



# Diagnóstico Paleontológico de la Región de Atacama

LEVANTAMIENTO BIBLIOGRÁFICO





# Contenido

**7** Tabla Cronoestratigráfica Internacional

**11** Glosario de terminología

**14** Introducción

## CONTEXTO DEL ESTUDIO

**19** Fósiles y potencial fosilífero

**22** Marco legislativo

**25** Geología de Atacama

## METODOLOGÍAS

**31** Bases de datos

31 Base de datos SEIA

32 Base de datos PBDB

**33** Sistemas de Información Geográfico (SIG)

## RESULTADOS

**36** Base de datos PBDB y el aporte del presente estudio

**37** Base de datos obtenida a partir del SEIA

**38** Ocurrencias fosilíferas en la Región de Atacama

**45** Zonas con riesgo de afectación

**48** Localidades fosilíferas vulnerables a escala comunal

48 Tierra Amarilla

50 Caldera

52 Vallenar

54 Huasco

56 Copiapó

58 Diego de Almagro

60 Chañaral

62 Alto del Carmen

64 Freirina

**66** Área fosilífera potencial y sesgo taxonómico

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

**73** Referencias



DOCUMENTO PREPARADO A  
PARTIR DEL REPORTE TÉCNICO N°1

## Estudio Diagnóstico Paleontológico de la Región de Atacama

### Estudio realizado por:

Corporación para la Investigación y Avance  
de la Paleontología e Historia Natural de Atacama

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas

### Informes y levantamientos bibliográficos:

Leandro Ledezma,

Mg (c) Matías González Tejos

### Supervisión del estudio:

Dr. Marcelo M. Rivadeneira

Dr. Martín Chávez Hoffmeister

### Cuidado Editorial:

Oswaldo Gianelli

### Diseño y diagramación:

Daniela Marambio Araya

### Completado en:

Abril 2022

# **Diagnóstico Paleontológico de la Región de Atacama**

LEVANTAMIENTO BIBLIOGRÁFICO

Corporación para la Investigación y  
Avance de la Paleontología e Historia Natural de Atacama

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas



## Tabla Cronoestratigráfica Internacional

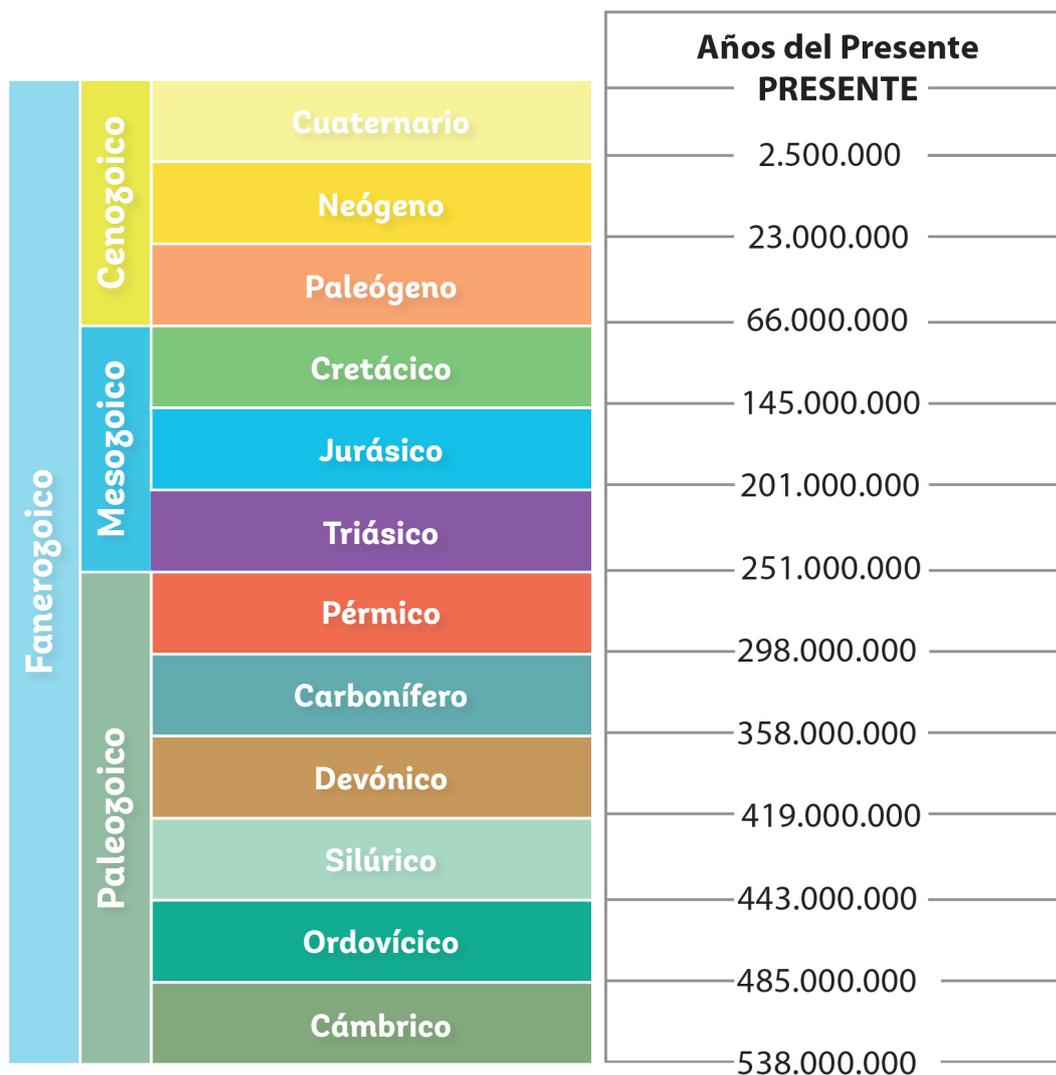


Imagen N° 1: Escala de tiempo geológico simplificada mostrando los principales intervalos del eón Fanerozoico.



El presente reporte contiene los resultados de una exhaustiva compilación de datos disponibles sobre los sitios paleontológicos de la Región de Atacama, georreferenciados así como no-georreferenciados, obtenidos en bases de datos públicos nacionales e internacionales. Este trabajo tiene el objetivo de contribuir al diseño de estrategias para el avance del conocimiento científico y la protección local de patrimonio paleontológico. Se lograron identificar cerca de 3000 localidades paleontológicas, 2600 de las cuales fueron integradas a la base de datos Paleobiology Database, facilitando su acceso público. Este registro regional abarca localidades que datan desde el Devónico tardío (360 millones de años), hasta el pasado reciente, e incluye el hallazgo de restos de plantas, animales y microorganismos. Se presentan también, mapas a escala regional, que permiten visualizar la distribución de ocurrencias fosilíferas, contribuyendo a la identificación de las áreas con mayor potencial de estudio y riesgo de vulneración patrimonial.



# Glosario de terminología

**CMN:** Consejo de Monumentos Nacionales.

**DIBAM:** Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos.

**Eón:** Término de mayor jerarquía en la clasificación del tiempo geológico. Se han definido dos: el Eón Precámbrico (4600 - 558 Ma) y el eón Fanerozoico (558 Ma al presente actual). Jerárquicamente, se ubica por sobre el término Era.

**Escala de tiempo geológico:** Escala de tiempo utilizada para contextualizar los eventos que han transcurrido en el planeta, comúnmente trabajados en escalas de miles a millones de años.

