

Subir al Parque Nacional Nevado de Tres Cruces (1994) es descubrir paisajes indómitos, con hielos y penitentes eternos, con termas de aguas calientes, con salares y lagunas altiplánicas de ensueño, que te renuevan el espíritu con su impactante belleza escénica.

Te invitamos a descubrir maravillosas sensaciones de altura en el techo de Chile con la mayor cantidad de montañas y volcanes por sobre los 6000 metros de altura, con senderos milenarios por donde transitaban grupos de cazadores recolectores y el Inca construía sitios ceremoniales

Te invitamos a contemplar y disfrutar, salares, ríos y lagunas dulces, salobres y saladas unidas por canales de vida y aguas de mil colores, donde Taguas, Flamencos y otras aves altoandinas nidifican y desarrollan sus ciclos biológicos. Bofedales, vegas, pajonales y estepa también dan vida a comunidades de vicuñas australes, guanacos del norte, pumas, zorros y gatos andinos, vizcachas y chichillas...

Finalmente te invitamos a respetar la naturaleza y colaborar con la conservación de este importante escenario de vida, patrimonio natural y cultural de nuestra región, legado de futuras generaciones y regalo para nuestra/os hija/os...

Ignacio y Mauricio
Parque Nacional Nevado de Tres Cruces



Fondart Regional



Paisaje y Geología

del Parque Nacional Nevado de Tres Cruces



OMAR VICENCIO CAMPOS
2020



Paisaje y Geología

del Parque Nacional Nevado de Tres Cruces

Autor:

Omar Vicencio Campos
omar.vicencio@gmail.com

Diseño y diagramación:
Gonzalo Tapia Faggioni
gtf.kiex@gmail.com

Edición y Fotografía:
Ignacio Cerda Medina
masatierra@gmail.com



Financiado por Fondart Regional

Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio
Gobierno de Chile
Dirección Copiapó: Atacama 660. Teléfono: (52) 2231676

Primera edición 250 ejemplares
Copiapó 2020

Prólogo

Hacia 2018, ya bien cumplidos los treinta, Omar Vicencio Campos redefine su residencia de Buenos Aires a Viña del Mar e inicia una nueva etapa en su carrera incorporándose al estudio de Ingeniería en Medio Ambiente y Recursos Naturales. En esta etapa comienza a aplicar sus conocimientos en las disciplinas de Geología y Paleontología, destacándose sus valiosos trabajos en la preparación y resguardo de materiales de interés patrimonial. Su espíritu de aventura insaciable recuerda a los antiguos naturalistas, y esta alma lo lleva a la región de Atacama, en búsqueda de un pasado, cuyas evidencias pétreas nos hablan también de un futuro incierto.

En la presente obra, el autor nos recuerda, a través del poder de la imagen fotográfica y con una audacia geológica, que recorrer el Parque Nacional Nevado de Tres Cruces es encontrarse con la mirada del tiempo geológico. En las imágenes ofrecidas a lo largo de la obra, nos encontramos con lagunas andinas y flamencos (Negro Francisco y Santa Rosa), que tradicionalmente se corresponden a lugares de alto interés paisajístico y turístico. El ojo del compositor fotográfico rápidamente podrá observar imágenes extrañas y simples, como un punto negro en papel blanco, otros pocos comprenderán que se muestran carboníferas rocas de edades no imaginadas por viajeros incautos. Este libro es un desafío, para no solo mirar “piedras”,

sino que también para descubrir rocas, que al pisar manifiestan su delicadeza y fragilidad, como las hojas secas de la historia geológica. El relato pictórico desafía a sumergirse en las interpretaciones, nos conduce a reconocer que la Región de Atacama no solo posee cobre, uvas y coronas del inca, sino también contiene registros de épocas pantanosas, de relictos pétreos anteriores, más antiguos que sus chañares, nos referimos a las eras carboníferas, origen de los que hoy es mineral y antes fue vegetal.

El autor no es ingenuo al escoger este parque, desconocido para el mundo y las instituciones, el cual por fortuna está repleto de

paisajes andinos sin intervención antrópica. Me pregunto si Omar nos desafía a un recuerdo de un futuro cercano. Una advertencia frente al cambio climático. Donde hay desierto, hubo vegetación exuberante. Entre asombro y temor Lovecrafiano, con inusual imaginación, el libro nos abre mundos, fantasías antiguas, dioses y deidades pétreas que dejaron su registro en las rocas. En este caso, es ineludible contemplar un pasado, presente y futuro, todos a la vez. Con la obra, compartimos con el autor la idea que “podemos definir el paisaje como lo visible al ojo humano, sin embargo, esto ocasiona que su percepción sea diferente para cada observador...”. La invitación a viajar y proteger nuestro pasado geológico atameño.

Guillermo Uribe

Jefe de Carrera Ing. Civil en Minas

Universidad de Viña del Mar

Índice

Agradecimientos

Agradezco principalmente a mi familia en especial a mi madre Mariela, mi novia María y mi hermana Marilyn quienes han estado conmigo apoyándome cuando lo necesito. Agradezco a mi gran amigo Mario Suárez por brindarme la oportunidad de trabajar juntos y a Luis Chirino e Ignacio Cerdá por sus correcciones y valiosos aportes en este catálogo.

Por último, quiero agradecer a dos personas las cuales no se encuentran físicamente entre nosotros, pero si sus valiosas enseñanzas. El Dr. José F. Bonaparte por guiarme en mis primeros pasos de este largo camino y mi padre Oscar el cual me incentivó a no detenerme sin importar lo difícil que fuese el camino.

Gracias a todos los que me han brindado su ayuda en algún momento.

Un especial agradecimiento al Ministerio de las Cultura, las Artes y el Patrimonio porque sin su apoyo no habría sido posible este proyecto. Además de CONAF por ser los guardianes de este tesoro natural.

6	Introducción
10	Geología
11	Tipos de rocas
15	Edad geológica
16	Estudios Geológicos en el Parque Nacional
19	Parque Nacional Nevado de Tres Cruces Sector Norte
20	Unidades Geológicas Sector Laguna Santa Rosa
37	Parque Nacional Nevado de Tres Cruces Sector Sur
38	Unidades Geológicas Sector Laguna del Negro Francisco
51	Paisajes
53	Paisajes predominantes en Parque Nacional.
54	Laguna Santa Rosa.
60	Corredor Biogeográfico Bofedal Ciénaga Redonda
66	Laguna Del Negro Francisco.
72	Palabras Finales
74	Referencias
76	Glosario

Introducción

En el sector cordillerano de la región de Atacama -comunas de Copiapó y Tierra Amarilla- sobre los 3.700 metros de altura y aproximadamente 150 kilómetros al NE de la ciudad de Copiapó (rutas Internacionales Ch-31 y C-341/C-601) se encuentra el Parque Nacional Nevado de Tres Cruces (PNNTC) el cual posee una superficie de 59.081 Hectáreas, dividido en 2 sectores: Laguna Santa Rosa y Laguna del Negro Francisco.

Esta Área Silvestre Protegida fue creada en el año 1994 con el objeto de proteger muestras de los ecosistemas Altiplánicos y de Puna (Decreto Supremo N°947 del Ministerio de Bienes Nacionales) donde destacan 16 especies de fauna que en la actualidad presentan problemas de conservación. Su importancia radica principalmente en sus aspectos ecológicos, como un lugar de tránsito y nidificación de gran cantidad de aves, debido a esto en el año 1996 es incorporada a la lista de Humedales de Importancia Internacional (Convenio Ramsar) incluyéndose el corredor biogeográfico “Bofedal Ciénaga Redonda – Vegas de Río Astaburuaga”, el cual conecta ambos sectores, actuando como un importante regulador de los elementos bióticos y abióticos que forman la red ecológica de este ecosistema andino.

