidad, la actividad turística surge de manera más bien aislada y espontánea, desde el punto de vista privado, y los esfuerzos públicos; estudios y mesas de trabajo, no han tenido la continuidad apropiada, justamente por la inexistencia de un compromiso sectorial en la materia (Gobierno Regional de Atacama, 2015).

Según la Política Regional de Turismo, generada por el Gobierno regional de Atacama, en el año 2025 la región debiera estar posicionada como un destino turístico sustentable, donde el turismo de interés especiales convive con el corporativo de manera exitosa. La oferta turística habrá llegado a los mercados meta – nacional e internacional – con una propuesta de valor diferenciadora, competitiva integrada, cimentada en su principal atributo de identidad: *Atacama: El Desierto de Cordillera a Mar*. La actividad turística será reconocida por aportar al crecimiento, innovación y productividad nacional (Gobierno regional de Atacama, 2015). Siendo año 2022 y faltando tres años para el cumplimiento de la meta propuesta por las autoridades, no se ve cambio alguno en el desarrollo de productos turísticos en el Valle de Copiapó como lo indica la propuesta. El único avance considerable es el anuncio de la creación del Parque Nacional Desierto Florido, ubicado entre los sectores de llanos de Travesía y Chañarillo, ubicado a 30 km al sur de Copiapó (Conaf, 2022).

En Chile, las recomendaciones internacionales en relación al reconocimiento y conservación del geopatrimonio, han sido lentas pues la responsabilidad de conservar la componente abiótica del patrimonio natural está repartida en diversos organismo públicos como el Ministerio de Medio Ambiente (Santuarios de la Naturaleza), Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio través del Consejo de Monumentos Nacionales (yacimientos paleontológicos y algunos Monumentos Históricos), el Ministerio de Agricultura a través de la Corporación Nacional Forestal (Parques y Reservas Nacionales, y Monumento Naturales), el Ministerio de Economía a través de la Subsecretaría de Pesca y el Servicio Nacional de Pesca (administra Parques y Reservas Marinas), y el Ministerio de Bienes Nacionales (administra bienes nacionales protegidos). El año 2014 se ingresó al Congreso Nacional un Proyecto de Ley para crear el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, ambas dependientes del Ministerio del Medio Ambiente, con el objetivo de renovar la institucionalidad ambiental para asegurar la conservación del patrimonio natural y el desarrollo sostenible del país. Dentro de la ley se considera al patrimonio geológico de una manera explícita. Hasta el día de hoy, la ley sigue en segundo trámite en el Congreso, no teniendo avance alguno.

La conformación de una ruta patrimonial no incluye sólo la identificación de lugares por parte de geólogos y profesionales asociados, sino que debe incluir el interés de autoridades locales, regionales y nacionales para fomentar el cuidado por parte de la población. La preocupación, no solo implica la ordenanza de hacer un Santuario de la Naturaleza o la orden de hacer un Monumento Nacional, debe implicar involucrarse en el fomento del geoturismo local generando por consecuencia un aumento en la economía de la localidad.

Los troncos fósiles que se encuentran en las cercanías del Tranque Lautaro, al tener gran importancia histórica y científica, pueden convertirse en Monumentos Nacionales bajo la figura de Santuario de la Naturaleza. y, puesto que los troncos fósiles se encuentran en propiedad privada, es la figura legal más acertada. Las áreas protegidas privadas son una forma de conservación de la naturaleza poco conocida, pero no por ello de menor importancia, ya que es a través de este mecanismo que se ha permitido diversificar las formas de protección de la naturaleza en manos de organizaciones, fundaciones o particulares que optan por destinar sus propiedades a la conservación. Para que los troncos fosilizados que están en los entornos del Tranque Lautaro puedan optar a ser Santuario de la Naturaleza, será necesario que el Consejo de Monumentos Nacionales, de acuerdo con la Ley 17.288, modificada por la Ley 20.417, confeccione un informe sobre la propuesta de un nuevo Santuario. Las autoridades encargadas de presentar la propuesta para la creación de un Santuario de la Naturaleza, teniendo ya listo el informe por parte del Consejo de Monumentos Nacionales, debiera ser la Seremi de Economía, Fomento y Turismo y el director regional de Sernatur, para luego ser enviado al Ministerio de Medioambiente, quien a su vez lo remite a pronunciamiento por parte del consejo de ministros para la sustentabilidad. Finalmente, de ser aceptada la propuesta, los troncos fosilizados pasan a formar parte del patrimonio cultural del país bajo la figura de Santuario de la Naturaleza, siendo el encargado de su cuidado, conservación y acceso para la comunidad el particular dueño del terreno, pero siendo custodio general del área el Ministerio de Medioambiente.

Para la realización de la propuesta es necesario rellenar una guía de solicitud con datos que incluyan información del solicitante<sup>11</sup>, algún documento que logre acreditar la

---

<sup>11</sup> Ver Anexo 4.

propiedad sobre el área que se postula, pero lo más importante consiste en agregar antecedentes que fundamenten la solicitud de declaración del área como Santuario de la Naturaleza que incluya:

- Situación geográfica, caracterización de ecosistemas, presencia de especies flora y/o fauna nativa y en estado de conservación, formaciones naturales, geológicas, paleontológicas, entre otros aspectos.
- Descripción del valor ecológico, que da origen a la propuesta.
- Descripción de los valores complementarios asociados al área como naturales, culturales, sociales, turísticos, etc.

Por mencionar algunos. Con todos los antecedentes recabados y cumpliendo los antecedentes solicitados, se procede a la declaración de Santuario de la Naturaleza.

Pero como se mencionó antes, la declaración de Santuario de la Naturaleza es un medio para llegar a un fin. Y es la educación una componente importante de la definición de patrimonio geológico, donde a partir de ella que se cimentan las bases para el geoturismo. La educación es una herramienta sólida y por tanto una prioridad para conseguir la conservación de este tipo de patrimonio. Dicha educación debiera abarcar desde los niveles básicos a medios y, estudiando temas relacionados al patrimonio geológico, enlazándolos también con otros temas de interés para la población estudiantil, ayudará a descubrir el pasado del lugar en donde viven, a tener empatía por el presente y a proteger el futuro (Theodossiou-Drandaki, 2000).

## **CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES**

Los troncos fosilizados no son algo excepcional en Chile: conocidos son los troncos encontrados en Pichasca y en la Antártica. Los troncos permiten establecer qué flora existía en el pasado geológico de este país y, a su vez, ayudar a diferentes disciplinas.

Si de la geodiversidad chilena se trata, ella registra la importante evolución geológica que ha existido y existe en el margen de placas convergente con un valor científico, económico y educativo de alcance mundial.

La cantidad de lugares con interés geológico no es similar en cantidad en cada parte del valle de Copiapó. Los lugares visitados y propuestos como ruta patrimonial requieren tener un tipo de protección privilegiando siempre el estudio y la conservación del patrimonio para generaciones futuras. Es por lo anterior que, es necesario visibilizar e impregnar a la sociedad con su cultura y con la historia del valle de Copiapó para que no solo sean las instituciones públicas o privadas quienes resguarden el patrimonio, sino que ésta sea una tarea como sociedad. Respecto a la ruta patrimonial asociada al viaje de Charles Darwin se establece lo siguiente:

1. Los lugares visitados concuerdan con los relatos de Darwin publicados en sus diarios pese a que, con el paso de tiempo, estos lugares se han ido deteriorando o en algunos casos desapareciendo (Hacienda Potrero Seco). Pese a ello, aportan un valor intangible considerable al interés patrimonial de la zona.
2. Los lugares de interés geológico tienen alto valor educacional y científico y un valor medio de turismo. Este valor medio se da por falta de acceso fácil a algunos lugares, falta de restaurantes y falta de lugares de recreación y descanso. El lugar que cumple los requisitos anteriores es Tierra Amarilla, pero se encuentra a 64 Km.
3. Dos de los lugares que han sido considerados en la propuesta de ruta patrimonial, no se encuentran en buen estado como lo son la casona de Benito Cruz (hoy en día el terreno pertenece al sector privado) y el acueducto Amolanas (en manos del Consejo de Monumentos Nacionales). Es por lo anterior, que se ve necesaria realizar una propuesta más concreta sobre el

resguardo de estos lugares de interés geológico ya sea con la figura de Monumento Nacional o Santuario de la Naturaleza.

Además, la metodología usada es útil en contextos socioeconómicos, geográficos y demográficos muy diferentes de Atacama lo que implica que la evaluación de los lugares de interés geológico es sesgada y devaluada debido al escaso desarrollo urbano del valle de Copiapó, lejanía con asentamientos con mayor cantidad demográfica, entre otros. Lo anterior, implica a su vez, una devaluación geoturística de la zona. Es por lo mismo que se recomienda el resguardo de los troncos fosilizados bajo alguna figura legal, para sensibilizar a la población al cuidado del patrimonio geológico y, a su vez, fomentar el desarrollo turístico del valle de Copiapó.

## REFERENCIAS

- Aguilar, G., Riquelme, R., Martinod, J. y Darrozes, J. (2013). Rol del clima y la tectónica en la evolución geomorfológica de los Andes semiáridos chilenos entre los 27°-32° S. *Andean Geology*(40), 79-101.
- Aguirre, I., Hauser, A. y Schwerdtfeger, B. (1999). *Estudio hidrogeológico del valle del río Copiapó, segmento Embalse Lautaro-Piedra Colgada, región de Atacama*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago.
- Antonioletti, R., Schenider, H., Borcosque, J. y Zárate, E. (1972). Características climáticas del norte chico (26° a 33° latitud sur). *Instituto de investigación de Recursos Naturales*, 102. Santiago.
- Archangelsky, S. (1970). *Fundamentos de paleobotánica*. La Plata, Argentina.
- Arévalo, C. (1995). Mapa Geológico de la Hoja Copiapó, región de Atacama. *Documentos de Trabajo*(8).
- Arévalo, C. (1999). *The Coastal Cordillera/Precordillera boundary in the Tierra Amarilla Area (27°20'-27°40'S/70°05'-70°20W), Northern Chile, and structural setting Candelaria Cu-Au ore deposit*. Kingston University. Kingston-upon-thames.
- Arévalo, C. (2005). Carta Los Loros, región de Atacama. *Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica*(92), 53.
- Arévalo, C., Rivera, O., Iriarte, S. y Mpodozis, C. (1994). Cuencas extensionales y campos de calderas del Cretácico Superior Terciario Inferior en la Precordillera de Copiapó (27°-28°S), Chile. *Congreso Geológico Chileno*, 2, págs. 1288-1292. Concepción.
- Batista, E., Mussa, D., Pinheiro, F. y Rösler, O. (s.f.). Nota sobre a ocorrência de uma floresta petrificada de idade Permiana em Teresina, Piauí. *Boletim IG. Instituto de Geociências*(7).
- Benedetto, J. (2018). *El continente de Gondwana a través del tiempo: Una intriducción a la Geología Histórica*. Córdoba: Argentina.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2020). *Ley: 17.288: Legisla sobre Monumentos Nacionales; Modifica Leyes 16.617 y 16.719; dorga el Decreto de Ley 651, de 17 de octubre de 1925.* Obtenido de Ley Chile: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=28892&idParte=&idVersion=2020-02-20>

Blanco, N. (1996). *Sedimentología y ambientes deposicionales de la Formación La Ternera, Triásico Superior de la precordillera andina de Copiapó, región de Atacama, Chile.* Memoria, Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra.