**Especie:** En paleontología, se define como conjunto de organismos morfológicamente similares asociados a una distribución geográfica/temporal delimitada. En este caso refiere a organismos fósiles con límites espaciotemporales arbitrarios que pueden distinguirse de otros por diferencias morfológicas cuantitativas y/o cualitativas. (Morrone, 2013) para mayor profundidad en este concepto.

**Estructura geológica:** Cualquier rasgo geomorfológico del terreno y subsuelo que pueda ser descrito en términos geológicos. Por ejemplo: acantilados, rocas, laderas, entre otros.

**Excavación:** Toda alteración o intervención de un sitio paleontológico, incluyendo recolecciones de superficie, pozo de sondeo, excavaciones, trabajos de conservación, restauración y, en general, cualquier acción que altere un sitio paleontológico.

**Fanerozoico:** Eón que concentra el registro paleontológico a nivel mundial y que comprende el intervalo de tiempo entre el periodo Cámbrico hasta la actualidad (558 Ma al presente).

**Fósil:** Cualquier resto o evidencia preservada en el registro geológico que permita identificar y/o inferir la existencia de vida pasada. Estos pueden ser excavados desde rocas, como sedimento consolidado y/o no consolidado.

**Hotspot:** Área con alta concentración de ocurrencias fosilíferas.

**Localidad fosilífera:** Lugar geográfico que en el que se han hallado fósiles, ya sea *in situ* o como rodados o desprendidos desde alguna estructura geológica.

**Ma:** Notación científica de Millones de años (Megannum).

**Ocurrencia:** Dato bibliográfico que contiene información sobre la existencia de fósiles en determinada localidad. Esta puede o no estar georreferenciada.

**Paleontología:** Ciencia que estudia la vida del pasado y su evolución utilizando como objeto de estudio el registro fósil.

**Paleontológico:** Relativo a la paleontología o al registro fósil.

**Paleontólogo:** Profesional académico (licenciado, magíster o doctor) con especialización teórico/práctica en el campo de la paleontología.

**PBDB:** Paleobiology Database. Sitio web académico utilizado como repositorio de información sobre la distribución y clasificación de animales, plantas y microorganismos fósiles.

**Periodo:** Término de jerarquía utilizado en la clasificación del tiempo geológico, ubicado entre Era y Época. Por ejemplo: periodo Pérmico, Jurásico y Paleógeno; pertenecientes a las eras Paleozoica, Mesozoica y Cenozoica, respectivamente.

**Prospección:** El estudio de la superficie de una localidad con el fin de descubrir uno o más sitios paleontológicos que pueden incluir pozos de sondeo y/o recolecciones de material de superficie.

**Red vial:** Vías de acceso y /o transporte construidas por el ser humano, como caminos, carreteras y rutas rurales; comúnmente complementadas por señaléticas e iluminación artificial.

**Región:** Región de Atacama.

**Rescate paleontológico:** Prospección y/o excavación paleontológica realizada por un equipo de paleontólogos profesionales con la previa autorización del Consejo de Monumentos Nacionales.

**SEIA:** Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Instrumento de gestión de impacto ambiental supeditado al Servicio de Evaluación Ambiental, perteneciente a la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA.

**SERNAGEOMIN:** Servicio Nacional de Geología y Minería, supeditado al Ministerio de Minería.

**Taxón:** Grupo o categoría utilizada en taxonomía para la clasificación jerárquica de seres vivos. Plural: Taxa.

# Introducción

La Región de Atacama se ha caracterizado históricamente por sus depósitos fosilíferos conocidos a nivel mundial por su abundancia, diversidad y la calidad de su preservación. Aquí se han hallado dinosaurios, reptiles voladores, tiburones gigantes, las huellas de vertebrados más antiguas en el país y numerosos invertebrados, entre otros. Estos depósitos abarcan desde el Devónico tardío (360 Ma) en adelante, posicionando a la Región de Atacama como una de las regiones con el registro de hallazgos fósiles más extenso en el país. Esto otorga un acceso único para entender la extensa historia natural que ha transcurrido en nuestro territorio.

El presente informe se generó gracias al acuerdo de colaboración entre la Corporación de Investigación y Avance de la Paleontología e Historia Natural de Atacama (CIAHN Atacama) y el Centro de Estudios Avanzados de Zonas Áridas (CEAZA), siendo resultado de su primer proyecto de investigación “**Estudio Diagnóstico Paleontológico de la Región de Atacama**”, ejecutado entre octubre de 2021 y abril de 2022. Esta primera etapa tuvo por objetivo la elaboración de una base de datos que reuniera información paleontológica esencial, señalando localidades de interés para estudios futuros y evaluar zonas en riesgo de afectación (i.e. intervención, destrucción, erosión), permitiendo considerar posibles medidas de protección y puesta en valor del patrimonio paleontológico regional.

Con este fin, se inició una extensa búsqueda de los antecedentes de hallazgos de fósiles en la región a través de fuentes académicas. La información georreferenciada de las localidades paleontológicas se compiló y fue comparada con distintas fuentes, incluyendo el Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y la base de datos internacional *Paleobiology Database* (PBDB). La información en dichas bases de datos fue complementada con las localidades fosilíferas y hallazgos informados en las diferentes cartas geológicas disponibles para la Región, así como en publicaciones en revistas científicas, tesis de grado, actas de congresos y documentación oficial asociada a organizaciones y entidades gubernamentales nacionales (ej. DIBAM, SERNAGEOMIN).

Se presentan los resultados obtenidos en esta etapa de estudio, haciendo énfasis en el material cartográfico generado. Adicionalmente, se ofrece el contexto legislativo e información a tener en consideración para llevar a cabo acciones de protección del patrimonio paleontológico, así como posibles líneas de trabajo a futuro, asociadas al estudio y exploración de sitios paleontológicos ubicados en la Región.



# Contexto del estudio





## Fósiles y potencial fosilífero

Se denominan fósiles a los restos directos o indirectos de seres vivos del pasado que se han conservado hasta el presente a través de diversos procesos químicos y geológicos. Estos pueden ser desde huesos o conchas e incluso huellas que dejaron los organismos del pasado y que han sobrevivido hasta la actualidad, gracias a su incorporación a sedimentos o rocas. Si bien los elementos duros de los seres vivos tienen mayores probabilidades de ser preservados, bajo las circunstancias adecuadas, casi cualquier tejido o ser vivo se podría fosilizar. Los fósiles, son por lo tanto, un acceso directo que nos permiten conocer los organismos del pasado y pueden brindarnos información sobre el origen de la biodiversidad actual, e incluso brindar información concreta acerca de los cambios ambientales que ocurrieron en el planeta millones de años atrás.

Los fósiles son elementos integrales de las rocas sedimentarias. El proceso de fosilización normalmente es mediado por el entierro de los organismos en distintos tipos de sedimentos (ej. arena, limo, arcilla), que posteriormente pueden pasara convertirse en rocas. Incluso las lavas pueden en ocasiones contener restos paleontológicos. El único tipo de roca en el que no pueden hallarse fósiles, son las rocas ígneas plutónicas, formadas por el enfriamiento del magma al interior de la tierra, y las metamórficas que derivan de ellas. Debido a que las condiciones para que ocurra la fosilización son muy singulares, no todas las rocas sedimentarias contienen fósiles. Es por esto que la determinación del tipo de roca presente en una localidad, no siempre es suficiente para poder establecer su potencial de fosilífero y la susceptibilidad patrimonial del área, por lo que siempre se requiere un estudio cuidadoso de los sustratos y una exploración directa.