Referencia: <https://www.ramsar.org/es>

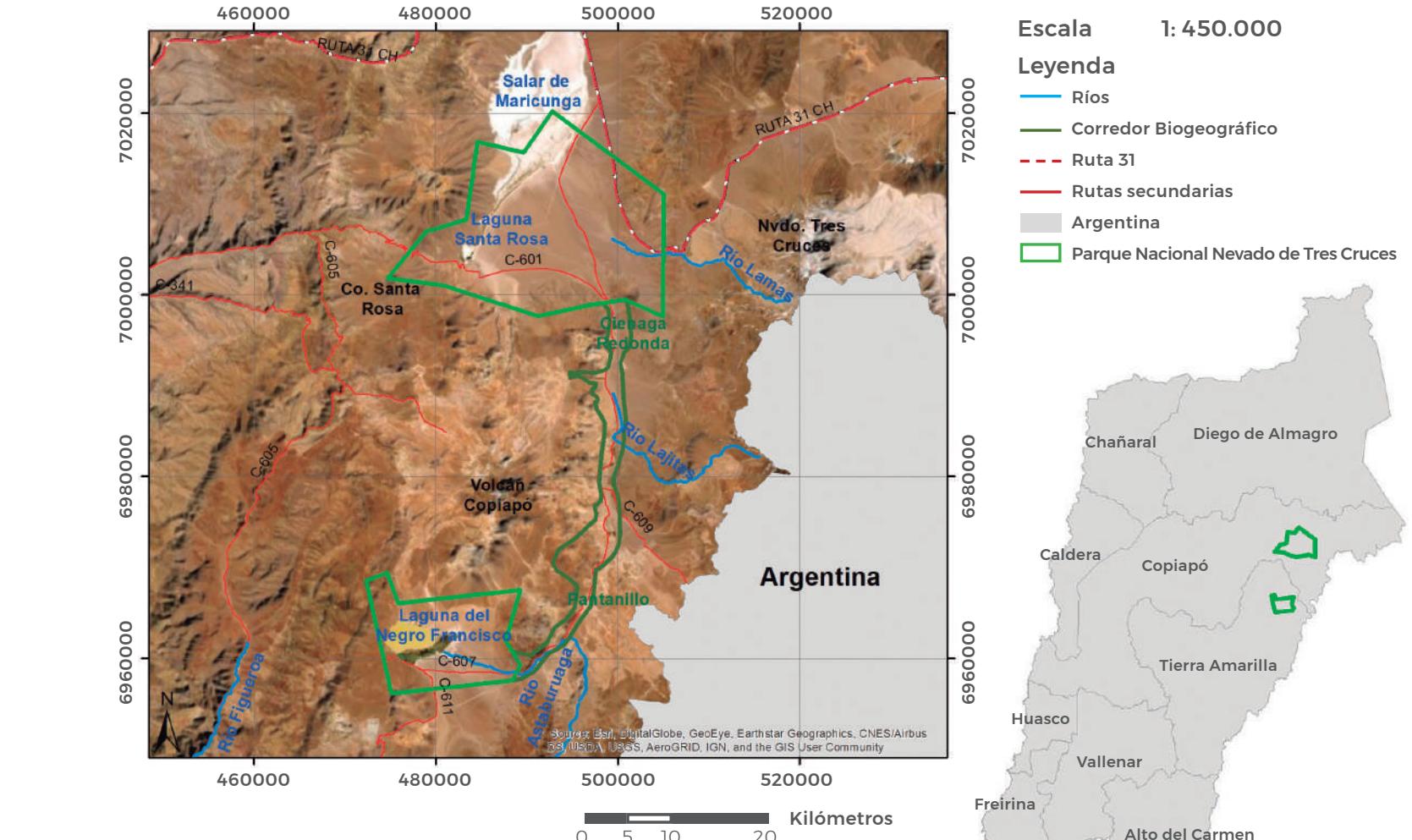


Imagen Google Earth con el área del Parque
Fuente: Elaboración propia

Sector norte Laguna Santa Rosa, Salar de Maricunga y Río Lamas (46.944 hectáreas):

Perteneciente a la comuna de Copiapó, este sector comprende el extremo sur del Salar de Maricunga, la Laguna Santa Rosa y el curso del Río Lamas (CONAF, 1997).

La Laguna Santa Rosa corresponde a un sistema de humedales ubicado en el extremo sur del Salar de Maricunga a 3.767 metros de altitud (cuenca endorreica) donde convergen aguas subterráneas y subsuperficiales, generando diferentes cuerpos de agua (lagunas y canales) que a medida que se acercan al núcleo del salar aumentan su salinidad, descargándose por evaporación como depósitos de costra salina -halita- formando los característicos salares altoandinos.



Vista general de Laguna Santa Rosa, se observa vegetación alto andina y macizo Nevado de Tres Cruces.

Sector sur Laguna del Negro Francisco y Río Astaburuaga (12.136 hectáreas):

Perteneciente a la comuna de Tierra Amarilla, este sector comprende la desembocadura del Río Astaburuaga y la Laguna del Negro Francisco, la cual se encuentra separada en 2 lagunas de distinto color y salinidad.

La Laguna del Negro Francisco ubicada a 4.126 metros de altitud, posee una gran relevancia en términos ecosistémicos, debido a su condición de refugio y sitio de reproducción para aves como taguas cornudas, blanquillo, gaviota andina y las 3 especies de flamencos altoandinos. Además, en torno a estos cuerpos de agua y a la vegetación aledaña asociada, se conforman diferentes comunidades de mamíferos como el puma, zorro andino, vicuña austral y guanaco del norte, dos subespecies de camélidos silvestres en categoría de conservación “en peligro y vulnerable”.



Vista general de Laguna del Negro Francisco.

Geología

La geología es la ciencia que estudia el comportamiento del planeta Tierra. Esta ciencia ha sido dividida en dos áreas: correspondientes a geología física y geología histórica.

La Geología física, se dedica a estudiar los materiales que componen la tierra buscando comprender los procesos que actúan por debajo y sobre la superficie terrestre. Por otra parte, la Geología histórica busca comprender el origen de la Tierra y su evolución en el tiempo, ordenando cronológicamente los cambios físicos y biológicos que han ocurrido. Dividiendo la historia de la tierra en el super Eón Precámbrico y el Eón Fanerozoico (Vida visible). Durante el Fanerozoico existen tres grandes Eras geológicas las cuales son: Paleozoico (Era de los peces), Mesozoico (Era de los reptiles) y Cenozoico (Era de los mamíferos).

Comprendiendo cual es el estudio de la geología, se define el objetivo principal del presente catálogo, lograr dar una descripción de manera sencilla las principales unidades litológicas existentes en el parque Nacional Nevado de Tres Cruces. Esto mediante el uso de fotografías las cuales muestren los colores y la disposición de las rocas observadas, líneas de tiempo geológicas con edades de las unidades existentes en el parque, además de mapas que fueron modificados del software Google Earth y de estudios geológicos realizados por Mpodozis *et al.*, (2012), Cornejo *et al.*, (1998) y Mapa Geológico de Chile 1: 1.000.000 (Sernageomin 2003).

Tipos de rocas

Para entender la geología presente en el área del Parque Nacional Nevado de Tres Cruces primero se debe reconocer cuáles son los tipos de rocas existentes en la naturaleza y como diferenciarlas. Con esto podremos ser capaces de entender cuál fue el proceso que originó las unidades descritas y como los diversos autores definieron las distintas Unidades litológicas presentes en el parque.

1. Rocas ígneas: (del latín ignis = fuego) también llamadas magmáticas (magma del griego = pasta o masa) o eruptivas:

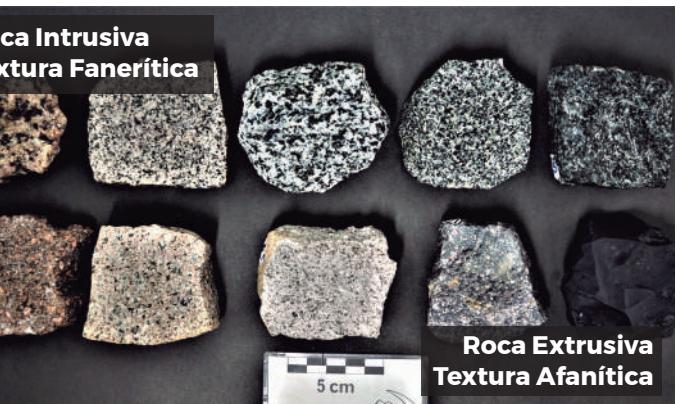
Son aquellas rocas que se han formado por la solidificación del magma (Rocas fundidas). La subdivisión de estas rocas se encuentra dada sobre la base del ambiente geológico de origen (Profundidad al momento de la cristalización) dividiéndose en extrusivas o volcánicas; hipabisales, intrusivas o plutónicas.

Rocas volcánicas o extrusivas: Son rocas formadas a partir de un rápido enfriamiento del magma, originado en profundidad y expulsado por aparatos volcánicos. Terminando su proceso de solidificación en la superficie a presión atmosférica; esto provoca que el magma se desgasifique y enfríe en un corto tiempo, dando origen a una textura afanítica.



12

Vista de Rocas volcánicas Hipabisales.



Vista de Rocas intrusivas y extrusivas.

Rocas hipabisales: Son rocas con características intermedias entre las volcánicas y plutónicas, esto debido a que su formación ocurre a escasa profundidad (cristalizan a profundidades intermedias) con una presión que permite el escape de los fluidos, generalmente son rocas filonianas como los diques y de textura porfídica.