Brack-Haynes, S. (1978). On the megagametophytes of two lepidodendracean cones. *Botanical Gazeta*(139), 140-146.

Brea, M., Artaba, A. y Spalletti. L. (2005). Paleovegetation studies and growth-ring analysis of a mixed Middle Triassic forest from. (R. y. Pankhurst, Ed.) *Gondwana*, 12, 77.

Brilha, J. (2005). *Património geológico e geoconservação: a geoconservação da natureza na sua vertente geológica.* Palimage.

Cade-Idepe. Consultores de ingeniería. (2004). *Cuenca del río Copiapó: diagnóstico y clasificación de los cursos de agua según objetivos de calidad.* Obtenido de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Copiapo.pdf>

Cámara de Diputadas y Diputados de Chile. (18 de Junio de 2014). *Cámara de Diputadas y Diputados.* Obtenido de Proyecto de Ley: Crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Portegidas: <https://www.camara.cl/legislacion/ProyectosDeLey/tramitacion.aspx?prmID=9819>

Carcavilla, L. (2014). Geodiversidad y patrimonio geológico. *Instituto geológico y minero de España. Edición Parques Nacionales*, 21.

Carcavilla, L. (2014). Guía práctica para entender el patrimonio geológico. *Instituto Geológico y Minero de España. Edición Enseñanzas de las ciencias de la Tierra*, 5-18.

Carcavilla, L. Belmonte, Á., Durán, J.J y Hilario, A. (2011a). Geoturismo: concepto y perspectivas en España. (A. e. Tierra, Ed.) *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, 19.1, 72-92.

Carcavilla, L., Martínez-López, J. y Durán, J.J. (2007). *Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos*. (I. G. España, Ed.) Madrid.

Ceará, G. d. (2010). *Geossítio Floresta Petrificada do Cariri*. Obtenido de GeoPark Araripe: <http://geoparkararipe.urca.br/>

Charrier, R., Pinto, L. y Rodríguez, M.P. (2007). Tectonostatigrafic evolution of the Andean Orogen in Chile. En T. y. Moreno, *Geology of Chile* (Primera ed., págs. 21-114). Inglaterra.

CIREN. (Marzo de 2021). *Características demográficas y socioeconómicas. Comuna de Tierra Amarilla*. Tierra Amarilla.

Cisternas, M. y Oviedo, L. (1979). Perfil tectónico-estratigráfico de la precordillera de Atacama y flanco occidental de la cordillera Claudio Gay en la latitud 26°40'S, región de Atacama. *Actas Congreso Chileno. 1*, págs. 79-97. N°2.

Clark, A., Mortimer, C. y Sillitoe, R. (1967). Implications of the isotopic ages of ignimbrite flows, southern Atacama Desert, Chile. *Nature*, 215(5102), 723-724.

Comisión Exploradora de Atacama. (1892). Carta jeografica del desierto i cordilleras de Atacama. (S. d. Dirección de Obras Públicas, Ed.) Santiago, Chile: Litografía Alemana. Obtenido de <http://www.bibliotecanacionaldigital.gob.cl/bnd/631/w3-article-330866.html>

Conaf. (3 de octubre de 2022). *Conaf*. Obtenido de Gobierno anuncia creación del Parque Nacional Desierto Florido: <https://www.conaf.cl/en-el-dia-nacional-del-medioambiente-gobierno-anuncia-creacion-del-parque-nacional-desierto-florido/#:~:text=oficial%20del%20%C3%A1rea,-,Se%20trata%20de%20un%20%C3%A1rea%20que%20se%20emplazar%C3%ADa%20en%20los,que%20existe%20en%20el%2>

Consejo de Monumentos Nacionales. (2015). *Santuarios de la Naturaleza de Chile*. (Ó. S. Acuña, Ed.) Santiago: Impresora Óptima S.A.

Consejo de Monumentos Nacionales. (2019). *Acueducto Amolanas*. Obtenido de Consejo de Monumentos Nacionales de Chile: <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-historicos/acueducto-amolanas>

Consejo de Monumentos Nacionales. (2019). *Establecimiento metalurgista de Viña del Cerro*. Obtenido de Consejo de Monumentos Nacionales de Chile: <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-arqueologicos/establecimiento-metalurgista-vina-cerro>

Consejo de Monumentos Nacionales. (2022). *Patrimonio niñas y niños*. Obtenido de Bosque Petrificado: <https://www.xn--patrimonioparantiasynios-7hcf.cl/juegos/rompecabezas/bosque-petrificado>

Cooke, R. y Mortimer, C. (1971). Geomorphological evidence of faulting in the southern Atacama Desert, Chile. *Géomorphol*, 20(2), 11-18.

Corvalán, J. (1974). Estratigrafía del Necomiano marino de la región al sur de Copiapó, Provincia de Atacama. *Revista Geológica de Chile*, I, 13-36.

Cúneo, N. y Panza, J. (2008). *Sitios de Interés Geológico de la República Argentina. El bosque petrificado de Madre e Hija*. (C. S. (CSIGA), Ed.) Buenos Aires.

Darwin, C. (1996). *Darwin en Chile (1832-1835). Viaje de un naturalista alrededor del mundo por Charles Darwin*. (D. y. Yudilevich, Ed.) Editorial Universitaria (Trabajo original publicado en 1839).

DataChile. (2018). *Tierra Amarilla*. Obtenido de <https://es.datachile.io/geo/atacama-3/tierra-amarilla-317>

De Lima, F., Brilha, J. y Salamuni, E. (2010). Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil. *Geoheritage*, 2, 91-99.

Delgado, E. (2011). Geodiversidad: Ausencia y oportunidades para su incorporación en el marco del nuevo sistema nacional de áreas protegidas. En M. y. Schilling (Ed.), *I Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile*, (págs. 60-63). Melipeuco.

- Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, 37(2), 227-240.
- Diéguez, C. (2003). Flora y vegetación durante el Jurásico y el Cretácico. *Monografías Jardín Botánico de Córdoba*, 11, 53-62.
- Dowling, R. K. (2009). Geotourism's contribution to local and regional development. *Jornadas sobre a funcao social museu*, (págs. 15-37).
- Dowling, R.K. (2011). Geotourism Global Growth. *Geoheritage*, 3(1), 1-13.
- Droppelmann, V. (28 de enero de 2021). *Geositios cerca de nosotros: la importancia de proteger el patrimonio geológico local*. Obtenido de Ladera Sur: <https://laderasur.com/articulo/geositios-cerca-de-nosotros-la-importancia-de-conocer-y-protger-el-patrimonio-geologico-local/>
- ECOM. (25 de julio de 2015). *Floresta Fóssil de Teresina*. Obtenido de Plano de Gestao, Conservacao e Manejo da Floresta Fóssil do Rio Poty: <http://florestafossildeteresina.blogspot.com/search/label/Parque%20Floresta%20F%C3%B3ssil>
- Efremov, I. (1940). Taphonomy: a new branch of paleontology. *The Panamerican Geologist*, 74, 81-93.
- Encalada, A. (2020). *Comparación de metodos de valoracion dde geositios propuestos y/o aplicados en la evaluación del patrimnio geologico*. Memoria de bachiller, Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingenieria y Arquitectura, Lima.
- Flament, N., Gurnis, M. y Mueller, R. (2013). A review of observations and models of dynamic topography. *Lithosphere*(5), 189-210.
- Garreaud, R.D., Vuille, M., Compagnucci, R. y Marengo, J. (2008). Present-day South American climate. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 281, 180-195.
- Geremia, F., Muscolino, E. y Randazzo, G. (2003). Geotourism as opportunity to develop a new "niche mmarketing" in Taormina area (Messina, Italy). *Geomorphological*

*sites: assessment and mapping. Workshop Proceedings, Cagliari (Italy)*, (págs. 65-66).

Gobierno de Argentina. (2019). *Parque Nacional Bosques Petrificados de Jaramillo. Provincia de Santa Cruz*. Obtenido de Argentina.gob.ar: <https://www.argentina.gob.ar/parquesnacionales/bosquespetrificados>

Gobierno Regional de Atacama. (2015). *Política regional de turismo de Atacama*. Servicio Nacional de turismo y dirección de planificación y desarrollo.

Golden Associates. (2006). *Diagnóstico de los recursos hídricos de la cuenca del río Copiapó y proposición de un modelo de explotación sustentable*. Obtenido de <https://research.csiro.au/gestion-copiapo/wp-content/uploads/sites/216/2018/01/062-2006-Diagnostico-de-recursos-hidricos-en-Copiapo-Golder.pdf>

Haq, B. (2018). Triassic Eustatic Variations Reexamined. *GSA Today*, 28. doi:<https://doi.org/10.1130/GSATG381A>

Henaó, A. y Osorio, J. (2011). *Propuesta metodológica para la identificación y clasificación del patrimonio geológico como herramienta de conservación y valoración ambiental*. Medellín, Colombia.

Henríquez, G. (2013). *Caracterización de humedales altoandinos para una gestión sustentable de las actividades productivas del sector norte del país*. Centro de Estudios de Recursos Naturales (CIREN), Santiago.

Hose, T. (2000). Geoturismo europeo. Interpretación geológica y promoción de la conservación geológica para turistas. En I. T. Sociedad Geológica de España, & D. V. Baretino (Ed.), *Towards the Balanced Management and conservation of the geological Heritage in the New Millenium* (págs. 137-160). Madrid.

Hose, T. (2011). The english origins of Geotourism (as a vehicle for Geoconservation) and their relevance to current studies. *Acta geogr. Slovenica*, 51, págs. 343-360.

Hose, T.A. (1995). Selling the story of Britain's Stone. *Environment Interpret*, 10(2), 16-17.