Paleontología es la ciencia que estudia la vida del pasado y su evolución, utilizando como principal objeto de estudio el registro fósil. Esta ciencia es una

disciplina de las Ciencias de la Tierra, que integra conocimientos de Biología y Geología, razón por la cual, la mayoría de los profesionales dedicados a ella, provienen de una de dichas áreas. Se considera una ciencia de síntesis, ya que integra conocimientos y herramientas de disciplinas tan distintas como biomecánica, informática y química, las que contribuyen en su conjunto a entender cómo eran los seres vivos del pasado. A su vez, la paleontología se divide en diversas subdisciplinas, dado que estudia los fósiles de todos los seres vivos, vertebrados o invertebrados, marinos o continentales, grandes o pequeños.

En el contexto de la evaluación de posibles impactos sobre localidades fosilíferas, el potencial fosilífero de una localidad en Chile debe ser declarado en una de las siguientes tres categorías definidas en el Ítem 2.1 de la Guía de Informes Paleontológicos (CMN, 2016):



**Estéril.** Corresponden a aquellas rocas o sedimentos que debido a cómo se forman, poseen un potencial fosilífero bajo o nulo. Esto incluye unidades que corresponden a cuerpos intrusivos (formados por la solidificación de magma) y productos volcánicos de alta temperatura y energía (ej. coladas de lava), excepto ciertos tipos de depósitos volcánicos (ej. ignimbritas, turbiditas volcánicas). En caso de tener una unidad sedimentaria sin antecedentes bibliográficos de presencia de fósiles y que en terreno se haya constatado que carece de elementos fósiles o características sedimentológicas propicias para tenerlos (ej. flujo altamente energético), podrá incluirse en esta categoría.



**Susceptible.** Corresponden a aquellas unidades con potencial fosilífero medio a bajo, correspondientes a rocas sedimentarias y volcanosedimentarias con facies con posibilidad de contener fósiles, aun cuando carezcan de antecedentes paleontológicos bibliográficos. Desde el punto de vista sedimentológico, se trata de facies que por el ambiente sedimentario que representan, podrían albergar restos paleontológicos. Esto incluye una amplia gama de sedimentos no consolidados (ej. limos, arenas, conglomerados),

rocas derivadas de estos con (ej. pizarra) o sin metamorfismo (ej. areniscas) y productos volcánicos de moderada a baja energía (ej. tobas). También se incluyen en esta categoría unidades que han sido cartografiadas con una escala inadecuada para localizar dónde se encuentran sus niveles susceptibles y/o fosilíferos.



**Fosilífera.** Son aquellas unidades sedimentarias y volcanosedimentarias, para las cuáles se ha reportado previamente la presencia de fósiles, tanto en la literatura (artículos y resúmenes científicos, SEIA, etc.) como durante la inspección visual en terreno. Su potencial fosilífero es usualmente considerado alto a medio. En general, las rocas o sedimentos presentes dentro del área de estudio para los cuales existen antecedentes bibliográficos de la presencia de fósiles, aun cuando estos procedan de localidades distantes, deben ser consideradas fosilíferas.

Las categorías descritas son importantes dado que determinan las medidas de mitigación y compensaciones exigidas a los proyectos de inversión que se emplacen en áreas que puedan afectar restos paleontológicos y deben ser establecidas durante el proceso de evaluación ambiental.

## CONTEXTO DEL ESTUDIO

### Marco legislativo

En Chile, la protección del patrimonio paleontológico se fundamenta en su estatus de monumento nacional, al reconocer que su protección interesa a la ciencia y la comunidad en general. La protección y el accionar respecto al patrimonio paleontológico se encuentran regulados por la Ley 17.288 de Monumentos Nacionales. A su vez, se complementa con el Decreto Supremo 484 Reglamento sobre Excavaciones y/o Prospecciones Arqueológicas, Antropológicas y Paleontológicas. Dichas normativas establecen al Consejo de Monumentos Nacionales (CMN) como el organismo técnico del Estado responsable de salvaguardar el patrimonio paleontológico en su cualidad de Monumento Nacional y fundamentan la incorporación del componente paleontológico durante la evaluación de proyectos o actividades ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), tal y como establece la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

El Título V (De los Monumentos Arqueológicos, de las Excavaciones e Investigaciones Científicas Correspondientes) de la Ley 17.288, establece las definiciones y procedimientos a seguir ante hallazgos paleontológicos, siendo los siguientes artículos los más relevantes para el presente texto:



**Artículo 21°.-** Por el solo ministerio de la ley, son Monumentos Arqueológicos de propiedad del Estado los lugares, ruinas, yacimientos y piezas antro-po-arqueológicas que existan sobre o bajo la superficie del territorio nacional. Para los efectos de la presente ley quedan comprendidas también las piezas **paleontológicas y los lugares donde se hallaren.**



**Artículo 22°.-** Ninguna persona natural o jurídica chilena podrá hacer en el territorio nacional excavaciones de carácter (...) **paleontológico**, sin haber obtenido previamente autorización del Consejo de Monumentos Nacionales, en la forma establecida por el Reglamento. La infracción a lo dispuesto en este artículo será sancionada con una multa de 10 a 500 UTM, sin perjuicio del decomiso de los objetos que se hubieren obtenido de dichas excavaciones.



**Artículo 26°.-** Toda persona natural o jurídica que al hacer excavaciones en cualquier punto del territorio nacional y con cualquier finalidad, encontrare (...) yacimientos, piezas u objetos de carácter (...) **paleontológico**, está obligada a denunciar inmediatamente el descubrimiento al Gobernador del Departamento, quien ordenará a Carabineros que se haga responsable de su vigilancia hasta que el Consejo se haga cargo de él. La infracción a lo dispuesto en este artículo será sancionada con una multa de 5 a 200 UTM, sin perjuicio de la responsabilidad civil solidaria de los empresarios o contratistas a cargo de las obras, por los daños derivados del incumplimiento de la obligación de denunciar el hallazgo.

La legislación chilena no solo exige que toda excavación o alteración de bienes paleontológicos sea realizada por paleontólogos profesionales, sino que también exige informar de cualquier hallazgo casual de fósiles sin importar el contexto. En la práctica, las denuncias de hallazgos paleontológicos suelen realizarse directamente a CMN, o bien, a instituciones afines que pueden canalizar las denuncias hacia el consejo (ej. museos locales, universidades), siendo usualmente la Brigada Investigadora de Delitos contra el Medio Ambiente y Patrimonio Cultural (Bidema) de la Policía de Investigaciones (PDI) la que atiende este tipo de infracciones.