Rocas plutónicas o intrusivas: Son rocas cristalizadas totalmente en profundidad de forma lenta, bajo una gran presión que normalmente no permite el escape de los fluidos magmáticos (Spikerman 2010), estas rocas son de textura fanerítica.

2. Rocas Sedimentarias:

(del latín sedimentum=asentamiento):

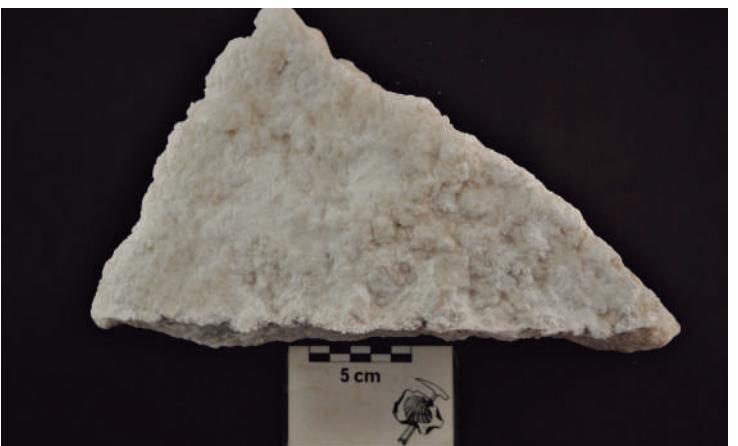
Son rocas formadas en la superficie de la tierra por la acumulación de capas planas, estas se forman a partir sedimentos provenientes de rocas preexistentes. Alteradas por procesos de meteorización y transportadas por agentes exógenos (viento o agua), estas capas se depositan a temperaturas y presiones bajas. El proceso de diagénesis transforma estos sedimentos depositados en rocas sedimentarias duras cuando se encuentran a mayor profundidad (mayor presión y temperatura). Las rocas sedimentarias poseen una subdivisión, según su origen.



Vista de Rocas Sedimentarias Clásticas y Químicas.

Rocas Químicas: Estas rocas son producto de la precipitación de iones disueltos en agua. Al precipitar se forman sedimentos químicos, los cuales se convierten en rocas como caliza o la sal.

Rocas Clásicas: Son acumulaciones mecánicas de partículas o sedimentos de rocas preexistentes denominadas “detritus” o “clastos”, formados por los materiales producto de la meteorización y la erosión de rocas en superficie; estos clastos son transportados y finalmente depositados, por lo que presentan una textura denominada clástica.



Roca Química procedente del Salar de “Maricunga”.

13

3. Rocas metamórficas:

Las rocas metamórficas se producen a partir de rocas ígneas, sedimentarias u otras metamórficas, de esta manera cada roca metamórfica proviene de otra. Los cambios producidos en estas rocas tienen lugar a temperaturas sobre los 200°C y presiones elevadas, estas condiciones se dan en la profundidad de la corteza terrestre y el manto superior (Tarbuck y Lutgens, 2005).



Rocas Metamórficas.

Edad geológica.

La edad que presentan las rocas se puede reconocer de dos maneras, como edad relativa y edad absoluta, ambas entregan información complementaria, por ende, los científicos han sintetizado la información en tablas cronoestratigráficas, divididas en millones de años (Ma).

Datación Relativa: Mediante este proceso es posible determinar la edad aproximada de las rocas, esta se efectúa mediante la comparación de una unidad con otra adyacente, para así establecer cual es más joven o más antigua. La edad relativa se estima mediante relaciones estructurales y estratigráficas, donde se reconoce la superposición de una capa sobre otra o el contenido fósil presente en alguna unidad.

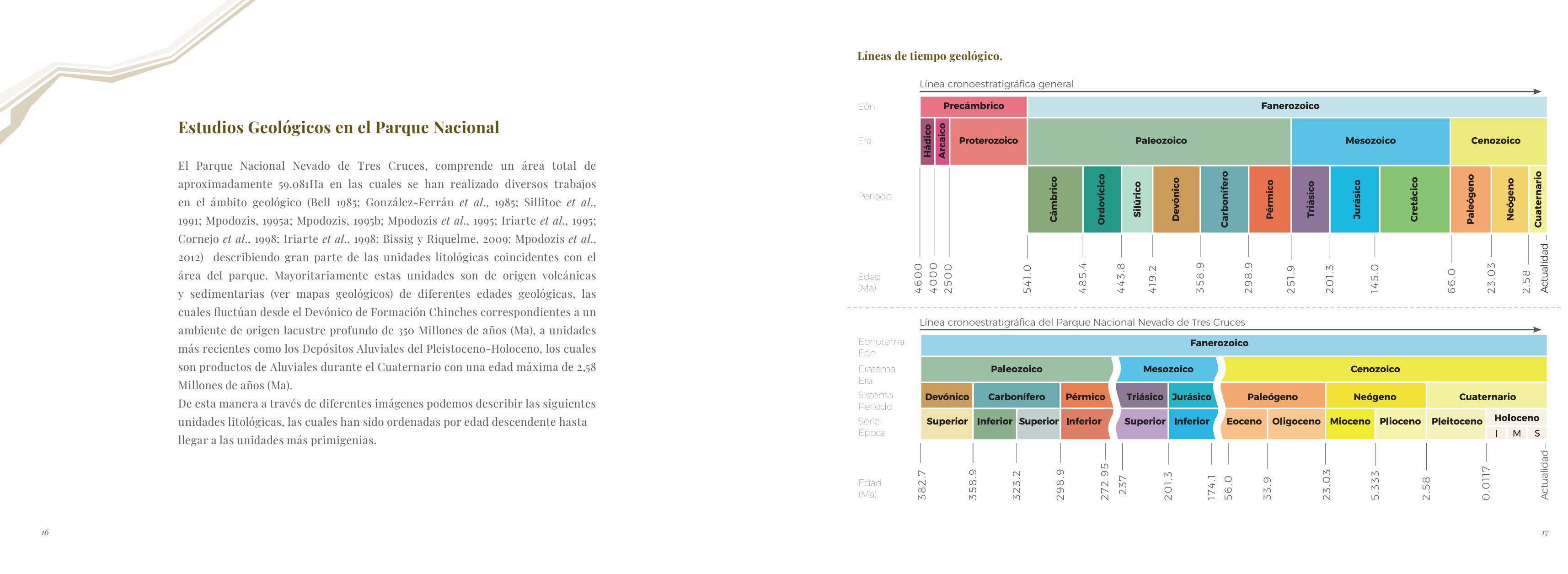


Datación Absoluta: Este proceso se basa en la desintegración isotópica de elementos radiactivos, donde se mide por extrapolación la pérdida del isótopo inestable del elemento en base a una tabla de vidas medias. Así, por ejemplo, el método del Uranio235, el cual corresponde a un isótopo inestable, se desintegra transformándose en el elemento Plomo207, este puede extrapolarse cada 700 Ma (Millones de años), pues el isótopo Uranio235 se reduce a la mitad en esta cantidad de tiempo. Como método de datación de millones de años, asociada a dataciones geológicas existen diversos métodos como el Rubidio-Estroncio o Potasio-Argón.

Método de Datación Radioactiva U²³⁵ a Pb²⁰⁷



Principio de Método de Datación radiométrica con base Urano235 el cual cada 700 Millones de años transforma la mitad de sus átomos en Plomo207.



Estudios Geológicos en el Parque Nacional

El Parque Nacional Nevado de Tres Cruces, comprende un área total de aproximadamente 59.081Ha en las cuales se han realizado diversos trabajos en el ámbito geológico (Bell 1985; González-Ferrán *et al.*, 1985; Sillitoe *et al.*, 1991; Mpodozis, 1995a; Mpodozis, 1995b; Mpodozis *et al.*, 1995; Iriarte *et al.*, 1995; Cornejo *et al.*, 1998; Iriarte *et al.*, 1998; Bissig y Riquelme, 2009; Mpodozis *et al.*, 2012) describiendo gran parte de las unidades litológicas coincidentes con el área del parque. Mayoritariamente estas unidades son de origen volcánicas y sedimentarias (ver mapas geológicos) de diferentes edades geológicas, las cuales fluctúan desde el Devónico de Formación Chinches correspondientes a un ambiente de origen lacustre profundo de 350 Millones de años (Ma), a unidades más recientes como los Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno, los cuales son productos de Aluviales durante el Cuaternario con una edad máxima de 2,58 Millones de años (Ma).