- INE. (29 de noviembre de 2022). INE. Obtenido de La tasa de desocupación del trimestre móvil agosto - octubre 2022 fue 6.6%: [https://regiones.ine.cl/atacama/prensa/la-tasa-de-desocupaci%C3%B3n-del-trimestre-m%C3%B3vil-agosto---octubre-2022-fue-6-6#:~:text=De%20acuerdo%20con%20la%20informaci%C3%B3n,puntos%20porcentuales\)%20en%20doce%20meses.](https://regiones.ine.cl/atacama/prensa/la-tasa-de-desocupaci%C3%B3n-del-trimestre-m%C3%B3vil-agosto---octubre-2022-fue-6-6#:~:text=De%20acuerdo%20con%20la%20informaci%C3%B3n,puntos%20porcentuales)%20en%20doce%20meses.)
- Iriarte, S. A. (1996). Mapa Geológico de la Hoja Carrera Pinto, región de Atacama. (12). (S. N. Minería, Ed.)
- Jensen, O. (1976). *Geología de las nacientes del río Copiapó, entre los 27°53' y 28°20' de latitud sur, provincia de Atacama, Chile*. Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Santiago.
- Juliá, C., Montecinos, S. y Maldonado, A. (2008). Características climáticas de la región de Atacama. En A. M. Peña, *Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: región de Atacama* (págs. 25-42). La Serena: Ediciones Universidad de La Serena.
- Köppen, W. (1948). Climatología. *Fondo de Cultura Económica, Primera Edición*, 478. México.
- Leo, R. y Barghoorn, E. (1976). Silification of Wood. *Botanical Museum Leaflets*, XXV(1).
- Lutz, A., Crisafulli, A. y Herbst, R. (2001). Contribución al estudio xiloflorístico de la Formación La Ternera, Triásico Superior (Chile). *Ameghiniana*, 1(38), 119-127.
- Maldonado, N. (2017). *Evaluación del patrimonio geológico del sector costero de la municipalidad de Caldera y propuesta de lugares de interés geológico*. Tesis de pregrado, Universidad de Atacama, Copiapó.
- Martínez, F., Arriagada, C., Peña, M., Del Real, I. y Deckart, K. (2013). The structure of the Chañarcillo Basin: An example of tectonic inversion in the Atacama region, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*(42), 1-16.

- Martini, G. (2000). Patrimonio geológico y geoturismo. En D. W. Baretino (Ed.), *Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión*, (págs. 161-170). Madrid.
- Meléndez-Hevia, G., Cardozo, J. y Carcavilla, L. (2017). Geoturismo: el paso de un recurso a un atractivo. *TerraPlural*, 11(2), 327-337.
- Miller, A. (1976). The Climate of Chile. *Climates of Central and South America*. *Elsevier Scientific Publishing Company*, 113-145.
- Ministerio de Bienes Nacionales. (2022). *Rutas Patrimoniales*. Obtenido de Rutas Patrimoniales/Territorio de todos: [https://www.bienesnacionales.cl/?page\\_id=1597#:~:text=Las%20Rutas%20Patrimoniales%20responden%20al,mejorando%20las%20alternativas%20de%20uso](https://www.bienesnacionales.cl/?page_id=1597#:~:text=Las%20Rutas%20Patrimoniales%20responden%20al,mejorando%20las%20alternativas%20de%20uso)
- Mortimer, C. (1973). The Cenozoic history of the southern Atacama Desert, Chile. *Revista Sociedad Geológica de Londres*, 129, 505-526.
- Mourgues, F. S. (2012). Propuesta de definición de los Contextos Geológicos Chilenos para la caracterización del patrimonio geológico nacional. *XIII Congreso Geológico Chileno*, (págs. 890-892). Antofagasta.
- Mpodozis, C. y. (1993). Extensional Tectonics, Cretaceous Andes, Northern Chile (27°S). *Geological Society of America Bulletin*, CV, 1462-1477.
- Museo Geominero del Instituto Geológico y Minero de España. (2019). *Museo Geominero*. Obtenido de [https://www.igme.es/Museo/pieza\\_mes/2019/julio.htm](https://www.igme.es/Museo/pieza_mes/2019/julio.htm)
- Mustoe, G. (2003). Microscopy of Silicified Wood. *Microscopy Today*, 34-37.
- Mustoe, G. (2008). Mineralogy and geochemistry of late Eocene silicified wood from Florissant Fossil Beds National Monument, Colorado. En H. y. Meyer, *Paleontology of the Upper Eocene Florissant Formation, Colorado* (págs. 127-140).
- Mustoe, G. (2017). Wood Petrification: A New View of Permineralization and Replacement. *Geosciences*, VII(4), 1-17. doi:10.3390/geosciences7040119

- Naranjo, J. y Paskoff, R. (2010). Evolución geomorfológica del desierto de Atacama entre los 26° y 33° latitud sur: revisión cronológica. *Revista Geológica de Chile*(10), 85-89.
- Naranjo, J. y Sepúlveda, P. (1980). Geología de la hoja Carrera Pinto, región de Atacama. *Instituto de investigación geológica (inédito)*, 55.
- Nikishin, A., Ziegler, P., Abbott, D., Brunet, M. y Cloetingh, S. (2002). Permo-Triassic intraplate magmatism and rifting in Eurasia: implications for mantle dynamics. *Tectonophysics*(351), 3-29.
- Orellana, L. (abril de 2013). Fauna. Región de Atacama. *Caracterización de humedales altoandinos para una gestión sustentable de las actividades productivas del sector norte del país*, 22.
- Orellana, L. (abril de 2013). Flora y Fauna. Región de Atacama. *Caracterización de humedales altoandinos para una gestión sustentable de las actividades productivas del sector norte del país*, 41.
- Paskoff, R. (1970). *Recherches géomorphologiques dans le Chili semi-aride*. (B. B. Frères, Ed.)
- Paskoff, R. (1977). Quaternary of Chile, the state of research. *Quaternary Research*, VIII(1), 2-31.
- Paskoff, R. y Naranjo, J. (1991). Les grandes étapes de l'évolution géomorphologique des Andes pendant le Cénozoïque dans le sud du désert d'Atacama (Chili). *Academia de Ciencias de París, CCLXXXIX*(16).
- Peña, M. (2015). El valle del río Copiapó: una incisión de visitas ilustres y un retrato de la evolución del conocimiento geológico. *XIV Congreso Geológico Chileno*, (págs. 581-584). La Serena.
- Pérez, J., Faúndez, L., Estades, C., Fauster, R., Lobos, G., Alzamora, A. y Demangel, D. (2009). *Áreas de relevancia ambiental vinculadas al agua en la cuenca del río Copiapó. Informe final*. Universidad de Chile, Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables.

- ProGEO. (2011). Conserving our shared geoheritage - a protocol on geoconservation principles, sustainable site use, management, fieldwork, fossil and mineral collecting. 10.
- Retallack, G., Sheldon, N., Carr, P. Fanning, M., Thompson, C., Williams M., Jones, B. y Hutton, A. (2011). Multiple Early Triassic greenhouse crises impeded recovery from Late Permian mass extinction. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology*(308), 233-251.
- Rubilar, A. (2008). Paleontología, patrimonio paleontológico y sus vínculos con la biología y geología. *Actas del I Simposio Paleontología en Chile*, (págs. 3-8). Santiago.
- Rubilar, A. (2011). El patrimonio paleontológico in situ: Enfoques de valoración y elementos para su gestión en Chile. En M. y. Schilling (Ed.), *I Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile*, (págs. 112-115).
- Schilling, M., Mourgues, A., Contreras, K., Benado, J. y Partarrieu D. (2015). Patrimonio geológico y su conservación en Chile: avances y perspectivas. *XIV Congreso Geológico Chileno*, (págs. 416-419). La Serena.
- Schopf, J. (1975). Modes of Fossil Preservation. *Review of Paleobotany and Palynology*, XX, 27-53.
- Scotese, C., Boucot, A. y Mckerrow, W. (1999). Gondwana paleogeography and paleoclimatology. *Journal of African Earth Science*(28), 99-114.
- Scott, A. (1990). Anatomical preservation of plants. En D. y. Briggs (Ed.), *Paleobiology: A synthesis* (págs. 266-270). Oxford: Blackwell Scientific.
- Segerstrom, K. (1959). Cuadrángulo Los Loros, Provincia de Atacama. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile.*, I(1), 33.
- Segerstrom, K. (1968). *Geología de las Cartas Copiapó y Ojos del Salado, Provincia de Atacama.*(24), 58. (I. d. Geológicas, Ed.)

- Segerstrom, K. y Ruiz, C. (1962). Cuadrángulo Copiapó, provincia de Atacama. *Carta Geológica de Chile, III(1)*, 115. (I. d. Geológicas, Ed.)
- Sellwood B. y Valdes, P. (2006). Mesozoic climates: General circulation models and the rock record. *Sedimentary Geology*(190), 269-287.
- Serrano, C. y Reyes, P. (2014). Paleobotánica forense: una aproximación a la tafonomía de plantas. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*(66), 25-39.
- Sillitoe, R., Mortimer, C. y Clark, A. (1968). A chronology of landform evolution and supergene minearl alteration southern Atacama Desert, Chile. *Instituto mineralógico metalógeno, LXXVII*, 166-169.
- Sociedad Geográfica de Documentación Andina. (2019). *Bosque petrificado. Monumento Natural Pichasca*. Obtenido de ANDESHANDBOOK: [https://www.andeshandbook.org/senderismo/ruta/697/Bosque\\_Petrificado/galeria](https://www.andeshandbook.org/senderismo/ruta/697/Bosque_Petrificado/galeria)
- Sociedad Geológica de Chile. (2022). *Geositios*. Obtenido de <https://geositios.cl/>
- Soffia, J. (1989). *Estratigrafía y geología estructural del área del río Jorquera, región de Copiapó*. Memoria de título, Universidad de Chile, Departamento de Geología.
- Sondor, R. y Martínez, J. (2020). *El bosque petrificado de Negritos (provincia de Talara, Departamento de Piura) - Esbozo tafonómico y propuesta de geoconservación*. Talara, Provincia de Talara, Perú.
- Spicer, R. (1989). The formation and interpretation of plant fossil assemblages. En *Advances in botanical research* (Vol. XVI, págs. 95-191). Academic Press.
- Stein, C. L. (Diciembre de 1982). Silica recrystalization in petrified wood. *Journal of Sedimentary Petrology, LII(4)*, 1277-1282.
- Strahler, A.N. y Strahler, A.H. (1989). *Geología física*. Barcelona: Ediciones Omega S.A.
- Taylor, T. Taylor, E. y Krings, M. (2009). *Paleobotany. The biology and evolution of fossil plants*. Burlington: Academic Press.

- Theodossiou-Drandaki, I. (2000). Sin educación no es posible la conservación. En D. W. Baretino (Ed.), *Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión*, (págs. 119-135). Madrid.
- Torres, T. y Moisan, P. (2018). Nuevos hallazgos de maderas fósiles en la región de Atacama, Chile. *Avances en Paleontología Chilena. Libro de resúmenes, I Congreso Chileno de Paleontología*, (pág. 226). Punta Arenas.
- Torres, T., Suárez, M. y Olivares, H. (2010). Maderas de gimnospermas del Triásico y Jurásico en la región de Atacama, norte de Chile. *II Simposio de Paleontología en Chile*, (pág. 53). Concepción.
- UICN. (2008). Conservación de la geodiversidad y del patrimonio geológico. . *World Conservation Congress*. Obtenido de <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC>
- UICN. (2012). Valorización y conservación del patrimonio geológico dentro del Programa de la UICN 2013 - 2016. *World Conservation Congress*. Obtenido de <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC>
- UNESCO. (1972). Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural. *Conferencia General N°17*, (pág. 14). París.
- Universidad de Atacama. (2018). *Bosque fósil permite indagar en la historia paleobotánica de Atacama*. Obtenido de Departamento de Química y Biología: <http://www.quimicaybiologia.uda.cl/index.php/2018/11/12/bosque-fosil-permite-indaga-en-la-historia-paleobotanica-de-atacama/>
- Vegas, J., Alberruche, E., Carcavilla, L., Díaz-Martínez, E., García-Cortés, Á., García de Domingo, A. y Ponce de León, D. (2013). *Guía metodológica para la integración del patrimonio geológico en la evaluación de impacto ambiental*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente e IGME, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, Madrid.