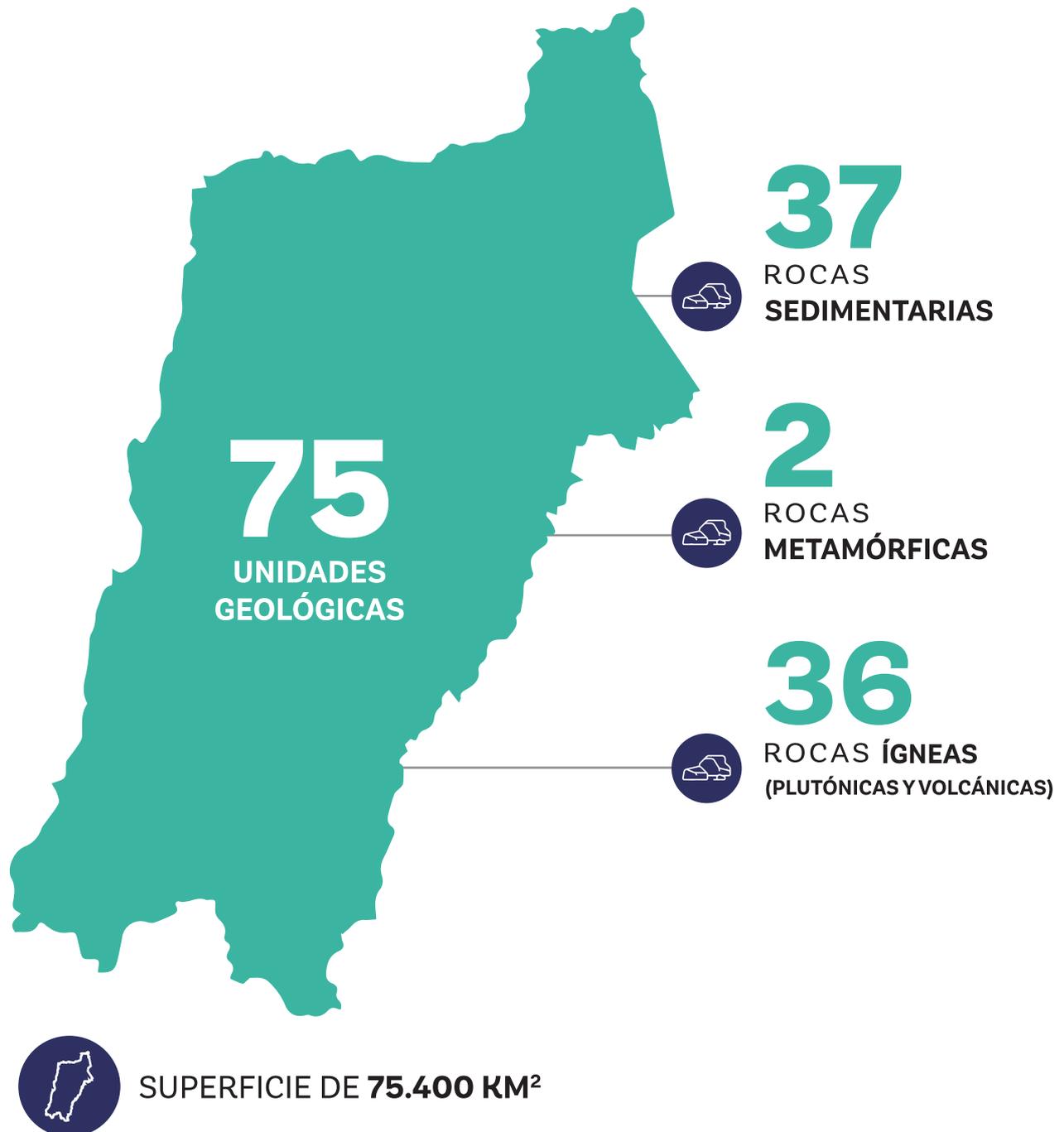
El Artículo 6 del Decreto Supremo 484, establece que los permisos de excavaciones solo pueden concederse a investigadores con preparación científica paleontológica debidamente acreditada. No obstante, los criterios específicos con los que CMN establece dicha acreditación son materia interna de dicho estamento y no se establece explícitamente en el decreto supremo. Esto plantea algunas dificultades, dado que actualmente en Chile no existe formación académica orientada adecuadamente hacia la paleontología a niveles de pregrado, ni título profesional. En la práctica, esto significa que quienes se forman como paleontólogos en Chile lo hacen usualmente desde carreras afines y mediante la participación en actividades extra curriculares asociadas a laboratorios e investigadores que se encuentren desarrollando estudios paleontológicos dentro de sus instituciones. Por esta razón, la acreditación de experiencia académica y participación en investigación científica en el ámbito paleontológico se vuelven fundamentales para validar a un profesional como paleontólogo.

## Geología de Atacama

La región de Atacama posee una geología extraordinariamente rica en depósitos minerales, así como un extenso registro de los procesos que han moldeado a nuestro país a lo largo de millones de años. Por ejemplo: uno de los elementos estructurales más importantes de la Cordillera de los Andes es la anomalía estructural de Atacama, conocida como la Zona de Falla de Atacama, que empieza desde Iquique (20°S) hasta Los Vilos (32°S). En nuestra región esto se manifiesta en el segmento El Salado-Vallenar, que ha estado intermitentemente activo desde el Jurásico temprano (aprox. 180 Ma) y configura gran parte de las estructuras de Atacama (Moreno & Gibbons, 2013). A partir del Cretácico la subducción se vuelve de "tipo Andino", es decir, equivalente a la que conocemos en la actualidad. La región también destaca por la abundancia de zonas de alteración hidrotermal, diques y vetas que en ocasiones formaban en conjunto depósitos de cobre, plata, oro y hierro.

Existe una predominancia de rocas ígneas y sedimentarias clásticas en la región, con una baja representación de rocas metamórficas. Específicamente, la región contiene un total de 75 unidades geológicas en su superficie, con una distribución única y desigual en el espacio-tiempo. 37 corresponden a rocas sedimentarias, 36 a rocas ígneas (plutónicas y volcánicas) y 2 a rocas metamórficas abarcando una superficie de 75.400 Km<sup>2</sup>. En lo que respecta a su edad, las unidades suelen formar franjas de distribución con orientación N-S, con dominancia de depósitos Neógenos asociado al borde costero, una franja de edad Cretácica hacia el borde oriental de la Depresión Central y el borde occidental de la Cordillera de Domeyko (Charrier et al., 2009), y una tercera franja principalmente de edad Jurásica y Triásica a lo largo de la Cordillera de Domeyko.

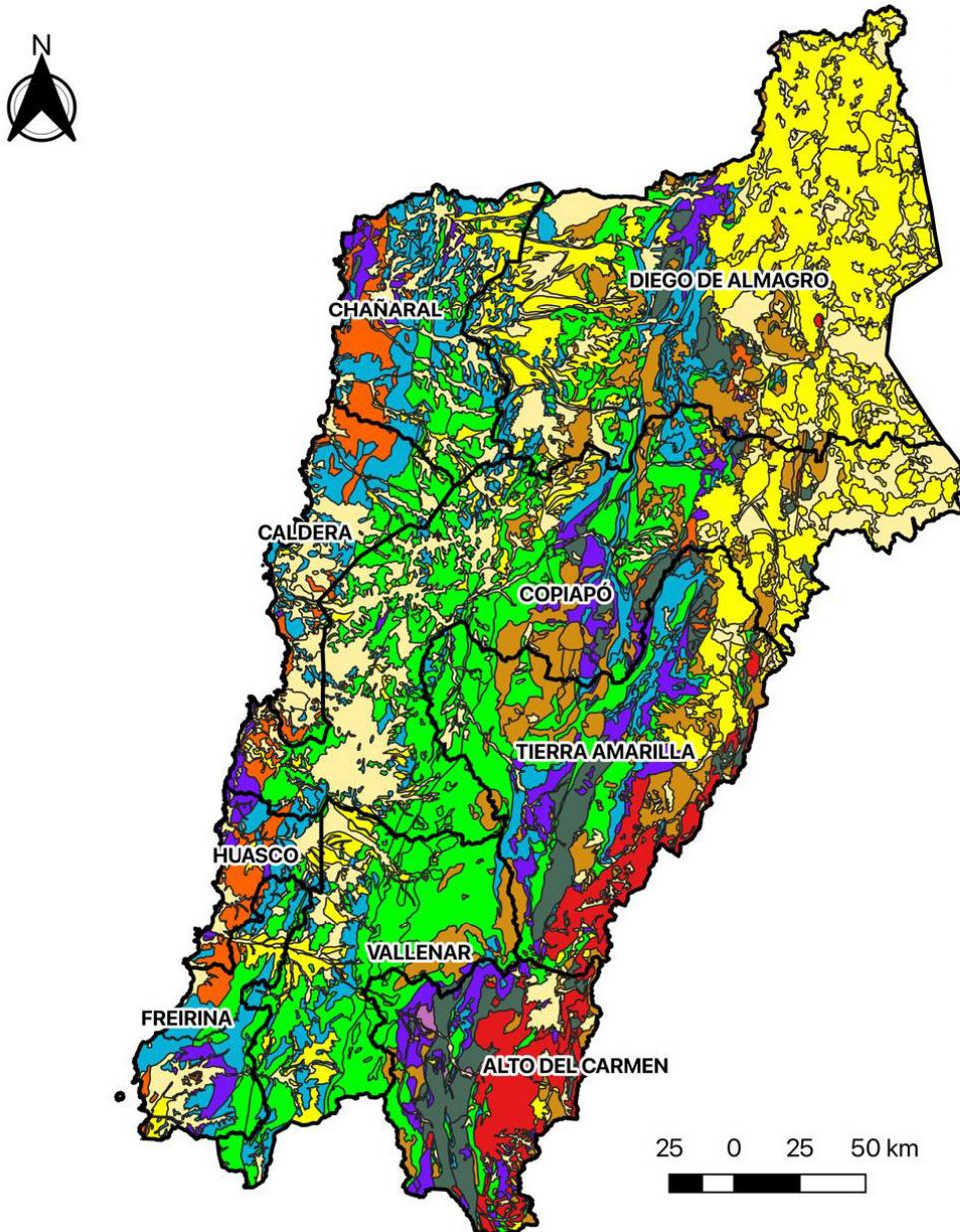
## Unidades geológicas en la Región de Atacama