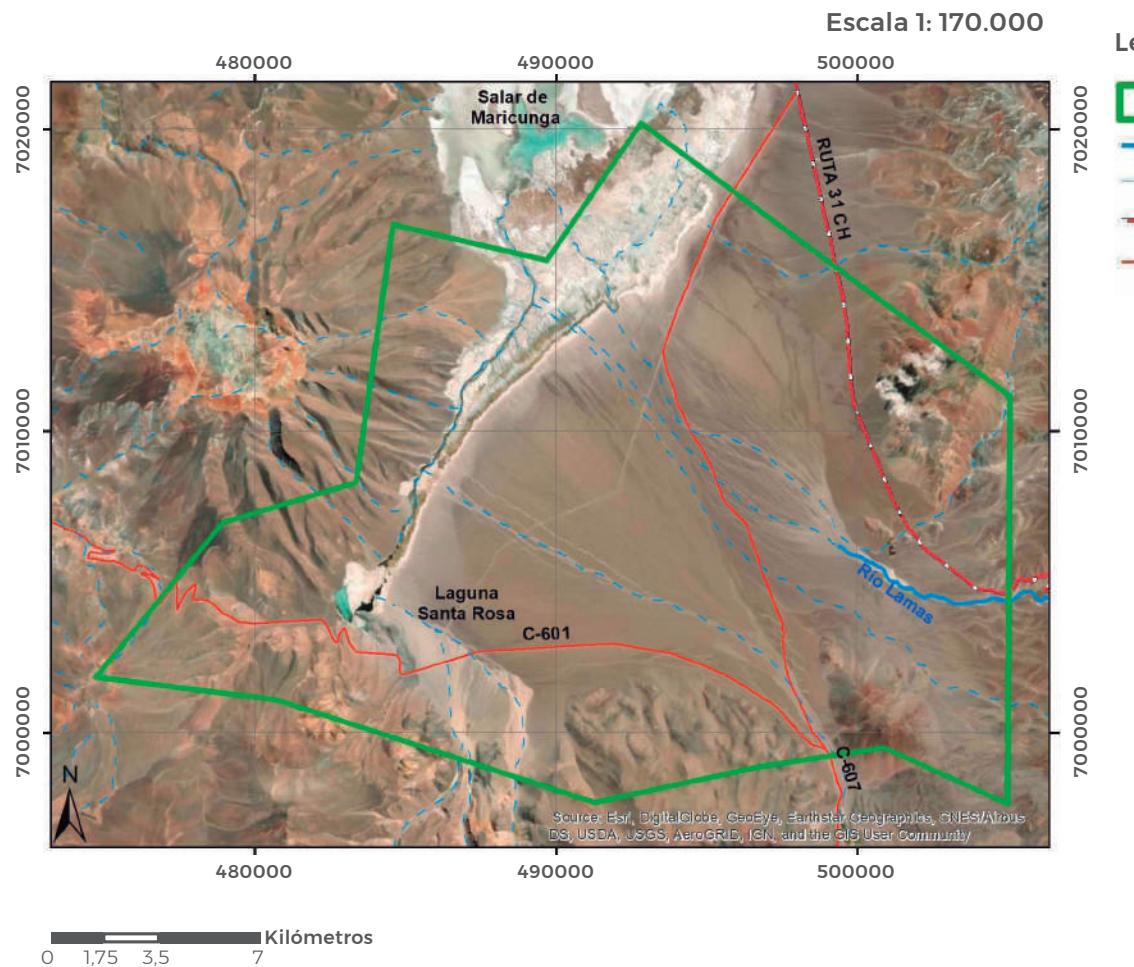
De esta manera a través de diferentes imágenes podemos describir las siguientes unidades litológicas, las cuales han sido ordenadas por edad descendente hasta llegar a las unidades más primigenias.



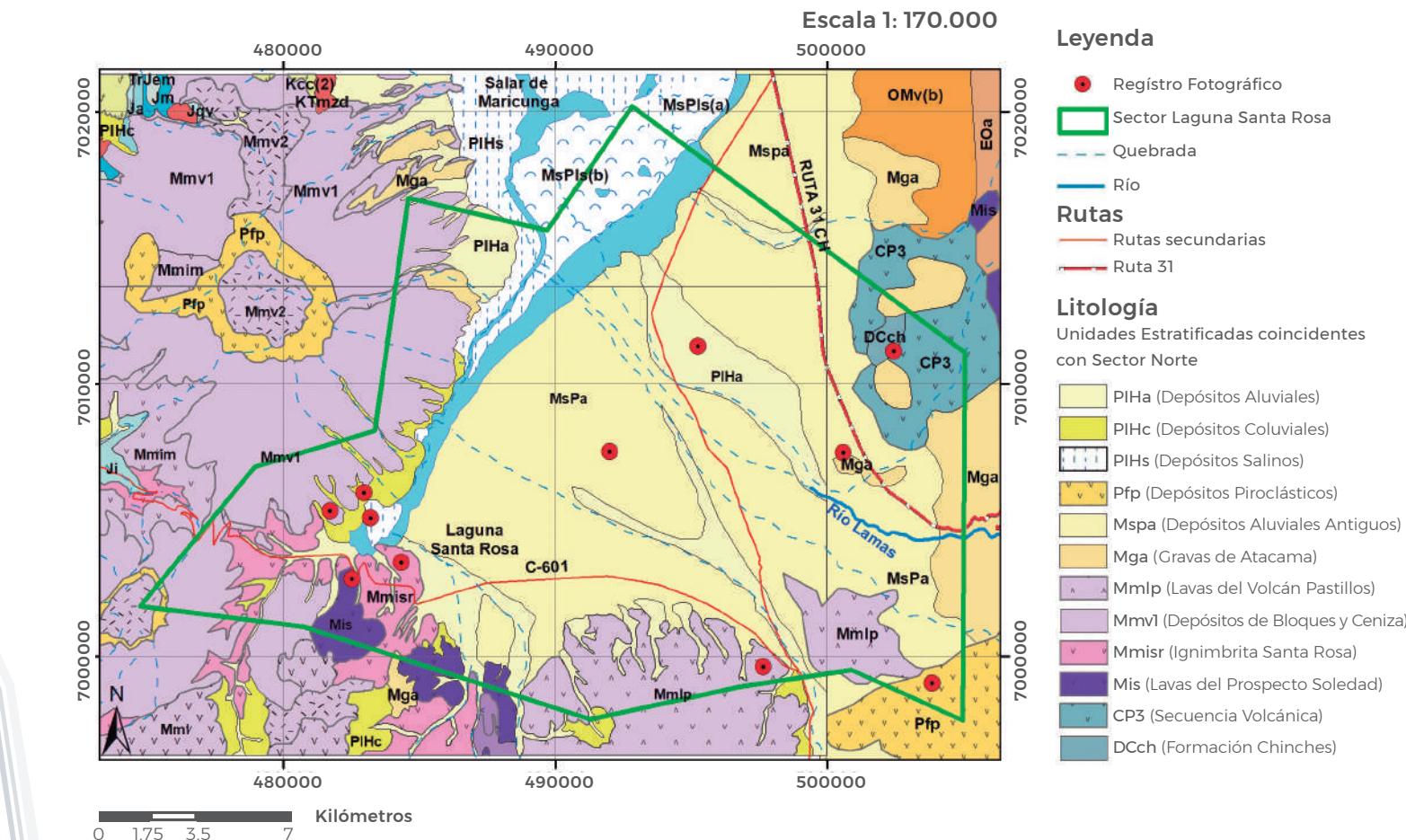
*Parque Nacional
Nevado de Tres Cruces*
Sector norte

Laguna Santa Rosa, Salar de Maricunga y Río Lamas

Unidades Geológicas Sector Laguna Santa Rosa



Fuente: Elaboración propia
Imagen Google Earth Sector Norte



Fuente: Elaboración propia (Modificado de Mpodozis *et al.*, 2012; Cornejo *et al.*, 1998 y Sernageomin 2003)
Mapa indicando las Formaciones geológicas existentes en Sector Norte del Parque Nacional Nevado de Tres Cruces.

Depósitos Aluviales (PlHa)

Edad: Pleistoceno-Holoceno

Corresponde a una unidad informal (Mpodozis *et al.*, 2012) del tipo sedimentario no consolidado, esta se compone por gravas, arenas gruesas y limos no consolidados; esto asociados al drenaje activo esporádico en las quebradas principales.



Vista en detalle del sustrato, compuesto por sedimentos no consolidados.



Vista general de la Unidad sedimentaria Depósitos Aluviales (PlHa).

Depósitos Coluviales (PlHc)

Edad: Pleistoceno-Holoceno

Corresponde a una unidad informal de tipo sedimentaria, se compone por gravas mal seleccionadas, las cuales se encuentran restringidas a conos de deyección en quebradas y laderas de cerros, en esta unidad se incluyen flujos de barro.