- Villalobos, M., Braga, J. y Pérez, A. (diciembre de 2004). El inventario andaluz de georrecursos culturales: criterios de valoración. *Revista de la Sociedad española para la defensa del patrimonio geológico y minero*(3), 9-22.
- Von Hillebrandt, A. (1971). Der Jura in der chilenisch-argentinischen Hochkordillere [25° bis 32°30'S]. *Münster.ForschGeol.Paläont.*, 20/21, 63-67.
- Von Hillebrandt, A. (1973). Neue ergebnisse über den Jura in Chile und Argentinien. *Münster.Forsch.Geol.Paläont.*(31/32), 167-199.
- Wimbledon, W. (1998). Paleontological sites conservation in Britain: facts, form, function and efficacy. *The use and conservation of paleontological sites*, XL.
- Wimbledon, W., Ischenko, A., Gerasimenko, N., Karis, L., Souminen, V., Johansson, C. y Freden, C. (2000). Geosities an IUGS initiative: science supported by conservation. En D. W. Baretino (Ed.), *Geological Hritage: its conservation and management.*, (págs. 69-94). Madrid.
- Yaya, M. (23 de febrero de 2018). *Walac Noticias*. Obtenido de Una visita a los fósiles en el Bosque Negritos: <https://walac.pe/una-visita-los-fosiles-en-el-bosque-petrificado-de-negritos/>
- Zentilli, M. (1974). *Geological evolution and metallogenic relationships in the Andes of northern Chile between 26° and 29° south*. Universidad de Queen's. Kingston.

**ANEXO 1: PATRÓN UTILIZADO PARA LA REALIZACIÓN DE LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA**

| Localidad: .....                  |           | Afloramiento: ..... |                       |                    |        |         |               |
|-----------------------------------|-----------|---------------------|-----------------------|--------------------|--------|---------|---------------|
| Sección No: .....                 |           | Fecha: .....        |                       |                    |        |         |               |
|                                   |           | Autor: .....        |                       |                    |        |         |               |
| ESCALA<br>FOTO (P)<br>MUESTRA (M) | LITOLOGÍA | ESTRUCTURAS         | Tamano de grano       |                    |        |         | OBSERVACIONES |
|                                   |           |                     | Fango<br>arc lim ar f | Arenas<br>ar m arg | Gravas | Clastos |               |
| 5                                 |           |                     |                       |                    |        |         |               |
| 4                                 |           |                     |                       |                    |        |         |               |
| 3                                 |           |                     |                       |                    |        |         |               |
| 2                                 |           |                     |                       |                    |        |         |               |
| 1                                 |           |                     |                       |                    |        |         |               |
| 0,5                               |           |                     |                       |                    |        |         |               |
| 0 m                               |           |                     |                       |                    |        |         |               |

## ANEXO 2: FICHAS DESCRIPTIVAS DE LOS LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO


### Lugar de Interés Geológico N°1

| LIG   |                       |                |  |   |                      |             |      |
|---|-----------------------|----------------|--|---|----------------------|-------------|------|
| Nombre  | Puente potrero Seco   |                | Interés Principal  |   | Histórico – cultural |             |      |
| Ubicación   | Sector Amolanas       |                | Distancia Población más cercana:                                     |   | 2,45 kilómetros      |             |      |
| Coordenadas   |                       | X              |  |   | Y                    |             |      |
|   |                       | 378.884 m E    |  |   | 6.937.628 m S        |             |      |
| VALOR INTRÍNSECO  |                       |                |  |   |                      |             |      |
| Diversidad  | Único                 | Mejor ejemplo  |  | Rareza  | Otros                |             |      |
| Edad Geológica  | Proterozoico          | Paleozoico     |  | Mesozoico   | Cenozoico            | Cuaternario |      |
| Procesos Geológicos   | Endógeno              | Exógeno        |  |   |                      |             |      |
| Marco Geológico   | Interés Internacional |                | Interés nacional   | Interés Regional  | Interés Local        |             |      |
| Valor Científico  | Nulo                  | Bajo           |  | Medio   | Alto                 | Muy Alto    |      |
| Interés Geológico   | Cárstico              | Estratigráfico | Geomorfológico   |   | Litoral              | Tectónico   |      |
|   | Económico             | Fluvial        | Hidrogeológico   |   | Paleontológico       |             |      |
|   | Eólico                | Geo - cultural |  | Lacustre  |                      | Petrológico |      |
| POTENCIAL DE USO  |                       |                |  |   |                      |             |      |
| Potencial Educativo   | Alto                  |                | Medio  |   | Bajo                 |             |      |
| Potencial Turístico   | Alto                  |                | Medio  |   | Bajo                 |             |      |
| Relación con el medio natural   | Fauna                 |                | Flora  | Cultura   | No tiene             |             |      |
| Reconocimiento de la comunidad  | Muy conocido          |                | Poco conocido  |   | Desconocido          |             |      |
| Tipo de administración responsable  | Estado                |                | Municipio  | Privado   | Área protegida       | No posee    |      |
| Acceso  | Vehículo 4x4          |                | Vehículo normal  |   | Bus                  | A pie       |      |
| VULNERABILIDAD  |                       |                | INFRAESTRUCTURA  |   |                      |             |      |
|   | Sí                    | No             | Cual   |   | Bueno                | Regular     | Malo |
| Seguridad   |                       |                |  | Transporte  |                      |             |      |
| Deterioro   |                       |                | Pérdida completa de la estructura original de la casa de Mr. Bingley | Hoteles   |                      |             |      |
| Amenazas  |                       |                | Crecidas del río   | Restaurantes  |                      |             |      |
| FOTO/ESQUEMA  |                       |                |  | DESCRIPCIÓN   |                      |             |      |
|  |                       |                |  | Sector en donde 1835 se ubicaba la casa del hacendado ingles Mr. Bingley. Actualmente no se conserva ninguna estructura en ese sector, con excepción del puente perteneciente a la ruta C-350. Pese a ellos el lugar es relevante pues fue el inicio del viaje de Charles Darwin hacia el valle de Copiapó. |                      |             |      |

| <b>POTENCIAL DE USO DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS</b>      |               |            |            |               |            |            |
|---|---------------|------------|------------|---------------|------------|------------|
| Criterios   | Uso Educativo |            |            | Uso Turístico |            |            |
|   | Puntos        | Peso       | Valoración | Puntos        | Peso       | Valoración |
| Representatividad                                     | 1             | 5          | 5          | -             | -          | -          |
| Calidad de la exposición                              | 1             | 10         | 10         | 1             | 5          | 5          |
| La diversidad a nivel regional                        | 1             | 5          | 5          | -             | -          | -          |
| Potencial educativo                                   | 4             | 30         | 120        | -             | -          | -          |
| Logística   | 1             | 15         | 15         | 1             | 10         | 10         |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km              | 1             | 10         | 10         | 1             | 5          | 5          |
| Accesibilidad   | 3             | 10         | 30         | 3             | 10         | 30         |
| Vulnerabilidades causadas por las actividades humanas | 3             | 5          | 15         | 3             | 15         | 45         |
| Asociación con otros valores                          | 1             | 5          | 5          | 1             | 10         | 10         |
| Monumentalidad  | 1             | 5          | 5          | 1             | 15         | 15         |
| Potencial recreativo                                  | -             | -          | -          | 4             | 20         | 20         |
| Entorno social  | -             | -          | -          | 1             | 5          | 5          |
| Proximidad a las instalaciones recreativas            | -             | -          | -          | 1             | 5          | 5          |
| <b>Total</b>  | <b>17</b>     | <b>100</b> | <b>220</b> | <b>17</b>     | <b>100</b> | <b>150</b> |

| <b>RIESGO DE DEGRADACIÓN DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS</b>   |           |            |            |
|---|-----------|------------|------------|
| Criterios   | Puntos    | Peso       | Valoración |
| Vulnerabilidad causada por factores naturales o humanos | 4         | 35         | 140        |
| Proximidad a las áreas potenciales dañinas              | 1         | 20         | 20         |
| Estado de protección actual                             | 4         | 20         | 80         |
| Accesibilidad   | 3         | 15         | 45         |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km                | 1         | 10         | 10         |
| <b>Total</b>  | <b>13</b> | <b>100</b> | <b>295</b> |

## Lugar de Interés Geológico N°2

| LIG   |                       |                                  |                  |  |                      |             |      |
|---|-----------------------|----------------------------------|------------------|--|----------------------|-------------|------|
| Nombre  | Casona                | Interés Principal                |                  |  | Histórico – cultural |             |      |
| Ubicación   | Sector Amolanas       | Distancia Población más cercana: |                  |  | 500 [m] aprox.       |             |      |
| Coordenadas   |                       | X                                |                  |  | Y                    |             |      |
|   |                       | 400.993,2 m E                    |                  |  | 6.908.852 m S        |             |      |
| VALOR INTRÍNSECO  |                       |                                  |                  |  |                      |             |      |
| Diversidad  | Único                 | Mejor ejemplo                    |                  | Rareza   | Otros                |             |      |
| Edad Geológica  | Proterozoico          | Paleozoico                       |                  | Mesozoico  | Cenozoico            | Cuaternario |      |
| Procesos Geológicos   | Endógeno              | Exógeno                          |                  |  |                      |             |      |
| Marco Geológico   | Interés Internacional |                                  | Interés nacional | Interés Regional   | Interés Local        |             |      |
| Valor Científico  | Nulo                  | Bajo                             |                  | Medio  | Alto                 | Muy Alto    |      |
| Interés Geológico   | Cárstico              | Estratigráfico                   | Geomorfológico   |  | Litoral              | Tectónico   |      |
|   | Económico             | Fluvial                          | Hidrogeológico   |  | Paleontológico       |             |      |
|   | Eólico                | Geo - cultural                   |                  | Lacustre   | Petroológico         |             |      |
| POTENCIAL DE USO  |                       |                                  |                  |  |                      |             |      |
| Potencial Educativo   | Alto                  |                                  | Medio            |  | Bajo                 |             |      |
| Potencial Turístico   | Alto                  |                                  | Medio            |  | Bajo                 |             |      |
| Relación con el medio natural   | Fauna                 |                                  | Flora            | Cultura  | No tiene             |             |      |
| Reconocimiento de la comunidad  | Muy conocido          |                                  | Poco conocido    |  | Desconocido          |             |      |
| Tipo de administración responsable  | Estado                |                                  | Municipio        | Privado  | Área protegida       | No posee    |      |
| Acceso  | Vehículo 4x4          |                                  | Vehículo normal  |  | Bus                  | A pie       |      |
| VULNERABILIDAD  |                       |                                  |                  | INFRAESTRUCTURA  |                      |             |      |
|   | S                     | No                               | Cual             |  | Bueno                | Regular     | Malo |
| Seguridad   |                       |                                  | Privada          | Transporte   |                      |             |      |
| Deterioro   |                       |                                  | Rotura de adobe  | Hoteles  |                      |             |      |
| Amenazas  |                       |                                  |                  | Restaurantes   |                      |             |      |
| FOTO/ESQUEMA  |                       |                                  |                  | DESCRIPCIÓN  |                      |             |      |
|  |                       |                                  |                  | <p>La casona en sí está ubicada en el sector Amolanas, en un terreno agrícola privado. La infraestructura está deteriorada por el paso del tiempo y el poco cuidado.</p> |                      |             |      |