**\*Distribución única y desigual en el espacio-tiempo**

Imagen N° 2: Mapa de la Región de Atacama de acuerdo a sus unidades geológicas.

## Mapa de Afloramientos por Edad Geológica de la Región de Atacama



### Simbología

Cuaternario	Cretácico	Pérmico	Precámbrico
Neógeno	Jurásico	Carbonífero	
Paleógeno	Triásico	Devónico	

Imagen N° 3: Mapa de Distribución de los afloramientos geológico de la Región de Atacama de acuerdo a su edad geológica.



# Metodologías





## M E T O D O L O G Í A S

# Bases de datos

La información paleontológica utilizada en este trabajo fue obtenida mediante la revisión de diferentes fuentes de información académica de origen nacional (i.e. boletines de museos nacionales, congresos científicos, informes de impacto ambiental) e internacional (i.e. revistas científicas con *peer-review*, congresos internacionales, bases de datos). Como resultado de dicha compilación, se generaron dos grandes bases de datos separadas:

- Datos inéditos hallados en Informes Paleontológicos ingresados al SEIA
- Ocurrencias fosilíferas publicadas e ingresadas a PBDB.

**Base de datos SEIA.** Para la construcción de esta base de datos, se utilizaron los informes de impacto sobre el componente paleontológico disponibles en la página del Servicio de Evaluación Ambiental (<https://www.sea.gob.cl/>). Se realizó una revisión de las ocurrencias fosilíferas mencionadas en todos los proyectos que poseen un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) en la Región de Atacama, filtrados a nivel administrativo de Comuna en el periodo 2010-2022. Se utilizó este intervalo por ser el que concentra los informes dedicados específicamente a este componente, puesto que, previo a 2010 rara vez se evaluó explícitamente esta categoría patrimonial.

Las ocurrencias aquí compiladas son en su mayoría inéditas (solo han sido identificadas durante la realización de líneas de base en el componente paleontológico, por lo tanto son considerados reportes preliminares sujetos a verificación futura). Por esta razón estos datos no fueron subidos a PBDB y la base de datos es considerada de uso reservado por las instituciones que participaron del proyecto. Estas ocurrencias fueron ingresadas en una matriz de elaboración propia, la cual contiene el contexto espacio-temporal y la identificación taxonómica

de mayor resolución disponible de cada ocurrencia. Los detalles sobre los ingresos de esta base de datos pueden ser requeridos por autoridades locales mediante consulta a CIAHN Atacama.

**Base de datos PBDB.** Corresponde a la principal base de datos. Para su elaboración se realizó una extensa búsqueda bibliográfica de ocurrencias paleontológicas conocidas en la Región, la cual fue ingresada a la plataforma en línea PBDB (<https://paleobiodb.org>). Las fuentes corresponden a:



Mapas geológicos y sus correspondientes informes, generados por el SERNAGEOMIN, principalmente la Serie Geología.



Actas y libros de resúmenes de congresos geológicos y simposios paleontológicos chilenos.



Publicaciones en revistas y boletines nacionales e internacionales.

Las nuevas ocurrencias identificadas que contenían coordenadas geográficas disponibles (GPS) fueron adicionadas en la página de la PBDB, donde pueden ser consultadas de forma gratuita y permanente utilizando diferentes interfaces de visualización. Posteriormente se descargó la base de datos actualizada y se filtraron las ocurrencias redundantes debido a la duplicación de taxones en ciertas localidades.

## M E T O D O L O G Í A S

# Sistemas de Información Geográfico (SIG)

Mediante el uso del SIG de código libre y gratuito QGIS (Versión 3.16.10) se elaboraron mapas de distribución geográfica de las ocurrencias paleontológicas con las bases de datos del SEIA y PBDB complementadas con las capas vectoriales disponibles en la página de la DIBAM ([https://www.bcn.cl/siit/mapas\\_vectoriales/index\\_html](https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales/index_html)). Las capas vectoriales (.shp) utilizadas en este trabajo corresponden a las divisiones administrativas de región, provincia y comuna; sumados a otras capas complementarias como las redes viales (hasta el año 2019), redes hidrográficas y zonas urbanas, con la finalidad de evaluar las relaciones geográficas entre datos y capas vectoriales. De forma complementaria, se utilizaron diferentes fondos (*basemap*) según la finalidad del mapa, se generaron mapas de calor (*heatmaps*) para la visualización de la densidad de ocurrencias, y se utilizaron las tablas de datos de las bases de datos para el cálculo de ocurrencias por división administrativa y temporal, y estimaciones del área fosilífera potencial.



# Resultados



## RESULTADOS

### Base de datos PBDB y el aporte del presente estudio

Completado el ingreso de datos a la plataforma PBDB, el total de entradas para la región de Atacama alcanzó las 4.727 ocurrencias. 1.705 corresponden a ingresos bajo el autorizador supervisor del presente estudio, M. Rivadeneira. 1.294 de estos ingresos fueron subidos durante el desarrollo del presente estudio. Posteriormente se filtraron los posibles duplicados generados en la plataforma a causa de las fuentes utilizadas o la forma de ingreso de los taxa (ej. repetición de taxa en múltiples colecciones asociadas a una misma coordenada), tras lo cual, se redujo el total de localidades fosilíferas a 2.677 válidas. Como resultado, el aporte total de las ocurrencias compiladas durante el presente proyecto representa el 48% del total de ingresos validados en nuestra base de datos.