Vista en detalle del sustrato, compuesto por sedimentos no consolidados.



Vista general de la Unidad sedimentaria Depósitos Coluviales (PlHc).

Depósitos Salinos (PlHs)

Edad: Pleistoceno-Holoceno

Unidad informal del tipo sedimentaria química. Cornejo *et al.*, (1998) la describe como una costra salina expuesta en el sector sur del Salar de Maricunga (Laguna Santa Rosa). Esta unidad corresponde a un agregado cristalino de halita y material detrítico fino, color pardo amarillo oscuro, que forma polígonos. Estos depósitos precipitados se encuentran moderadamente consolidados, fueron formados por precipitados salinos y sulfatos.



Vista general de la Unidad sedimentaria Depósitos Salinos (PlHs), se observa un espejo de agua el cual va disminuyendo por procesos de evaporación.

Flujos Piroclásticos (Pfp)

Edad: ¿Plioceno?

Esta unidad del tipo volcánica, es descrita por Mpodozis *et al.*, (2012) como pequeños afloramientos provenientes de flujos piroclásticos de color rosados pálidos, depositados en el valle de Ciénaga Redonda, en la pampa de Valle Ancho. Estos flujos fueron formados posterior a la construcción del Complejo Volcánico Copiapó. Su edad y procedencia se desconocen, se asignaron tentativamente al Plioceno.



Vista general de la Unidad volcánica Flujos piroclásticos (Pfp).



Vista de roca volcánica color rosa correspondiente a Flujos Piroclásticos (Pfp).

Depósitos Aluviales Antiguos (MsPa)

Edad: Mioceno Superior-Plioceno Inferior

Corresponde a una unidad informal del tipo sedimentario no consolidado, su sustrato se compone por Gravas de matriz soportadas, los clastos son de bajo redondeamiento y poseen abundante arena, con lentes de arena fina y limos. Estos depósitos constituyen conos aluviales con baja pendiente y llanuras de inundación, estos niveles se desarrollan en los márgenes de la cuenca endorreica del Salar de Maricunga y el Llano Ciénaga Redonda (Cornejo *et al.*, 1998). Estos depósitos se encuentran divididos por los cursos fluviales y aluviales actuales.



Vista en detalle del sustrato, compuesto por sedimentos no consolidados.



Vista general de la Unidad sedimentaria Depósitos Aluviales (PlHa).

Gravas de Atacama (Mga)

Edad: Mioceno

Corresponde a una unidad de origen sedimentario, definida por Mortimer (1973), esta secuencia se compone por Gravas, ripios y arenas gruesas polimícticas, con mala a moderada selección y mal consolidadas, la matriz es arena, limo o arcilla con intercalaciones de ignimbritas débilmente soldadas. Esta unidad se encuentra, en parte cubiertas por ignimbritas, en las cuales, (Cornejo *et al.*, 1998; Bissig y Riquelme 2009) se reconocieron edades entre los 9 y 10 Ma.



Vista general de la Unidad sedimentaria Gravas de Atacama (Mga).

Lavas del Volcán Pastillos (Mmlp)

Edad: Mioceno Medio, (13-12 Ma)

Corresponde a una unidad de origen volcánico, formada en su mayoría por lavas de composición andesítica y dacítica que conforman las laderas del volcán Pastillos (Mpodozis *et al.*, 2012). En las pendientes norte y este del volcán, se obtuvieron edades aproximadas de 12,8 Millones de años (Mpodozis *et al.*, 1995).



Vista en detalle de fragmentos, provenientes de la unidad Lavas del Volcán Pastillos (Mmlp).



Vista general de la Unidad Lavas del Volcán Pastillos (Mmlp).



Vista general de la Unidad Depósitos de Bloque y ceniza (Mmv1).

Depósitos de Bloques y Ceniza (Mmv1)

Edad: Mioceno Medio (15,1 Ma)

Unidad de origen volcánico, corresponde a piroclastos mal soldados del tipo bloque y ceniza (mayormente bombas y vidrio), estos forman parte de las laderas en el volcán Ojos de Maricunga y volcán Santa Rosa. En los niveles de esta unidad se dataron edades aproximadas de 15,1 Ma, en el costado sur del volcán Ojos de Maricunga (Mpodozis, 1995).



Vista de bloque perteneciente a la unidad Mmv1.



Vista de rocas correspondiente a Ignimbrita Santa Rosa (Mmisr).



Vista general de afloramiento correspondiente a Ignimbrita Santa Rosa (Mmisr).

Ignimbrita Santa Rosa (Mmisr)

Edad: Mioceno Medio (17-16 Ma)

Esta unidad de origen volcánica corresponde a una toba de color rojizo no soldada, posee fragmentos dacíticos, porfíricos y tobáceos (Mpodozis *et al.*, 2012). La unidad ignimbrita Santa Rosa se presenta en unidades de flujo con potencias que varían entre 10 y 15 metros al sector oeste del volcán Santa Rosa, según González-Ferrán *et al.*, (1985).

Lavas del Prospecto Soledad (Mis)

Edad: Mioceno Inferior (20,7 Ma)

Unidad del tipo volcánica se encuentra conformada por lavas del tipo andesítico con cristales de piroxenos; dacíticas con oxihornblenda y escaso piroxeno, se encuentran moderada a fuertemente alteradas. Estas unidades corresponden a los vestigios de un centro volcánico meteorizado y erosionado ubicado en las cercanías del prospecto Soledad, Iriarte *et al.*, (1995).



Vista de roca correspondiente a Lavas del prospecto soledad (Mis).



Vista general de afloramiento correspondiente a Lavas del prospecto soledad (Mis).

Secuencia Volcánica (CP3)

Edad: Carbonífero-Permico

Unidad correspondiente a una secuencia volcánica continental, compuesta por lavas, tobas y brechas andesíticas a riolíticas, en esta unidad se incluye cuerpos hipabisales riolíticos (Sernageomin 2003).



Vista general de afloramiento correspondiente a secuencia volcánica (CP3) de color rojizo.

Formación Chinches (DCch)

Edad: Devónico-Carbonífero?

Unidad definida por Mercado (1982), se constituye por rocas sedimentarias clásticas, se caracteriza por una alternancia entre lutitas y areniscas de colores gris, verde y negro, posee intercalaciones de calizas y bancos conglomerádicos, principalmente, hacia el nivel superior. Esta secuencia se encuentra intruida por granitoides del Batolito “El Hielo”, cubierta de manera discordante por rocas volcánicas de la Formación Pantanoso (Pep) y rocas clásticas de la Formación La Ternera (TrJlt). Respecto a la edad de esta Formación según Bell (1985), esta correspondería a carbonífera inferior, esto determinado en los niveles de lutitas donde existe registro fosilífero de dientes y escamas de peces del tipo Paleoniscoideos.



Vista en detalle de arenisca color negro perteneciente a Formación Chinches (DCch).



Vista general de afloramiento correspondiente a Formación Chinches (DCch).