| <b>POTENCIAL DE USO DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS</b>      |               |            |            |               |            |            |
|---|---------------|------------|------------|---------------|------------|------------|
| Criterios   | Uso Educativo |            |            | Uso Turístico |            |            |
|   | Puntos        | Peso       | Valoración | Puntos        | Peso       | Valoración |
| Representatividad                                     | 2             | 5          | 100        | -             | -          | -          |
| Calidad de la exposición                              | 2             | 10         | 20         | 4             | 5          | 20         |
| La diversidad a nivel regional                        | 2             | 5          | 10         | -             | -          | -          |
| Potencial educativo                                   | 4             | 30         | 120        | -             | -          | -          |
| Logística   | 1             | 15         | 15         | 1             | 10         | 10         |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km              | 2             | 10         | 20         | 1             | 5          | 5          |
| Accesibilidad   | 3             | 10         | 30         | 3             | 10         | 30         |
| Vulnerabilidades causadas por las actividades humanas | 1             | 5          | 5          | 1             | 15         | 15         |
| Asociación con otros valores                          | 2             | 5          | 100        | 5             | 10         | 50         |
| Monumentalidad  | 1             | 5          | 5          | 1             | 15         | 15         |
| Potencial recreativo                                  | -             | -          | -          | 4             | 20         | 80         |
| Entorno social  | -             | -          | -          | 2             | 5          | 10         |
| Proximidad a las instalaciones recreativas            | -             | -          | -          | 2             | 5          | 10         |
| <b>Total</b>  | <b>22</b>     | <b>100</b> | <b>245</b> |               | <b>100</b> | <b>245</b> |

| <b>RIESGO DE DEGRADACIÓN DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS</b>   |           |            |            |
|---|-----------|------------|------------|
| Criterios   | Puntos    | Peso       | Valoración |
| Vulnerabilidad causada por factores naturales o humanos | 4         | 35         | 140        |
| Proximidad a las áreas potenciales dañinas              | 4         | 20         | 80         |
| Estado de protección actual                             | 3         | 20         | 60         |
| Accesibilidad   | 3         | 15         | 45         |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km                | 1         | 10         | 10         |
| <b>Total</b>  | <b>15</b> | <b>100</b> | <b>335</b> |


### Lugar de Interés Geológico N°3

| LIG   |                       |   |  |   |                  |             |      |
|---|-----------------------|---|--|---|------------------|-------------|------|
| <b>Nombre</b>   | Acueducto Amolanas    | <b>Interés Principal</b>                |  |   | Histórico        |             |      |
| <b>Ubicación</b>  | Sector Amolanas       | <b>Distancia Población más cercana:</b> |  |   | 1.86 km aprox.   |             |      |
| <b>Coordenadas</b>  |                       | <b>X</b>                                |  |   | <b>Y</b>         |             |      |
|   |                       | 401.580,62 m E                          |  |   | 6.905.229,13 m S |             |      |
| VALOR INTRÍNSECO  |                       |   |  |   |                  |             |      |
| Diversidad  | Único                 | Mejor ejemplo                           |  | Rareza  | Otros            |             |      |
| Edad Geológica  | Proterozoico          | Paleozoico                              |  | Mesozoico   | Cenoicoico       | Cuaternario |      |
| Procesos Geológicos   | Endógeno              | Exógeno                                 |  |   |                  |             |      |
| Marco Geológico   | Interés Internacional |   | Interés nacional   | Interés Regional  | Interés Local    |             |      |
| Valor Científico  | Nulo                  | Bajo                                    |  | Medio   | Alto             | Muy Alto    |      |
| Interés Geológico   | Cárstico              | Estratigráfico                          | Geomorfológico   |   | Litoral          | Tectónico   |      |
|   | Económico             | Fluvial                                 | Hidrogeológico   |   | Paleontológico   |             |      |
|   | Eólico                | Geo - cultural                          |  | Lacustre  |                  | Petrológico |      |
| POTENCIAL DE USO  |                       |   |  |   |                  |             |      |
| Potencial Educativo   | Alto                  |   | Medio  |   | Bajo             |             |      |
| Potencial Turístico   | Alto                  |   | Medio  |   | Bajo             |             |      |
| Relación con el medio natural   | Fauna                 |   | Flora  | Cultura   | No tiene         |             |      |
| Reconocimiento de la comunidad  | Muy conocido          |   | Poco conocido  |   | Desconocido      |             |      |
| Tipo de administración responsable  | Estado                |   | Municipio  | Privado   | Área protegida   | No posee    |      |
| Acceso  | Vehículo 4x4          |   | Vehículo normal  |   | Bus              | A pie       |      |
| VULNERABILIDAD  |                       |   |  | INFRAESTRUCTURA   |                  |             |      |
|   | Sí                    | No                                      | Cual   |   | Bueno            | Regular     | Malo |
| Seguridad   |                       |   |  | Transporte  |                  |             |      |
| Deterioro   |                       |   | Rallado con pintura, basura domiciliaria   | Hoteles   |                  |             |      |
| Amenazas  |                       |   | Pérdida del patrimonio producto de la falta de cuidado y conocimiento de la importancia de éste. | Restaurantes  |                  |             |      |
| FOTO/ESQUEMA  |                       |   |  | DESCRIPCIÓN   |                  |             |      |
|  |                       |   |  | <p>El acueducto de Amolanas es uno de los primeros indicios de la utilización de agua para producir energía eléctrica para el funcionamiento de la planta faenadora de la Planta Lautaro y así mejorar la extracción de mineral de buena ley. El acueducto se mantuvo operativo hasta 1928, año en que fue desconectado debido a la construcción del Embalse Lautaro.</p> <p>Fue declarado Monumento Histórico en 1983 por constituir un testimonio del esfuerzo desplegado en las actividades mineras e ilustrar la historia de Chile.</p> |                  |             |      |

| <b>POTENCIAL DE USO DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS</b>      |               |            |            |               |            |            |
|---|---------------|------------|------------|---------------|------------|------------|
| Criterios   | Uso Educativo |            |            | Uso Turístico |            |            |
|   | Puntos        | Peso       | Valoración | Puntos        | Peso       | Valoración |
| Representatividad                                     | 1             | 5          | 5          | -             | -          |            |
| Calidad de la exposición                              | 4             | 10         | 40         | 4             | 5          | 20         |
| La diversidad a nivel regional                        | 2             | 5          | 10         | -             | -          | -          |
| Potencial educativo                                   | 4             | 30         | 120        | -             | -          | -          |
| Logística   | 1             | 15         | 15         | 1             | 10         | 10         |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km              | 1             | 10         | 10         | 1             | 5          |            |
| Accesibilidad   | 3             | 10         | 30         | 3             | 10         | 30         |
| Vulnerabilidades causadas por las actividades humanas | 1             | 5          | 5          | 1             | 15         | 15         |
| Asociación con otros valores                          | 1             | 5          | 5          | 1             | 10         | 10         |
| Monumentalidad  | 1             | 5          | 5          | 1             | 15         | 15         |
| Potencial recreativo                                  | -             | -          | -          | 4             | 20         | 80         |
| Entorno social  | -             | -          | -          | 1             | 5          | 5          |
| Proximidad a las instalaciones recreativas            | -             | -          | -          | 1             | 5          | 5          |
| <b>Total</b>  | <b>19</b>     | <b>100</b> | <b>245</b> | <b>18</b>     | <b>100</b> | <b>190</b> |

| <b>RIESGO DE DEGRADACIÓN DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS</b>   |           |            |            |
|---|-----------|------------|------------|
| Criterios   | Puntos    | Peso       | Valoración |
| Vulnerabilidad causada por factores naturales o humanos | 4         | 35         | 140        |
| Proximidad a las áreas potenciales dañinas              | 1         | 20         | 20         |
| Estado de protección actual                             | 2         | 20         | 40         |
| Accesibilidad   | 3         | 15         | 45         |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km                | 1         | 10         | 10         |
| <b>Total</b>  | <b>11</b> | <b>100</b> | <b>255</b> |


**Lugar de Interés Geológico N°4**

| LIG   |                       |                                  |   |                   |                         |      |
|---|-----------------------|----------------------------------|---|-------------------|-------------------------|------|
| Nombre  | Troncos petrificados  | Interés Principal                |   |                   | Científico – histórico  |      |
| Ubicación   | Sector Amolanas       | Distancia Población más cercana: |   |                   | 1.5 km aprox.           |      |
| Coordenadas   |                       | X                                |   | Y                 |                         |      |
|   |                       | 403.646,1 m E                    |   | 6.902.947, 30 m S |                         |      |
| VALOR INTRÍNSECO  |                       |                                  |   |                   |                         |      |
| Diversidad  | Único                 | Mejor ejemplo                    |   | Rareza            | Otros                   |      |
| Edad Geológica  | Proterozoico          | Paleozoico                       |   | Mesozoico         | Cenozoico Cuaternario   |      |
| Procesos Geológicos   | Endógeno              | Exógeno                          |   |                   |                         |      |
| Marco Geológico   | Interés Internacional |                                  | Interés nacional  | Interés Regional  | Interés Local           |      |
| Valor Científico  | Nulo                  | Bajo                             |   | Medio             | Alto Muy Alto           |      |
| Interés Geológico   | Cárstico              | Estratigráfico                   | Geomorfológico  |                   | Litoral Tectónico       |      |
|   | Económico             | Fluvial                          | Hidrogeológico  |                   | Paleontológico          |      |
|   | Eólico                | Geo - cultural                   |   | Lacustre          | Petrológico             |      |
| POTENCIAL DE USO  |                       |                                  |   |                   |                         |      |
| Potencial Educativo   | Alto                  |                                  | Medio   |                   | Bajo                    |      |
| Potencial Turístico   | Alto                  |                                  | Medio   |                   | Bajo                    |      |
| Relación con el medio natural   | Fauna                 |                                  | Flora   | Cultura           | No tiene                |      |
| Reconocimiento de la comunidad  | Muy conocido          |                                  | Poco conocido   |                   | Desconocido             |      |
| Tipo de administración responsable  | Estado                |                                  | Municipio   | Privado           | Área protegida No posee |      |
| Acceso  | Vehículo 4x4          |                                  | Vehículo normal   |                   | Bus A pie               |      |
| VULNERABILIDAD  |                       |                                  | INFRAESTRUCTURA   |                   |                         |      |
|   | Sí                    | No                               | Cual  | Bueno             | Regular                 | Malo |
| Seguridad   |                       |                                  | Privada   | Transporte        |                         |      |
| Deterioro   |                       |                                  | Industria fruticultura  | Hoteles           |                         |      |
| Amenazas  |                       |                                  | Aluviones   | Restaurantes      |                         |      |
| FOTO/ESQUEMA  |                       |                                  | DESCRIPCIÓN   |                   |                         |      |
|  |                       |                                  | <p>Los troncos están bien preservados: conservan nudos, rugosidad del tronco y textura. La ubicación de ellos (en quebradas) los hace propensos a ser arrastrados por aluviones además de estar cercanos a viñedos que, al expandirse, pudieran hacerlos desaparecer.</p> |                   |                         |      |