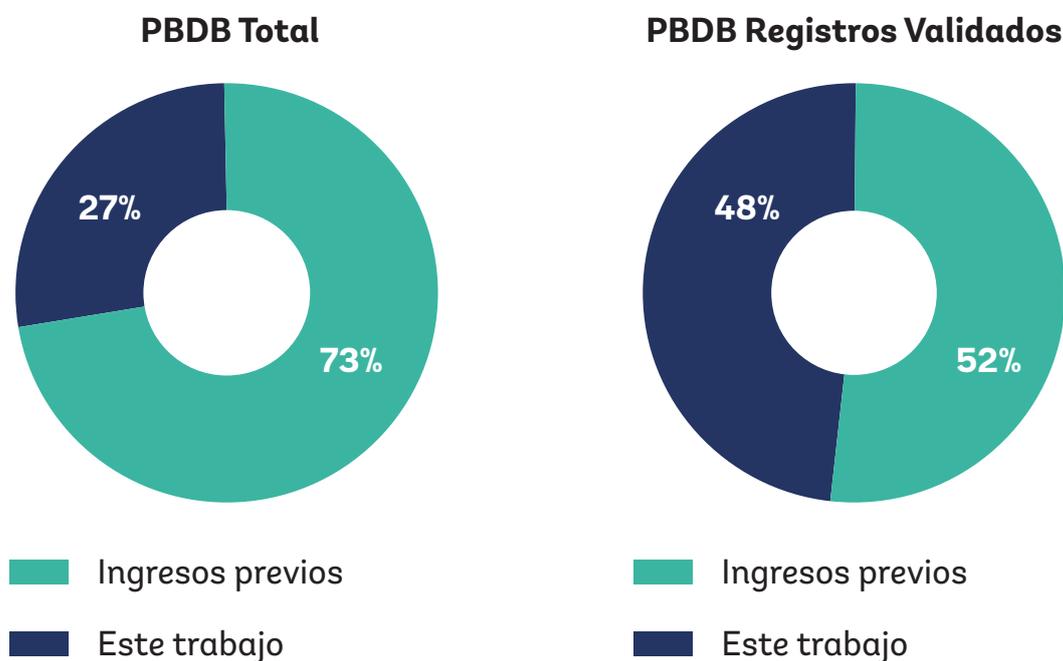


Gráfico N° 1: Representación gráfica del volumen de datos paleontológicos aportados por el presente estudio y su variación posterior a la verificación de redundancias.

## RESULTADOS

# Base de datos obtenida a partir del SEIA

En lo que respecta a la base de datos generada tras la revisión de informes en el portal SEIA, se obtuvieron un total de 266 ocurrencias y 109 localidades fosilíferas extraídas de 140 reportes técnicos paleontológicos de un total de 3.000 estudios de impacto ambiental disponibles para la región. Cabe mencionar que todos estos reportes corresponden a información paleontológica no disponible, ni ingresada en ninguna otra base de datos, por lo que corresponde a ocurrencias inéditas. Es importante enfatizar que solo el 4,6% de los estudios de línea de base analizados reportan la existencia de localidades fosilíferas para la región, poniendo de manifiesto la necesidad de ampliar el requerimiento de analizar el componente paleontológico en la región.

### Base de datos generada tras la revisión de informes en el portal SEIA



Imagen N° 4: Reportes correspondientes a la información paleontológica no disponible, ni ingresada en ninguna otra base de datos.

## R E S U L T A D O S

## Ocurrencias fosilíferas en la Región de Atacama

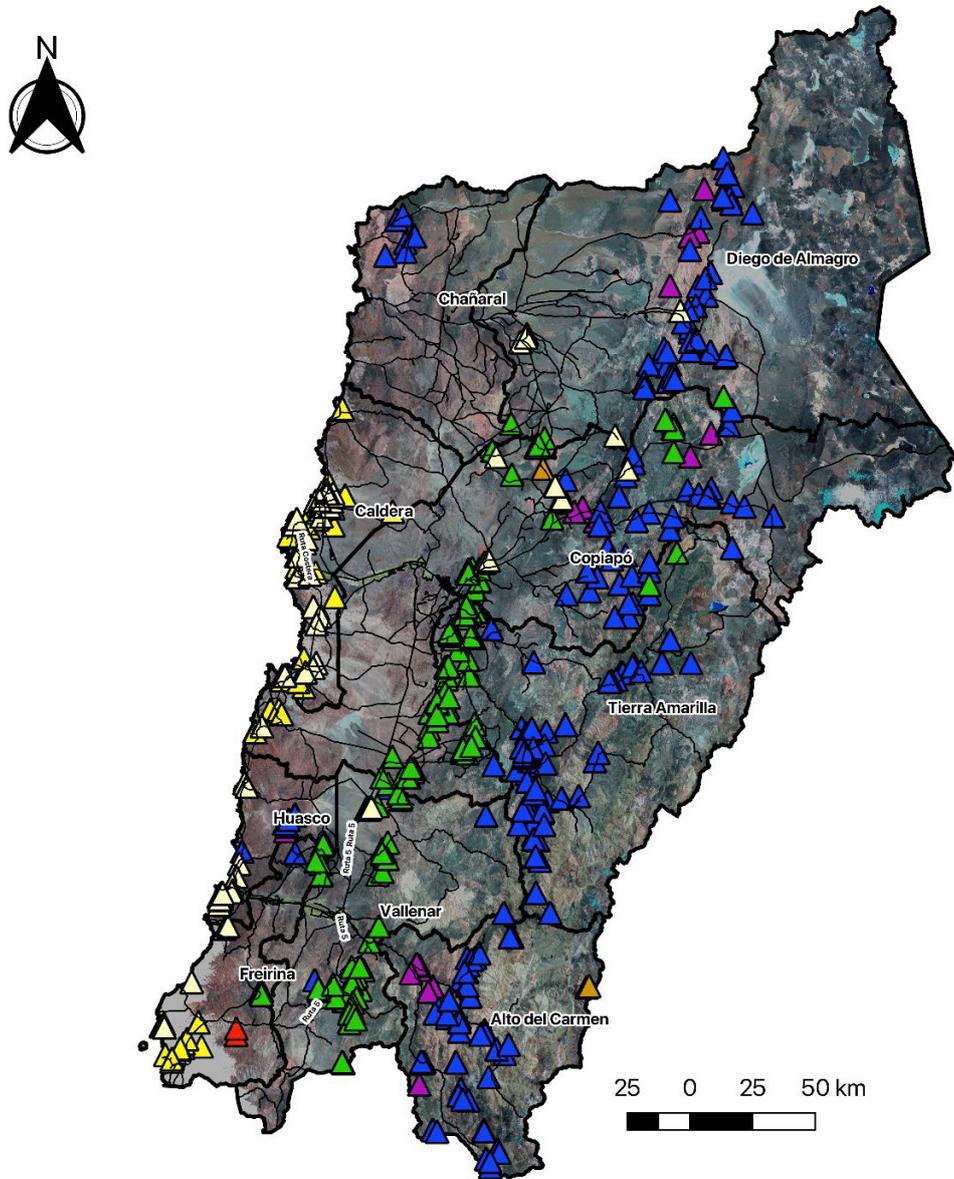
Una vez integradas ambas bases de datos, se contabilizaron 2.943 ocurrencias fosilíferas en la Región de Atacama, la mayor parte de las cuales, fue extraída de la literatura técnico-académica disponible y está disponible a través de la plataforma PBDB. El restante 9% corresponden a ocurrencias inéditas detectadas durante procedimientos de evaluación de impacto ambiental.

BASE DE DATOS	OCURRENCIAS
PBDB	2.677
SEIA	266
<b>Total</b>	<b>2.943</b>

Tabla N° 1: Desglose de las ocurrencias totales de la Región de Atacama, según cada base de datos.