*Parque Nacional
Nevado de Tres Cruces*

Sector sur

Laguna del Negro Francisco y Río Astaburuaga

Unidades Geológicas Sector Laguna del Negro Francisco

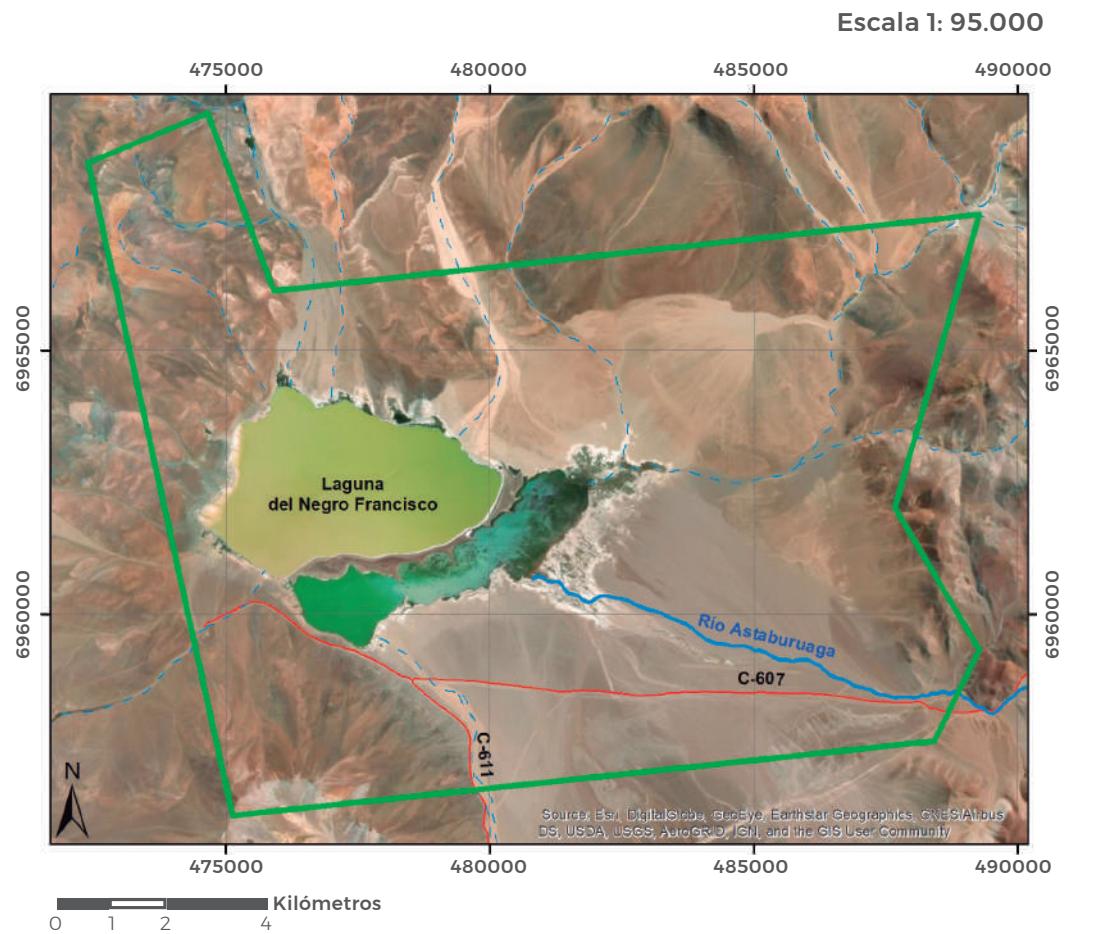
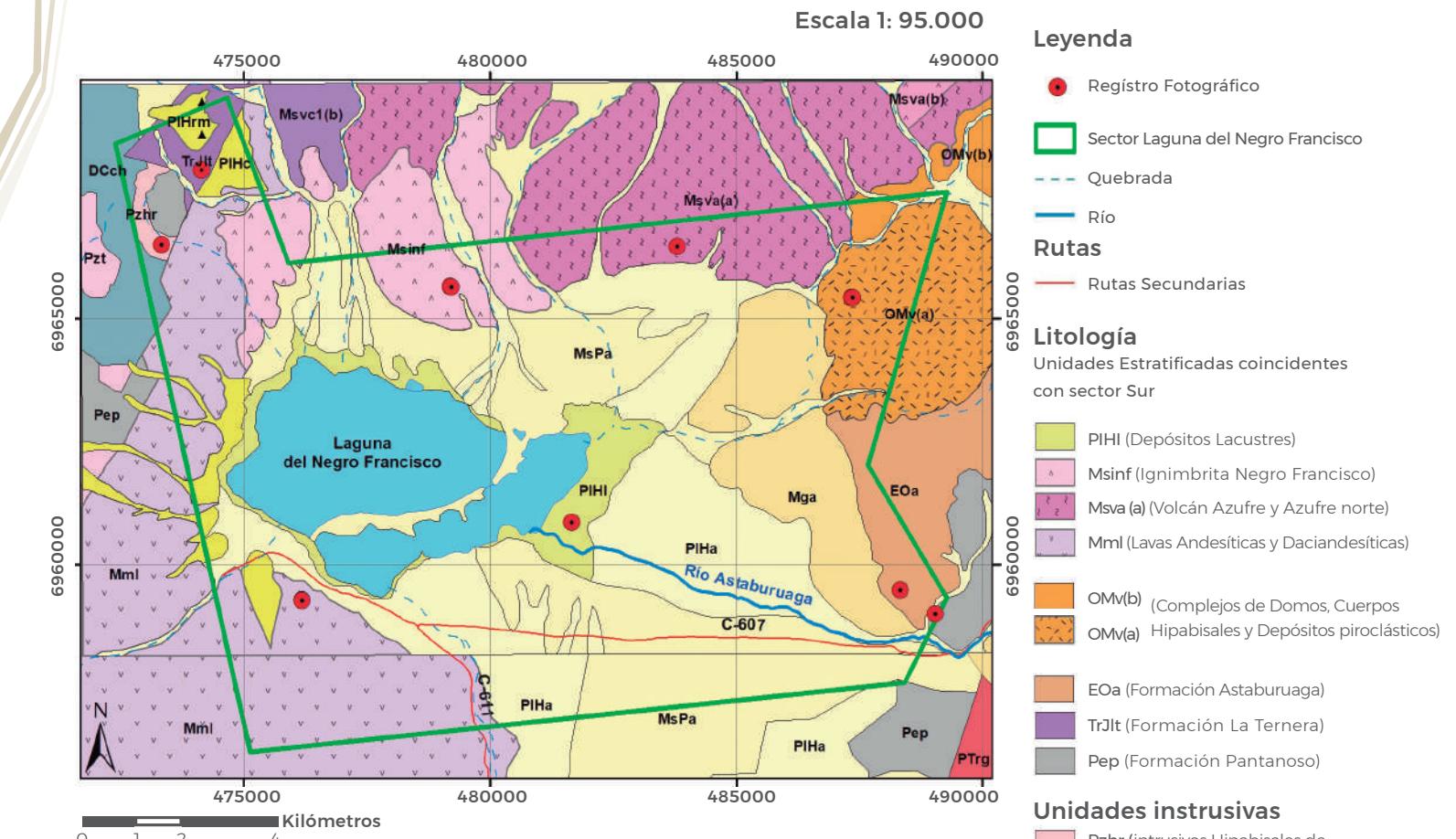


Imagen Google Earth Sector Sur
Fuente: Elaboración propia



Mapa indicando las Formaciones geológicas existentes en Sector Sur del Parque Nacional Nevado de Tres Cruces
Fuente: Elaboración propia (Modificado de Mpodozis *et al.*, 2012 y Sernageomin 2003)

Depósitos Lacustres (PLHI)

Edad: Pleistoceno-Holoceno

Unidad informal del tipo sedimentaria, estos depósitos lacustres corresponden a sedimentos mal consolidados y se encuentran distribuidos en los bordes de la laguna del Negro Francisco (Iriarte *et al.*, 1998), estos incluyen limos, arenas finas, arcillas, algunos niveles en esta unidad sedimentaria son ricos en restos orgánicos vegetales.



Vista de unidad sedimentaria, la cual posee restos orgánicos vegetales.



Vista general de unidad correspondiente a Depósitos lacustres (PLHI).



Vista de afloramiento correspondiente a Ignimbrita Negro Francisco (Msinf).



Vista general de unidad correspondiente a Ignimbrita Negro Francisco (Msinf).

Ignimbrita Negro Francisco (Msinf)

Edad: Mioceno Superior (10,9 Ma a 12,3 Ma)

Unidad del tipo volcánica, Mpodozis *et al.*, (1995) la define como una secuencia de flujos piroclásticos y composición riolítica, la cual se compone por tobas poco soldadas, posiblemente asociados al colapso inicial de la Caldera Jotabeche. En cuanto a la edad de Ignimbrita Negro Francisco esta ha sido datada y publicada por Mpodozis *et al.* (1995) en el sector norte de la Laguna del Negro Francisco.

Volcanes Azufre y Azufre Norte (Msva(a))

Edad: Mioceno Superior (9,2 Ma)

Unidad del tipo volcánica, esta secuencia se compone por lavas, depósitos de bloques y cenizas del Volcán Azufre, las lavas de esta secuencia son de composición dacítica. En cuanto a la edad de esta unidad fue obtenida mediante el método de Potasio-Argon y publicada por Mpodozis, 1995.



Vista general de unidad correspondiente a Volcanes Azufre y Azufre Norte (Msva(a)).

Lavas Andesíticas y Daciandesíticas (Mml)

Edad: Mioceno Medio (12.1 Ma a 16.2 Ma)

Unidad del tipo volcánica, esta secuencia se encuentra conformada por lavas de composición andesítica y daciandesitas. En cuanto a la edad, esta fue medida por el método de Potasio-Argon en cerro Pastillitos, cerro Lagunillas y cerro Las Cluecas (Mpodozis, 1995a), por último, Iriarte *et al.*, (1995) realiza mediciones en el costado norte del volcán La Laguna.



Vista de roca correspondiente a Lavas Andesíticas y Daciandesíticas (Mml).