| <b>POTENCIAL DE USO DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS</b>      |               |            |            |               |            |            |
|---|---------------|------------|------------|---------------|------------|------------|
| Criterios   | Uso Educativo |            |            | Uso Turístico |            |            |
|   | Puntos        | Peso       | Valoración | Puntos        | Peso       | Valoración |
| Representatividad                                     | 3             | 5          | 15         | -             | -          | -          |
| Calidad de la exposición                              | 4             | 10         | 40         | 4             | 5          | 20         |
| La diversidad a nivel regional                        | 4             | 5          | 20         | -             | -          | -          |
| Potencial educativo                                   | 3             | 30         | 90         | -             | -          | -          |
| Logística   | 1             | 15         | 15         | 1             | 10         | 10         |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km              | 2             | 10         | 20         | 1             | 5          | 5          |
| Accesibilidad   | 1             | 10         | 10         | 1             | 10         | 10         |
| Vulnerabilidades causadas por las actividades humanas | 3             | 5          | 15         | 3             | 15         | 45         |
| Asociación con otros valores                          | 4             | 5          | 20         | 4             | 10         | 40         |
| Monumentalidad  | 1             | 5          | 5          | 1             | 15         | 15         |
| Potencial recreativo                                  | -             | -          | -          | 4             | 20         | 80         |
| Entorno social  | -             | -          | -          | 2             | 5          | 10         |
| Proximidad a las instalaciones recreativas            | -             | -          | -          | 2             | 5          | 10         |
| <b>Total</b>  | <b>26</b>     | <b>100</b> | <b>250</b> | <b>23</b>     | <b>100</b> | <b>245</b> |

| <b>RIESGO DE DEGRADACIÓN DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS</b>   |           |            |             |
|---|-----------|------------|-------------|
| Criterios   | Puntos    | Peso       | Valoración  |
| Vulnerabilidad causada por factores naturales o humanos | 3         | 35         | 105         |
| Proximidad a las áreas potenciales dañinas              | 3         | 20         | 60          |
| Estado de protección actual                             | 3         | 20         | 60          |
| Accesibilidad   | 1         | 15         | 5           |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km                | 1         | 10         | 10          |
| <b>Total</b>  | <b>11</b> | <b>100</b> | <b>1100</b> |

**Lugar de Interés Geológico N°5**

| LIG   |                       |                |   |                   |                         |
|---|-----------------------|----------------|---|-------------------|-------------------------|
| Nombre  | Tranque Lautaro       |                | Interés Principal   |                   | Turístico – educativo   |
| Ubicación   | Sector Amolanas       |                | Distancia Población más cercana:  |                   | 1 km aprox.             |
| Coordenadas   |                       | X              |   | Y                 |                         |
|   |                       | 401.712,87 m E |   | 6.904.551, 37 m S |                         |
| VALOR INTRÍNSECO  |                       |                |   |                   |                         |
| Diversidad  | Único                 | Mejor ejemplo  |   | Rareza            | Otros                   |
| Edad Geológica  | Proterozoico          | Paleozoico     |   | Mesozoico         | Cenozoico Cuaternario   |
| Procesos Geológicos   | Endógeno              | Exógeno        |   |                   |                         |
| Marco Geológico   | Interés Internacional |                | Interés nacional  | Interés Regional  | Interés Local           |
| Valor Científico  | Nulo                  | Bajo           |   | Medio             | Alto Muy Alto           |
| Interés Geológico   | Cárstico              | Estratigráfico | Geomorfológico  |                   | Litoral Tectónico       |
|   | Económico             | Fluvial        | Hidrogeológico  |                   | Paleontológico          |
|   | Eólico                | Geo - cultural |   | Lacustre          | Petrológico             |
| POTENCIAL DE USO  |                       |                |   |                   |                         |
| Potencial Educativo   | Alto                  |                | Medio   |                   | Bajo                    |
| Potencial Turístico   | Alto                  |                | Medio   |                   | Bajo                    |
| Relación con el medio natural   | Fauna                 |                | Flora   | Cultura           | No tiene                |
| Reconocimiento de la comunidad  | Muy conocido          |                | Poco conocido   |                   | Desconocido             |
| Tipo de administración responsable  | Estado                |                | Municipio   | Privado           | Área protegida No posee |
| Acceso  | Vehículo 4x4          |                | Vehículo normal   |                   | Bus A pie               |
| VULNERABILIDAD  |                       |                | INFRAESTRUCTURA   |                   |                         |
|   | S                     | No             | Cual  | Bueno             | Regular Malo            |
| Seguridad   |                       |                | Privada   | Transporte        |                         |
| Deterioro   |                       |                |   | Hoteles           |                         |
| Amenazas  |                       |                | Sequia  | Restaurantes      |                         |
| FOTO/ESQUEMA  |                       |                | DESCRIPCIÓN   |                   |                         |
|  |                       |                | <p>El tranque Lautaro es el reservorio de agua que abastece de este recurso a todo el valle de Copiapó. El camino del tranque no está pavimentado. El tranque no está impermeabilizado, perdiendo agua por infiltración y evapotranspiración.</p> |                   |                         |

| <b>POTENCIAL DE USO DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS</b>      |               |            |            |               |            |            |
|---|---------------|------------|------------|---------------|------------|------------|
| Criterios   | Uso Educativo |            |            | Uso Turístico |            |            |
|   | Puntos        | Peso       | Valoración | Puntos        | Peso       | Valoración |
| Representatividad                                     | 2             | 5          | 10         | -             | -          | -          |
| Calidad de la exposición                              | 4             | 10         | 40         | 4             | 5          | 20         |
| La diversidad a nivel regional                        | 2             | 5          | 10         | -             | -          | -          |
| Potencial educativo                                   | 4             | 30         | 120        | -             | -          | -          |
| Logística   | 1             | 15         | 15         | 1             | 10         | 10         |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km              | 1             | 10         | 10         | 5             | 5          | 5          |
| Accesibilidad   | 4             | 10         | 40         | 4             | 10         | 40         |
| Vulnerabilidades causadas por las actividades humanas | 2             | 5          | 10         | 2             | 15         | 30         |
| Asociación con otros valores                          | 3             | 5          | 15         | 3             | 10         | 30         |
| Monumentalidad  | 1             | 5          | 5          | 1             | 15         | 15         |
| Potencial recreativo                                  | -             | -          | -          | 4             | 20         | 80         |
| Entorno social  | -             | -          | -          | 1             | 5          | 5          |
| Proximidad a las instalaciones recreativas            | -             | -          | -          | 2             | 5          | 10         |
| <b>Total</b>  | <b>24</b>     | <b>100</b> | <b>275</b> | <b>27</b>     | <b>100</b> | <b>245</b> |

| <b>RIESGO DE DEGRADACIÓN DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS</b>   |           |            |            |
|---|-----------|------------|------------|
| Criterios   | Puntos    | Peso       | Valoración |
| Vulnerabilidad causada por factores naturales o humanos | 3         | 35         | 175        |
| Proximidad a las áreas potenciales dañinas              | 1         | 20         | 20         |
| Estado de protección actual                             | 2         | 20         | 40         |
| Accesibilidad   | 4         | 15         | 60         |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km                | 1         | 10         | 10         |
| <b>Total</b>  | <b>11</b> | <b>100</b> | <b>305</b> |

| <b>CLASIFICACIÓN DE LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO</b> |                            |                            |                       |               |                  |        |
|--|----------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------|------------------|--------|
| LIG  | Potencial de Uso Educativo | Potencial de Uso Turístico | Riesgo de Degradación | Puntaje final | Categoría        | Color  |
| Puente Potrero Seco                                  | 220                        | 150                        | 295                   | 75            | *Fuera de rango* |        |
| Casona Benito Cruz                                   | 245                        | 245                        | 110                   | 155           | Bajo             | Red    |
| Acueducto Amolanas                                   | 245                        | 190                        | 255                   | 180           | Bajo             | Red    |
| Troncos Petrificados                                 | 250                        | 245                        | 110                   | 385           | Alto             | Green  |
| Tranque Lautaro                                      | 275                        | 245                        | 305                   | 215           | Medio            | Yellow |