Regionalmente, estas ocurrencias muestran una marcada tendencia a formar franjas de distribución con orientación N-S, directamente asociadas a las franjas de rocas que se disponen a lo largo de la región. Es decir, de oeste a este, observamos que el registro Cenozoico está fuertemente asociado a una franja de 25 Km a lo largo del borde costero, seguido por una franja de edad Cretácica hacia el oriente de la Depresión Central y occidente de la cordillera, mientras que el registro andino está dominado por una tercera franja de edad Jurásica y parches Triásicos. Cabe destacar que este patrón es interrumpido en el extremo noroccidental de la región entorno al área de Pan de Azúcar, donde es posible hallar múltiples localidades Jurásicas en la franja de 25 km al este de la costa. Esta disposición en franjas puede atribuirse a que la exposición de rocas en la Cordillera de Domeyko se encuentra fuertemente influenciada por la tectónica del margen occidental Andino, que desde el Jurásico se ha mantenido en un proceso de subducción activa continua (Charrier et al., 2007). Esto ha generado el apilamiento de “bloques” de corteza uno sobre otro, produciendo el alzamiento de rocas más antiguas y la posterior remoción de las rocas expuestas en superficie, eliminando la mayor parte de las unidades más jóvenes en el proceso. Esto significa que los depósitos Cenozoico han sido removidos de los lugares donde las rocas Mesozoicas se encuentran expuestas.

## Ocurrencias Fanerozoicas de la Región de Atacama, Chile



### Simbología

—	Red vial	▲	Neógeno	▲	Jurásico
—	Límites administrativos	▲	Paleógeno	▲	Triásico
▲	Cuaternario	▲	Cretácico	▲	Pérmico

Imagen N° 5: Mapa de ocurrencias fosilíferas identificadas por tiempo geológico de la Región de Atacama.

La distribución y cantidad de las ocurrencias se pueden observar de forma clara en el mapa de calor generado a nivel regional, donde identificamos con claridad los tres principales *hotspots* de la paleontología regional, cada uno con más de 100 ocurrencias en un radio de 10 Km:



Los depósitos Neógenos de la Formación Bahía Inglesa entorno a la ciudad de Caldera en la comuna del mismo nombre.



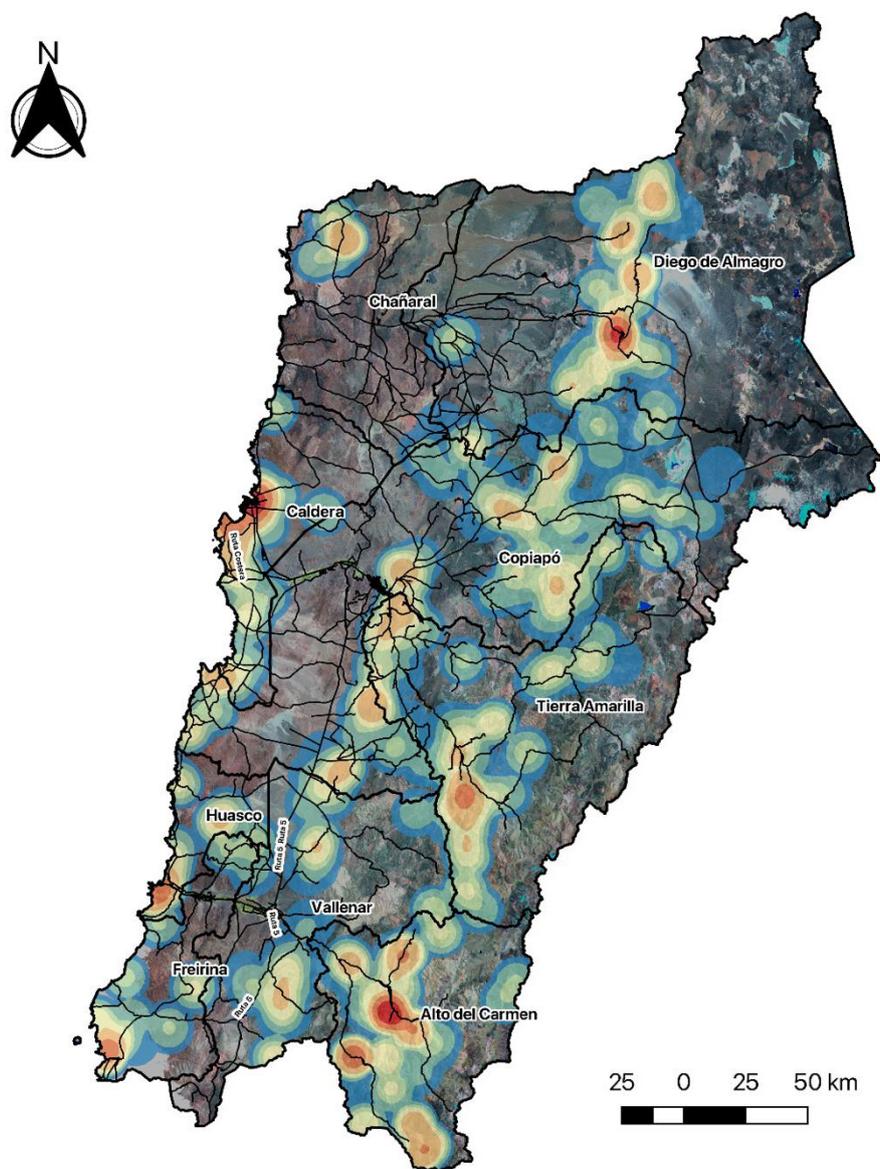
Los afloramientos Jurásicos de la Formación Lautaro entre los poblados de El Tránsito y Pinte en la comuna de Alto del Carmen.



Los niveles Jurásicos de la Formación Asiento en Quebrada El Asiento al este de Potrerillos, en la comuna de Diego de Almagro.

También se distinguen 15 *hotspots* menores que se encuentran repartidos en todas las comunas, a excepción de Vallenar donde solo se conocen ocurrencias aisladas.

## Hotspots de colecciones fosilíferas PBDB + SEIA, Región de Atacama, Chile



### Simbología

- Red vial
- Límites administrativos

### Colecciones por radio de 10km

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <span style="color: blue;">■</span> 1            | <span style="color: yellow;">■</span> ]10-20]      | <span style="color: red;">■</span> >100 |
| <span style="color: teal;">■</span> ]1-5]        | <span style="color: orange;">■</span> ]20-50]      |   |
| <span style="color: lightgreen;">■</span> ]5-10] | <span style="color: darkorange;">■</span> ]50-100] |   |

Imagen N° 6: Mapa de calor de las ocurrencias fosilíferas de la Región de Atacama generado desde la integración de las bases de datos del SEIA y PBDB. Los códigos de color indican la densidad de ocurrencias en un diámetro de 10 km, las cuales fueron sobrepuestas a un mapa base geográfico con las redes viales incluidas.

Respecto a la cantidad de ocurrencias, según la división de tiempo geológico, se observa un claro dominio del Jurásico, con un total de 1.553 ocurrencias, seguido de ocurrencias Cuaternarias (501), Cretácicas (414) y Neógenas (331). La gran mayoría de registros cuaternarios en la región, corresponden a depósitos marinos y, existe a la fecha, una escasa representación de elementos continentales que son comunes en otras regiones, como es el caso de la megafauna pleistocénica. Esto se replica en el caso de los registros Neógenos, provenientes casi exclusivamente de la Formación Bahía Inglesa, la que representa ambientes marinos. El registro mesozoico también está dominado por fósiles de organismos marinos, particularmente invertebrados, aunque existen también múltiples localidades con restos de animales y plantas terrestres, particularmente del Triásico y Cretácico.