Complejos de Domos, Cuerpos Hipabisales y Depósitos Piroclásticos (OMv)

Edad: Oligoceno-Mioceno (21,4 Ma a 23 Ma (Mpodozis 1995a; Sillitoe *et al.*, (1991)).

Secuencia del tipo volcánica, la cual se encuentra dividida en dos grupos:

(a) Corresponde a un conjunto de domos y pórfidos de composición dacítica y andesítica.

(b) Corresponde a depósitos de brechas, flujos piroclásticos y extensos depósitos piroclásticos de caída, de composición dacítica.



Formación Astaburuaga (EOa)

Edad: Eoceno-Oligoceno (34.9 Ma)

Unidad del tipo volcánica, Mpodozis, (1995b) la define como una secuencia de brechas, tobas y lavas, la base de la secuencia está formada por rocas volcánicas conglomerádico-brechosas de color gris verdoso, rojo y púrpura, con clastos líticos que varían entre bloques hasta lapilli. La estratificación se hace más notoria desde la base hacia el techo de la unidad, acompañada de una disminución del tamaño de los clastos. Localmente se observa una alteración tipo arcilla-verde. La presencia de cristales rotos de cuarzo sugiere una composición dacítica (Callan, 2006).



Vista de fragmentos correspondiente a Formación Astaburuaga (EOa).



Vista general de unidad correspondiente a Formación Astaburuaga (EOa).

Formación La Ternera (TrJlt)

Edad: Triásico Superior-Jurásico Inferior

Corresponde a una secuencia volcánica, definida por Brüggen (1950) y modificada por Jensen (1976) se compone por andesitas, andesitas basálticas y basaltos de color gris oscuro a gris verdoso, además de flujos piroclásticos e intercalaciones de brechas volcanoclásticas.



Vista general de afloramientos correspondiente a Formación La Ternera (TrJlt).

Formación Pantanoso (Pep)

Edad: Pérmico

Secuencia de rocas volcánicas. Mercado (1982) la define como lavas riolíticas e intercalaciones de areniscas, conglomerados y brechas volcanoclásticas muy consolidadas, de color gris rojizo y rojizo, este se compone por depósitos de flujos piroclásticos. Las lavas tienen textura porfírica con fenocristales de plagioclasa, mientras que los depósitos de flujos piroclásticos incluyen tobas de ceniza, líticas y pumíceas.



Vista general de afloramientos correspondiente a Formación Pantanoso (Pep).

Intrusivos Hipabisales de Cerro Monardes (Pzhr)

Edad: Paleozoico Superior (287 Ma)

Esta unidad corresponde a intrusivos hipabisales riolíticos de color rojizo con grandes cristales de feldespato potásico, plagioclasa y característicos 'ojos' de cuarzo. Esta unidad intruye a las Tonalitas de Quebrada Monardes y está relacionada con diques graníticos.



Vista general de rocas correspondiente a Intrusivos Hipabisales de Cerro Monardes (Pzhr).



Paisajes

Podemos definir el paisaje como lo visible al ojo humano, sin embargo, esto ocasiona que su percepción sea diferente para cada observador (Trinca, 2005). Al existir diferentes percepciones de un mismo paisaje, este puede ser percibido de tantas maneras como observadores existan.

Santos (2000), lo define como “disciplina que siempre ha pretendido construirse como una descripción de la Tierra, de sus habitantes y de las relaciones de éstos entre sí y de las obras resultantes”. Debido a esto diversos autores han analizado el concepto paisajístico (Sorre,

1952; George, 1974; Dollfus, 1978), algunos definiéndolo como una ciencia propia y otros como una importante base de la geografía.

Las lagunas alto andinas (Negro Francisco y Santa Rosa) existentes en Parque Nacional Nevado de Tres cruces corresponden a lugares de alto interés paisajístico y turístico.

Estos humedales del tipo lagunas andinas constituyen sistemas de vegetación (vegas y bofedales), los cuales son ecosistemas frágiles y escasos.



Paisajes predominantes en Parque Nacional

Con el interés de representar de mejor manera los paisajes existentes del Parque Nacional Nevado de Tres Cruces el estudio en terreno se realizó seleccionando previamente los puntos de observación. De esta manera, se logra reproducir los ecosistemas presentes como lagunas altoandinas (Laguna Santa Rosa y Laguna del Negro Francisco) y corredor biogeográfico, evitando la visualización de actividades antrópica.

Laguna Santa Rosa

La Laguna Santa Rosa se ubica en las coordenadas UTM 482898E; 7004225N. (WGS 84 Huso 19) a 3.762 msnm, en el extremo sur del Salar de Maricunga, sin embargo, esta se considera una laguna independiente. La Laguna Santa Rosa corresponde a una depresión endorreica donde convergen aguas subterráneas y superficiales, en esta es posible reconocer gran cantidad de fauna como Flamencos y Camélidos. Desde el sector sur de la laguna es posible visualizar el macizo Nevado de Tres Cruces.





Pareja de Taguas cornuda (*Fulica cornuta*) en nidificación, siendo atacadas por gaviota andina (*Chroicocephalus serranus*).



Vista general de restos arqueológicos en Sector norte del Parque Nacional Nevado de Tres Cruces.



Vista general de Laguna Santa Rosa desde el mirador.



Vista de Parina Grande (*Phoenicoparrus andinus*) en Laguna Santa Rosa.



Tropilla de Guanacos (*Lama guanicoe*) con sus crias en sector de recuperación Laguna Santa Rosa.

Corredor Biogeográfico Bofedal Ciénaga Redonda

Vegas de Río Astaburuaga

Ubicado a 4.100 msnm, entre la Laguna Santa Rosa y la Laguna del Negro Francisco. Este corredor está compuesto por una red de bofedales, pajonales hídricos y vegas que regulan el sistema hídrico, este permite la estabilidad tanto del conjunto de lagunas del sector Laguna Santa Rosa, como de las Lagunas salada y salobre del sector Laguna del Negro Francisco.

Desde el año 1996 forma parte de la lista de humedales de Importancia Internacional (sitio Ramsar), destacándose los humedales: bofedal Ciénaga redonda, bofedal Quebrada Villalobos; vegas de Barros Negros, vegas de Valle Ancho, vegas de Pantanillo y vegas de Río Astaburuaga, donde destaca una gran riqueza de flora y de fauna.





Piuquenes (*Chloephaga melanoptera*) en Quebrada Villalobos.



Perdiz de la Puna (*Tinamotis pentlandii*).



Zorro Culpeo (*Lycalopex culpaeus*).



Tropilla de Vicuñas (*Vicugna vicugna*) en Río Astaburuaga.

Laguna Del Negro Francisco

Se ubica en las coordenadas UTM 476848E; 6962653N. (WGS 84 Huso 19) a 4.124 msnm. Es la cuenca cerrada más austral de la Cordillera de los Andes (Risacher *et al.*, 1999). En esta cuenca es posible reconocer gran cantidad de fauna como Flamencos, Taguas y avistamiento de Camélidos.





Vista general del Refugio perteneciente a CONAF en Laguna Del Negro Francisco.



Grupo de Parinas (*Phoenicoparrus andinus*) en laguna del Negro Francisco.



Flamenco chileno nidificando (*Phoenicopterus chilensis*) en laguna del Negro Francisco.



70

Vista de Parina Chica (*Phoenicoparrus jamesi*) en periodo de cortejo.



Vista general de Bofedal la Gallina; guardaparque Conaf.

Palabras finales

Gracias a la geología física e histórica es posible saber cuáles fueron los procesos que dieron origen al Parque Nacional Nevado de Tres Cruces y hace cuantos millones de años fueron originados. De igual manera los paisajes nos muestran la actualidad de la flora y la fauna existentes en el área.

Bajo las imponentes montañas que se encuentran a más de 5000 msnm, es posible observar ríos y lagunas altoandinas, las cuales sustentan vegas y bofedales, donde es posible reconocer Camélidos, como Guanacos y Vicuñas; Canídos como el Zorro culpeo, además de aves como Piuquenes, Flamencos, entre otras. Muestra de la gran biodiversidad existente en el parque.

Como autor mi interés por las ciencias naturales nace desde la niñez, donde fui atrapado por los colores y las siluetas de los cerros copiapinos, imaginando las formas de vida que caminaron por estas tierras millones de años antes que nosotros.

En el año 2016 tuve la oportunidad de realizar mi práctica profesional en el Parque Nacional Nevado de Tres Cruces. Impactado por lo indómito de su geología e impresionantes paisajes, nace la idea de dar a conocer la historia geológica de este lugar casi desconocido por muchos atacameños.