**ANEXO 3: DOCUMENTACIÓN ORIGINAL DE FICHAS DESCRIPTIVAS DE LOS LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO**

| LIG                                |                                       |                  |                                  |                                 |                         |      |
|------------------------------------|---------------------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|------|
| Nombre                             | Troncos petrificados                  |                  | Interés Principal                | Científico - Histórico          |                         |      |
| Ubicación                          | Alrededor de Tranque Lautaro; Andenes |                  | Distancia Población más cercana: |                                 |                         |      |
| Coordenadas                        | X<br>403646.91 m E                    |                  | Y<br>6902947.30 m S              |                                 |                         |      |
| VALOR INTRÍNSECO                   |                                       |                  |                                  |                                 |                         |      |
| Diversidad                         | Único                                 | mejor ejemplo    |                                  | (Rareza)                        | otros                   |      |
| Edad Geológica                     | Proterozoico                          | Paleozoico       |                                  | (Mesozoico)                     | Cenozoico Cuaternario   |      |
| Procesos Geológicos                | Endógeno                              | (Exógeno)        |                                  |                                 |                         |      |
| Marco Geológico                    | (Interés Internacional)               | Interés Nacional |                                  | Interés Regional Interés Local  |                         |      |
| Valor Científico                   | Nulo                                  | Bajo             |                                  | Medio                           | Alto (Muy Alto)         |      |
| Interés Geológico                  | Cárstico                              | (Estratigráfico) |                                  | (Geomorfológico)                |                         |      |
|                                    | Económico                             | Fluvial          |                                  | Hidrogeológico (Paleontológico) |                         |      |
|                                    | Eólico                                | (Geo-cultural)   |                                  | Lacustre Petrológico            |                         |      |
| POTENCIAL DE USO                   |                                       |                  |                                  |                                 |                         |      |
| Potencial Educativo                | Alto                                  |                  | (Medio)                          |                                 | Bajo                    |      |
| Potencial Turístico                | Alto                                  |                  | (Medio)                          |                                 | Bajo                    |      |
| Relación con el medio natural      | (Fauna)                               |                  | (Flora)                          |                                 | Cultura No tiene        |      |
| Reconocimiento de la comunidad     | Muy conocido                          |                  | (Poco conocido)                  |                                 | Desconocido             |      |
| Tipo de administración responsable | Estado                                | Municipio        |                                  | (Privado)                       | Área protegida No posee |      |
| Acceso                             | (Vehículo 4x4)                        |                  | Vehículo normal                  |                                 | Bus A pie               |      |
| VULNERABILIDAD                     |                                       |                  | INFRAESTRUCTURA                  |                                 |                         |      |
|                                    | Si                                    | No               | Cual                             | Bueno                           | Regular                 | Malo |
| Seguridad                          | X                                     |                  | Privada                          | Transporte                      | X                       |      |
| Deterioro                          | X                                     |                  | Industria turística              | Hoteles                         |                         | X    |
| Amenazas                           |                                       |                  | Aluviones                        | Restaurants                     |                         | X    |
| FOTO/ESQUEMA                       |                                       |                  | DESCRIPCIÓN                      |                                 |                         |      |
|                                    |                                       |                  |                                  |                                 |                         |      |
| INFORMACIÓN ADICIONAL:             |                                       |                  |                                  |                                 |                         |      |

| <b>POTENCIAL DE USO DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS</b>   |                 |            |            |                  |            |            |
|--|-----------------|------------|------------|------------------|------------|------------|
| Criterios  | Uso Educativo * |            |            | Uso Turístico ** |            |            |
|  | Puntos          | Peso       | Valoración | Puntos           | Peso       | Valoración |
| Representatividad                                  | 3               | 5          | 15         |                  | -          | -          |
| Calidad de la exposición                           | 4               | 10         | 40         | 4                | 5          | 20         |
| La diversidad a nivel regional                     | 4               | 5          | 20         |                  | -          | -          |
| Potencial Educativo                                | 3               | 30         | 90         |                  | -          | -          |
| Logística  | 1               | 15         | 15         | 1                | 10         | 10         |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km           | 2               | 10         | 20         | 1                | 5          | 5          |
| Accesibilidad                                      | 1               | 10         | 10         | 1                | 10         | 10         |
| Vulnerabilidad causada por las actividades humanas | 3               | 5          | 15         | 3                | 15         | 45         |
| Asociación con otros valores                       | 4               | 5          | 20         | 4                | 10         | 40         |
| Monumentalidad                                     | 1               | 5          | 5          | 1                | 15         | 15         |
| Potencial Recreativo                               |                 | -          | -          | 4                | 20         | 80         |
| Entorno Social                                     |                 | -          | -          | 2                | 5          | 10         |
| Proximidad a las instalaciones recreativas         |                 | -          | -          | 2                | 5          | 10         |
| <b>TOTAL</b>                                       | <b>26</b>       | <b>100</b> | <b>250</b> | <b>23</b>        | <b>100</b> | <b>245</b> |

| <b>RIESGO DE DEGRADACIÓN DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS **</b> |           |            |             |
|--|-----------|------------|-------------|
| Criterios  | Puntos    | Peso       | Valoración  |
| Vulnerabilidad causada por factores naturales o humanos  | 3         | 35         | 105         |
| Proximidad a las áreas potenciales dañinas               | 3         | 20         | 60          |
| Estado de Protección Actual                              | 3         | 20         | 60          |
| Accesibilidad  | 1         | 15         | 15          |
| Superficie de habitantes dentro de 25 Km                 | 1         | 10         | 10          |
| <b>TOTAL</b>   | <b>11</b> | <b>100</b> | <b>1100</b> |

| LIG                                |   |                  |   |                    |               |      |
|------------------------------------|---|------------------|---|--------------------|---------------|------|
| Nombre                             | Casa <del>Benito Cruz</del><br>Vallejos Benito Cruz |                  | Interés Principal   | Histórico-Cultural |               |      |
| Ubicación                          | Sector Amolana                                      |                  | Distancia Población más cercana:  | 500 mt approx.     |               |      |
| Coordenadas                        |   | X                | Y   |                    |               |      |
| <b>VALOR INTRÍNSECO</b>            |   |                  |   |                    |               |      |
| Diversidad                         | Único   | mejor ejemplo    | Rareza  | otros              |               |      |
| Edad Geológica                     | Proterozoico  | Paleozoico       | Mesozoico   | Cenozoico          | Cuaternario   |      |
| Procesos Geológicos                | Endógeno  | Exógeno          |   |                    |               |      |
| Marco Geológico                    | Interés Internacional                               | Interés Nacional | Interés Regional  |                    | Interés Local |      |
| Valor Científico                   | Nulo  | Bajo             | Medio   | Alto               | Muy Alto      |      |
| Interés Geológico                  | Cárstico  | Estratigráfico   | Geomorfológico  | Litoral            | Tectónico     |      |
|                                    | Económico   | Fluvial          | Hidrogeológico  | Paleontológico     |               |      |
|                                    | Eólico  | Geo-cultural     | Lacustre  | Petroológico       |               |      |
| <b>POTENCIAL DE USO</b>            |   |                  |   |                    |               |      |
| Potencial Educativo                | Alto  |                  | Medio   |                    | Bajo          |      |
| Potencial Turístico                | Alto  |                  | Medio   |                    | Bajo          |      |
| Relación con el medio natural      | Fauna   |                  | Flora   | Cultura            | No tiene      |      |
| Reconocimiento de la comunidad     | Muy conocido  |                  | Poco conocido   | Desconocido        |               |      |
| Tipo de administración responsable | Estado  | Municipio        | Privado   | Área protegida     | No posee      |      |
| Acceso                             | Vehículo 4x4  |                  | Vehículo normal   | Bus                | A pie         |      |
| <b>VULNERABILIDAD</b>              |   |                  | <b>INFRAESTRUCTURA</b>  |                    |               |      |
|                                    | Sí  | No               | Cual  | Bueno              | Regular       | Malo |
| Seguridad                          |   |                  | Transporte  | X                  |               |      |
| Deterioro                          | X   |                  | Hoteles   |                    |               | X    |
| Amenazas                           | X   |                  | Restaurantes  |                    |               | X    |
| <b>FOTO/ESQUEMA</b>                |   |                  | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |                    |               |      |
|                                    |   |                  | <p>La casona en sí está ahí desde su el autor a modo no, en un terreno agrícola privado.</p> <p>La infraestructura está deteriorada por el paso del tiempo y por el poco cuidado.</p> |                    |               |      |
| <b>INFORMACIÓN ADICIONAL:</b>      |   |                  |   |                    |               |      |

→ lat. s 23° 56' 2"  
→ LO 70° 0' 23'

→ no registra

| POTENCIAL DE USO DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS          |               |            |            |               |            |            |
|--|---------------|------------|------------|---------------|------------|------------|
| Criterios  | Uso Educativo |            |            | Uso Turístico |            |            |
|  | Puntos        | Peso       | Valoración | Puntos        | Peso       | Valoración |
| Representatividad                                  | 2             | 5          | 10         | <del>4</del>  | -          | -          |
| Calidad de la exposición                           | 2             | 10         | 20         | 4             | 5          | 20         |
| La diversidad a nivel regional                     | 2             | 5          | 10         | -             | -          | -          |
| Potencial Educativo                                | 4             | 30         | 120        | -             | -          | -          |
| Logística  | 1             | 15         | 15         | 1             | 10         | 10         |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km           | 2             | 10         | 20         | 1             | 5          | 5          |
| Accesibilidad                                      | 3             | 10         | 30         | 3             | 10         | 30         |
| Vulnerabilidad causada por las actividades humanas | 1             | 5          | 5          | 1             | 15         | 15         |
| Asociación con otros valores                       | 2             | 5          | 10         | 5             | 10         | 50         |
| Monumentalidad                                     | 1             | 5          | 5          | 1             | 15         | 15         |
| Potencial Recreativo                               | -             | -          | -          | 4             | 20         | 80         |
| Entorno Social                                     | -             | -          | -          | <del>2</del>  | 5          | 10         |
| Proximidad a las instalaciones recreativas         | -             | -          | -          | 2             | 5          | 10         |
| <b>TOTAL</b>                                       | <b>22</b>     | <b>100</b> | <b>245</b> | <b>24</b>     | <b>100</b> | <b>245</b> |

| RIESGO DE DEGRADACIÓN DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS          |        |            |            |
|---|--------|------------|------------|
| Criterios   | Puntos | Peso       | Valoración |
| Vulnerabilidad causada por factores naturales o humanos | 4      | 35         | 140        |
| Proximidad a las áreas potenciales dañinas              | 4      | 20         | 80         |
| Estado de Protección Actual                             | 3      | 20         | 60         |
| Accesibilidad   | 3      | 15         | 45         |
| Superficie de habitantes dentro de 25 Km                | 1      | 10         | 10         |
| <b>TOTAL</b>  |        | <b>100</b> | <b>335</b> |

| LIG                                |                       |                        |   |                    |               |      |
|------------------------------------|-----------------------|------------------------|---|--------------------|---------------|------|
| Nombre                             | Tranque Lautaro       |                        | Interés Principal   | Turístico - educat |               |      |
| Ubicación                          | Sector Amolanas       |                        | Distancia Población más cercana:  | 1 Km aprox.        |               |      |
| Coordenadas                        |                       | X<br>401.712, 87 [m] E | Y<br>6.904.551, 37 [m] S  |                    |               |      |
| VALOR INTRÍNSECO                   |                       |                        |   |                    |               |      |
| Diversidad                         | Único                 | mejor ejemplo          | Rareza  | otros              |               |      |
| Edad Geológica                     | Proterozoico          | Paleozoico             | Mesozoico   | Cenozoico          | Cuaternario   |      |
| Procesos Geológicos                | Endógeno              | Exógeno                |   |                    |               |      |
| Marco Geológico                    | Interés Internacional | Interés Nacional       | Interés Regional  |                    | Interés Local |      |
| Valor Científico                   | Nulo                  | Bajo                   | Medio   | Alto               | Muy Alto      |      |
| Interés Geológico                  | Cárstico              | Estratigráfico         | Geomorfológico  | Litoral            | Tectónico     |      |
|                                    | Económico             | Fluvial                | Hidrogeológico  | Paleontológico     |               |      |
|                                    | Eólico                | Geo-cultural           | Lacustre  | Petrológico        |               |      |
| POTENCIAL DE USO                   |                       |                        |   |                    |               |      |
| Potencial Educativo                | Alto                  |                        | Medio   | Bajo               |               |      |
| Potencial Turístico                | Alto                  |                        | Medio   | Bajo               |               |      |
| Relación con el medio natural      | Fauna                 |                        | Flora   | Cultura            | No tiene      |      |
| Reconocimiento de la comunidad     | Muy conocido          |                        | Poco conocido   |                    | Desconocido   |      |
| Tipo de administración responsable | Estado                | Municipio              | Privado   | Área protegida     | No posee      |      |
| Acceso                             | Vehículo 4x4          |                        | Vehículo normal   | Bus                | A pie         |      |
| VULNERABILIDAD                     |                       |                        | INFRAESTRUCTURA   |                    |               |      |
|                                    | Si                    | No                     | Cual  | Bueno              | Regular       | Malo |
| Seguridad                          |                       | X                      |   | Transporte         |               | X    |
| Deterioro                          | X                     |                        |   | Hoteles            |               | X    |
| Amenazas                           | X                     |                        | Dudada capacidad retener agua   | Restaurantes       |               | X    |
| FOTO/ESQUEMA                       |                       |                        | DESCRIPCIÓN   |                    |               |      |
|                                    |                       |                        | <p>El tranque Lautaro es el reservorio de agua que abastece de este recurso a todo el valle de Copiapo. El camino del Tranque no está pavimentado; además este no está impermeabilizado, pudiendo agua ser infiltración y evapotranspiración.</p> |                    |               |      |

INFORMACIÓN ADICIONAL:

| POTENCIAL DE USO DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS          |               |      |            |               |      |            |
|--|---------------|------|------------|---------------|------|------------|
| Criterios  | Uso Educativo |      |            | Uso Turístico |      |            |
|  | Puntos        | Peso | Valoración | Puntos        | Peso | Valoración |
| Representatividad                                  | 2             | 5    | 10         | -             | -    | -          |
| Calidad de la exposición                           | 4             | 10   | 40         | 4             | 5    | 20         |
| La diversidad a nivel regional                     | 2             | 5    | 10         | -             | -    | -          |
| Potencial Educativo                                | 4             | 30   | 120        | -             | -    | -          |
| Logística  | 1             | 15   | 15         | 1             | 10   | 10         |
| Superficie de habitantes dentro de 25 km           | 1             | 10   | 10         | 1             | 5    | 5          |
| Accesibilidad                                      | 4             | 10   | 40         | 4             | 10   | 40         |
| Vulnerabilidad causada por las actividades humanas | 2             | 5    | 10         | 2             | 15   | 30         |
| Asociación con otros valores                       | 3             | 5    | 15         | 3             | 10   | 30         |
| Monumentalidad                                     | 1             | 5    | 5          | 1             | 15   | 15         |
| Potencial Recreativo                               | -             | -    | -          | 4             | 20   | 80         |
| Entorno Social                                     | -             | -    | -          | 1             | 5    | 5          |
| Proximidad a las instalaciones recreativas         | -             | -    | -          | 2             | 5    | 10         |
| <b>TOTAL</b>                                       |               | 100  | 275        |               | 100  | 245        |

| RIESGO DE DEGRADACIÓN DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS          |        |      |            |
|---|--------|------|------------|
| Criterios   | Puntos | Peso | Valoración |
| Vulnerabilidad causada por factores naturales o humanos | 3      | 35   | 175        |
| Proximidad a las áreas potenciales dañinas              | 1      | 20   | 20         |
| Estado de Protección Actual                             | 2      | 20   | 40         |
| Accesibilidad   | 4      | 15   | 60         |
| Superficie de habitantes dentro de 25 Km                | 1      | 10   | 10         |
| <b>TOTAL</b>  |        | 100  | 305        |

| Nº | LIG                  | Potencial de Uso Educativo | Potencial de Uso Turístico | Riesgo de Degradación |         |
|----|----------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|---------|
| 1  | Casera Benito Cruz   | 245                        | 245                        | 335                   | → Bajo  |
| 2  | Troncos petrificados | 250                        | 245                        | 1.110                 | → Bajo  |
| 3  | Tranque Lautaro      | 275                        | 245                        | 305                   | → Medio |
|    |                      |                            |                            |                       |         |
|    |                      |                            |                            |                       |         |
|    |                      |                            |                            |                       |         |
|    |                      |                            |                            |                       |         |
|    |                      |                            |                            |                       |         |
|    |                      |                            |                            |                       |         |

## ANEXO 4: GUÍA PARA LA SOLICITUD DE DECLARACIÓN DE SANTUARIO DE LA NATURALEZA



### GUÍA PARA LA SOLICITUD DE DECLARACIÓN DE SANTUARIO DE LA NATURALEZA

#### 1. ANTECEDENTES GENERALES

- a. Carta del interesado dirigida a Sr. Ministro del Medio Ambiente (San Martín 73, comuna de Santiago, Región Metropolitana.
- b. Identificación del solicitante (persona natural o jurídica):
  - Nombre
  - Teléfono
  - Correo electrónico
  - Dirección Postal
- c. Documento que acredite la propiedad sobre el área que se postula (copia escritura).
- d. Documento que acredite la conformidad de el o los propietarios del área para que ésta se postulada como Santuario de la Naturaleza.
- e. Documentos que den cuenta de los usos actuales o potenciales para el área que se postula y el área adyacente (área de amortiguación o influencia).
- f. Cartas de apoyo u opinión respecto de la solicitud de declaración por parte de la(s) autoridad(es) competente(s), de los servicios públicos y de la comunidad, cuando procediera.

#### 2. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA OBJETO DE LA SOLICITUD DE DECLARACIÓN COMO SANTUARIO DE LA NATURALEZA

- a. Localización del Predio: Región, Provincia, Comuna.
- b. Nombre del área
- c. Superficie en hectáreas del área que se solicita sea declarada Santuario de la Naturaleza.
- d. Descripción detallada de los límites del área, que contenga el listado de las coordenadas UTM de los puntos que la delimitan. De forma complementaria, el área propuesta deberá estar representada en un mapa en el se deberán señalar los puntos (coordenadas UTM) que definen el polígono a proteger, así como los principales hitos geográficos que la caracterizan.

#### 3. ANTECEDENTES QUE JUSTIFICAN QUE EL ÁREA SEA POSTULADA A SANTUARIO DE LA NATURALEZA

Se refiere a proporcionar los antecedentes - por parte del solicitante - que fundamentan la solicitud de declaración del área que se propone como Santuario de la Naturaleza, de acuerdo a la definición establecida en Ley N°17.288 sobre

Monumentos Nacionales, Artículo 31°: *“Son santuarios de la naturaleza todos aquellos sitios terrestres o marinos que ofrezcan posibilidades especiales para estudios e investigaciones geológicas, paleontológicas, zoológicas, botánicas o de ecología, o que posean formaciones naturales, cuyas conservaciones sea de interés para la ciencia o para el Estado”.*

#### **4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROPUESTA**

- a. Descripción detallada del área propuesta como Santuario de la Naturaleza: situación geográfica, caracterización de ecosistemas, presencia de especies flora y/o fauna nativa y en estado de conservación, formaciones naturales, geológicas, paleontológicas, entre otros aspectos.
- b. Descripción del valor ecológico del área, que da origen a su propuesta de declaración como Santuario de la Naturaleza.
- c. Descripción de los valores complementarios asociados al área, si correspondiera naturales, culturales, sociales, turísticos, etc.).
- d. Descripción detallada del (de los) objeto(s) de conservación.
- e. Estado actual de conservación del (de los) objeto(s) y/o del área propuesta.
- f. Presiones y/o amenazas sobre el área propuesta y el (los) objeto(s) de conservación (caracterización de las acciones o actividades que afectan o pudieren afectar al objeto de conservación o procesos ecológicos que se pretenden proteger).
- g. Uso actual del suelo en el área propuesta y adyacente.
- h. Descripción de la zonificación establecida por los instrumentos de planificación territorial vigentes.
- i. Otras categorías de protección existentes al interior del área propuesta y zona adyacente.

#### **5. GESTIÓN DEL ÁREA PROPUESTA**

- a. Identificación del o los Propietario(s).
- b. Persona(s), institución(es) responsable(s) de la gestión y administración.
- c. Plan de Manejo preliminar, que considere objetivos, lineamientos estratégicos, metodología y medidas afines a los objetos de protección definidos para el área propuesta, así como una zonificación preliminar que establezca de uso a fin de cumplir los objetivos de conservación planteados para el área.
- d. Plan de Infraestructura Preliminar a implementar, si fuera pertinente, para cumplir los objetivos de protección planteados para el área.
- e. Plan de Financiamiento Preliminar (compromisos específicos demostrables en el ámbito financiero, que den cuenta de los recursos con los que se contará para implementar infraestructura afín a la conservación, actividades de educación, investigación y difusión, entre otras).
- f. Carta compromiso del potencial administrador respecto de las acciones de protección sobre el área que se pretende declarar y de la elaboración y aplicación del Plan de Manejo para el sitio.

#### **6. DOCUMENTACIÓN A PRESENTAR**

- a. Respecto de los antecedentes legales y otros, se deberán proporcionar:
  - Copia autorizada de la inscripción de dominio con certificado de vigencia de una antigüedad no superior a 60 días, respecto de cada uno de los predios involucrados.
  - Fotocopia de la escritura pública de compraventa (u otro título de dominio) del(los) inmueble(s) correspondiente(s), respecto de cada uno de los predios involucrados.
  - Carta de compromiso de cada uno de los propietarios involucrados.

- Copia de la escritura pública de constitución y copia autorizada de la inscripción social correspondiente, con certificado de vigencia de una antigüedad no superior a 60 días - tratándose de dueños que sean personas jurídicas.
  - Certificado de vigencia emitido por el Ministerio de Justicia, en el caso de fundaciones o corporaciones sin fines de lucro.
  - Carta del Ministerio de Bienes Nacionales que demuestre su acuerdo con la iniciativa, en caso de que el área propuesta sea de propiedad fiscal.
- b. Antecedentes planimétricos (plano de ubicación y emplazamiento, plantas de arquitectura tipo, cortes, elevaciones si corresponde).
- c. Antecedentes fotográficos (generales y de detalles relevantes, en formato gif o jpeg, de alta resolución).
- d. Antecedentes bibliográficos.
- e. La cartografía presentada en la solicitud deberá estar conforme los siguientes criterios:
- Datum: World Geodetic System 1984 (WGS 84).
  - Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)
  - Escala: (según la escala requerida para el proyecto)
  - Huso: 19 sur, o bien en 18 sur para proyectos locales de las regiones del sur de Chile.
  - Formato de Coberturas: Formato shape para coberturas vectoriales; Formato img para coberturas raster
  - Proyecto SIG: Debe ser leído en plataforma ArcGis 9.x
  - Metadatos: Creación de metadatos para cada cobertura generada.

**Nota:**

La información deberá ser proporcionada en formato impreso (1 original y 1 copia) y en formato digital en tres (3) CD/DVD claramente identificados.