Conocer el Parque Nacional, es visitar un lugar donde sus Formaciones geológicas dan cuenta de casi 350 millones de años de historia, la cual espera pacientemente ser escuchada por los habitantes de la Región de Atacama.

Omar Vicencio Campos

Referencias

Bell, C. 1985. Chinches Formation: an Early Carboniferous lacustrine succession in the Andes of the northern Chile. *Revista Geológica de Chile* 24: 29-48.

Bissig, T.; Riquelme, R. 2009. Contrasting landscape evolution and development of supergene enrichment in the El Salvador porphyry Cu and Potterillios-El Hueso Cu-Au districts, Northern Chile. Society of Economic Geologists, Special Publication 14: 59-68.

Brüggen, J. 1950. Fundamentos de la Geología de Chile. Instituto Geográfico Militar (Chile): 374 p. Santiago.

Callan, N. 2006. Notes to Accompany 1:10.000 Geological Mapping, Pantanillo Property, Maricunga District. Informe privado Kinross Minera Chile Ltda. Santiago, Chile.

Chile, 1994. Decreto Supremo N°947 Crea Parque Nacional "Nevado De Tres Cruces" En la III Región

de Atacama y lo declara lugar de interés Científico" del Ministerio de Bienes Nacionales.

Conaf, 1997. Plan de Manejo Parque nacional Nevado Tres Cruces, documento de trabajo 255, Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional Forestal.

Cornejo, P.; Mpodozis, C.; Tomlinson, A. 1998. Hoja Salar de Maricunga, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos 7, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

Dollfus, O. 1978. El espacio geográfico. Oikos-Tau.

Cohen, K., Finney, S., Gibbard, P. y Fan, J. (2013; actualizada) The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes* 36: 199-204.

GEORGE, P. 1974. L'ère des techniques: constructions ou destructions. Presses Universitaires de France Paris.

González-Ferrán, O.; Baker, P.E.; Rex, D.C. 1985. Tectonic-volcanic discontinuity at latitude 27° South, Andean Range, associated with Nazca plate subduction. *Tectonophysics* 112: 423-441.

Iriarte, S.; Mpodozis, C.; Gardeweg, M. 1995. Mapa geológico de la Hoja Laguna del Negro Francisco, Región de Atacama. mapa escala 1:100.000. Santiago.(*)

Iriarte, S.; Ugalde, I.; Venegas, M. 1998. Hidrogeología de la Cuenca Laguna del Negro Francisco, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Documentos de Trabajo 10, 1 mapa escala 1:100.000.

Jensen, O. 1976. Geología de las nacientes del río Copiapó, entre los 27°53' y 28°20' de latitud sur, provincia de Atacama,

Chile. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología: 260 p. Santiago.

Mercado, M. 1982. Hoja Laguna del Negro Francisco, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile 56: 73 p., 1 mapa 1:100.000.

Mortimer, C. 1973. The Cenozoic history of the southern Atacama desert, Chile. *Journal of the Geological Society of London* 129 (5): 505-526.

Mpodozis, C. 1995a. Evolución magmática Terciaria de la región de transición entre ZVC y la zona de subducción subhorizontal de los Andes chilenos. Informe final proyecto Fondecyt 149/92, 2 Vols. 2 mapas escala 1:100.000. Santiago.(*)

Mpodozis, C. 1995b. Mapa Geológico de la región del Nevado Jotabeche. In Evolución magmática Terciaria de la región de transición entre ZVC y la zona de subducción subhorizontal de los Andes chilenos (Mpodozis 1995a). Informe final proyecto Fondecyt 149/92, 2 Vols. 2 mapas escala 1:100.000. Santiago.(*)

Mpodozis, C.; Allmendinger, R.; Jordan, J. 1991. La zona del Nevado de Jotabeche y Laguna del Negro Francisco: Evolución tectónica y volcánica de la extremidad meridional del Altiplano chileno. In Congreso Geológico Chileno, No. 6, Actas: 91-95. Viña del Mar.

Mpodozis, C.; Cornejo, P.; Kay, S.; Tittler, A. 1995. La Franja de Maricunga: síntesis de la evolución del Frente Volcánico Oligoceno-Mioceno de la zona sur de los Andes Centrales. *Revista Geológica de Chile* 21 (2): 273-313.

Mpodozis, C.; Iriarte, S.; Gardeweg, M.; Valenzuela, M. 2012. Carta Laguna del Negro Francisco, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 145: 30 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

Risacher, F., Alonso, H. and Salazar, C.,(1999). Geoquímica de aguas en cuencas cerradas: I, II y III regiones-Chile. Ministerio de Obras Públicas, 1, p.209.

Santos, M. 2000. La naturaleza del espacio. Técnica y tiempo. Razón y emoción. Editorial Ariel, S.A. Colección Geografía. Barcelona – España.

SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión1.0, 2003). Santiago

Sillitoe, R.H.; MacKee, E.H.; Vila, T. 1991. Reconnaissance K-Ar geochronology of the Maricunga gold-silver belt, Northern Chile. *Economic Geology* 86 (6): 1261-1270.

Spikerman, J. 2010. Elementos de Geología General. 1a ed. - Buenos Aires : Fundación de Historia Natural Félix de Azara ; Universidad Maimónides, 2010. Sorre, M. 1952. Les fondements de la géographie humaine. Paris, A. Colin.

Tarbuck E.J. y Lutgens F.K., Ciencias de la Tierra. Edit. Prentice Hall, edición 2005, trad. De 8^a ed. España.

Trinca, D. 2006. Paisaje natural, paisaje humanizado o simplemente paisaje. *Revista Geográfica Venezolana*, 47(1),113-118. ISSN: 1012-1617. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3477347730363007>

Otras fuentes:
<https://www.ramsar.org/es>

<https://humedaleschile.mma.gob.cl/ecosistemas/humedales/>

Glosario

Afloramiento: Área total donde un cuerpo rocoso particular, capa o veta alcanza la superficie de la Tierra. La parte de una roca, estrato o veta, que podemos ver en la superficie.

Andesita: Roca volcánica de composición intermedia, de variados colores predominando el pardo y el gris. Puede ser de grano fino o tener una textura porfírica. Es una de las rocas volcánicas más comunes en Chile.

Convenio RAMSAR: Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas.

Dacita: Roca volcánica con alto contenido de hierro, su composición es intermedia entre rocas andesíticas y riolíticas.

Domos: Elemento geológicos con aspecto de cúpula.

Foliada: Roca metamórfica caracterizada por tener forma alineada en bandas paralelas.

Halita: Sal de roca, mineral sedimentario químico, formado por precipitación.

Hipabisal: Rocas ígneas intrusivas que se originan cuando el magma se abre paso hacia la superficie a través de filones (Diques).

Ignimbrita: Acumulación piroclástica formada por partículas fundidas producto de la combinación de calor y peso del depósito.

Intrusión (intruido): Cuerpo de roca ígnea, este ha cristalizado a partir de magma fundido bajo la superficie terrestre, puede cristalizar al interior de rocas existentes.

Lapilli: Fragmentos piroclásticos, expulsados por un volcán durante una erupción, con un diámetro variable entre 2 a 64mm.

Matriz soportada: Sedimento o roca, en la que los granos están sujetos mediante la matriz.

Paleoniscoideos: Familia de peces que poseía sacos aéreos en la faringe, usaba estos sacos como vejiga natatoria. Dieron lugar a la mayoría de los peces óseos actuales. Este grupo se originó en el Silúrico.

Piroclasto: Materiales que salen expulsados con fuerza explosiva de un volcán durante una erupción. Los más comunes son bombas, piedras pómex, escoria y cenizas.

Porfídica: Roca con dos tamaños de grano marcadamente distintos. Los cristales de mayor tamaño reciben el nombre de fenocristales, englobados en una matriz la cual puede ser vítreo.

Potencia: Espesor de un estrato sedimentario.

Riolita: Roca magmática volcánica formada principalmente por cuarzo, ortoclasa y mica. Generalmente de colores claros, se produce por el enfriamiento de un magma tipo granítico.

Toba: Depósito de piroclastos tamaño ceniza, menos de 2mm.

Textura Afanítica: Cristales de pequeño tamaño, deben ser observarlos en microscopio para identificarlos. Se forman mediante el enfriamiento rápido de un magma. Las rocas de textura afanítica son características de rocas extrusivas o volcánicas.

Textura Porfídica: Se caracteriza por fenocristales (Fanerítica) relativamente grandes situados en una masa de grano más fino (Afanítica). Las rocas de textura porfídica son características de rocas Hipabisales.

Textura Fanerítica: Cristales de gran tamaño, estos pudiendo identificarlos en una muestra de mano. Las rocas de textura fanerítica son características intrusivas o plutónicas.