En el caso de la distribución por divisiones administrativas a nivel de comuna, Alto del Carmen posee la mayor cantidad de localidades ingresadas (626), seguida por las comunas de Copiapó (543), Caldera (425) y Diego de Almagro (405). Como se ha mencionado, las comunas de Alto del Carmen, Caldera y Diego de Almagro, son las únicas que incluyen áreas con una densidad mayor a 100 ocurrencias usando radios de 10 km, siendo además comunas que superan las 400 ocurrencias registradas a la fecha. A estas se suma la comuna de Copiapó, en la que a pesar de tener densidades que como máximo oscilan entre 20 - 50 ocurrencias, poseen en total una de las áreas con mayor registro de fósiles para la región. En contraste, la comuna con el menor número de ocurrencias registradas es Chañaral con solo 68, todas las cuales se encuentran asociadas al área Pan de Azúcar en la zona noroeste y poseen una edad Jurásica.

## Número de ocurrencias fosilíferas por tiempo y comuna en la Región de Atacama

Comuna	Fanerozoico											Total	
	Paleozoico					Mesozoico			Cenozoico				
	Cámbrico	Ordovícico	Silúrico	Devónico	Carbonífero	Pérmico	Triásico	Jurásico	Cretácico	Paleógeno	Neógeno		Cuaternario
Caldera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	162	263	425
Tierra Amarilla	-	-	-	-	-	-	-	315	72	-	-	-	387
Vallenar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	145
Huasco	-	-	-	-	-	-	15	25	5	-	-	140	185
Copiapó	-	-	-	-	1	-	36	207	169	1	50	79	543
Diego de Almagro	-	-	-	-	-	-	38	340	21	-	-	6	405
Chañaral	-	-	-	-	-	-	-	67	1	-	-	-	68
Alto del Carmen	-	-	-	5	-	-	42	579	-	-	-	-	626
Freirina	-	-	-	-	-	6	-	6	15	-	119	13	159
<b>Total</b>				5	1	6	131	1553	414	1	331	501	<b>2943</b>

Tabla N° 2: Ocurrencias fosilíferas durante el Fanerozoico por Comuna de la Región de Atacama.

Así como destacamos los registros compilados, es importante también llamar la atención a aquellas áreas que carecen de datos georreferenciados. Si bien esto puede en algunos casos responder a la ausencia de rocas fosilíferas, también existen otras causas potenciales como:



Ausencia de estudios geológicos/paleontológicos realizados en el sector, ya sea por falta de interés científico o inaccesibilidad.



Que la información georreferenciada o los hallazgos realizados sean aun inéditos.



Limitaciones en el acceso a informes y documentaciones inéditos del SERNAGEOMIN.



La inaccesibilidad de las fuentes por su antigüedad, idioma o incapacidad de obtener una copia.

En este sentido, autores como *Martill et al. (2006)* explícita y deliberadamente han excluido las coordenadas GPS de su publicación con la intención de “resguardar” su área de trabajo. Ejemplificando nuevamente, la zona de la cordillera ubicada hacia el noreste del mapa en la comuna de Diego de Almagro, es una zona de difícil acceso, alejada de las zonas urbanas, razón por la cual parece haber recibido escasa atención científica hasta la fecha. Será importante por lo tanto evaluar la realización de prospecciones en áreas como estas, en las que su potencial paleontológico aún no ha sido adecuadamente establecido.

## RESULTADOS

### Zonas con riesgo de afectación

Tomando en cuenta el análisis de proximidad de ocurrencias paleontológicas con las redes hidrográficas y redes viales, se pudo determinar que existen localidades que se encuentran lo suficientemente cerca a ciertas vías como para estar expuestas tanto al tránsito de personas como a posibles afectaciones en el caso de que se realicen nuevas obras en, o en proximidad a ellas. Esto convierte a dichas áreas en localidades vulnerables, tanto a la acción humana por su accesibilidad, como a los elementos asociados a cauces fluviales. Mediante este análisis, fue posible identificar las rutas que atraviesan o colindan con el mayor número de localidades fosilíferas y, por lo tanto, requieren mayor atención en el diseño de estrategias de resguardo y exigencia de antecedentes durante los procesos de evaluación ambiental:

#### Listado de principales rutas viales asociadas a ocurrencias fosilíferas a nivel regional

Caldera	Tierra Amarilla	Vallenar	Copiapó	Diego de Almagro	Chañaral	Alto del Carmen	Freirina	Huasco
RUTA Costanera	Los Condores (C-545)	C-465	31-CH	C-117	RUTA 5	C-489	Cruce C10 QDA. Baratillo	C-480
C-10	C-453	RUTA 5	C-601	C-269	C-112	C-501	C-562	C-468
C-302	33-CH	CR-C-905	C-341	C-173	C-110	C-493	C-526	Huasco
Caldera	C-611	C-461	C-413	C-177	-	C-487	C-494	C-470
-	C-453	-	CRUCE C-10	C-171	-	Cruce C-477 La Fragua	C-496	C-440
-	-	-	CRUCE C-322 Caleta Pajonal	C-141	-	C-495	C-500	-
-	-	-	C-413	Pista Aeródromo Potrerillos	-	C-485	-	-

Tabla N° 3: Principales vías de tránsito de cada comuna que poseen un potencial de afectación y/o intervención de zonas con ocurrencias fosilíferas.

Los mapas de ocurrencias paleontológicas vs redes hidrográficas y viales, también indican una fuerte superposición entre localidades fosilíferas y estos elementos del paisaje en al menos seis comunas:

- Alto del Carmen
- Copiapó
- Diego de Almagro
- Freirina
- Tierra Amarilla
- Vallenar

Esto responde principalmente a los sesgos existentes respecto a los métodos de prospección durante los levantamientos geológicos y paleontológicos, focalizados en la búsqueda de paredes naturales o artificiales, en las que es posible visualizar la secuencia de rocas presentes en el área. Tanto los cortes de caminos como las quebradas ofrecen puntos adecuados para dichas observaciones, por lo que no es de sorprender que estos lugares concentren los hallazgos paleontológicos. Adicionalmente, los derrubios acumulados en los cauces fluviales, también pueden concentrar rodados de unidades fosilíferas circundantes, aumentando la probabilidad de hallar fósiles en ellos. No obstante, cabe señalar que se continúa requiriendo un análisis que utilice mapas de menor escala para establecer de forma más certera el grado de superposición entre las ocurrencias y las redes de drenaje.

Nuestra base de datos también nos ha permitido identificar cuáles son las unidades geológicas de la región en las que se han hallado fósiles a la fecha, lo que de acuerdo a lo definido por la Guía de Informes Paleontológicos (CMN, 2016), convierte a estas en Fosilíferas para los estudios y declaraciones de impacto ambiental.

**En orden alfabético, estas son las Formaciones:**

- Abundancia
- Asiento
- Bahía Inglesa
- Bandurrias Canto
- del Agua Chinchas
- Coquimbo,
- Estratos Agua
- Amarilla, Guanaco
- Sonso, Hornitos La
- Negra
- La Ternera
- Las Placetas
- Lautaro,
- Montandón
- Nantoco
- Pabellón
- Pan de Azúcar,
- Pedernales,
- Punta del Cobre
- Quebrada del Salitre,
- Quebrada Monardes,
- Quebrada Seca
- San Félix
- Sierra Fraga
- Sierra la Sosita
- Totalillo
- Venado

**A las que se suman los estratos de:**

- Agua Amarga Caldera
- La Coipa
- Llanos de Chocolate
- Sierra el Toro

**Y las gravas de:**

- Totoral
- Atacama

Estas 35 unidades contienen facies o estratos para los cuales se ha reportado la existencia de fósiles y por lo tanto su excavación debe ser previamente aprobada por el CMN".

## R E S U L T A D O S

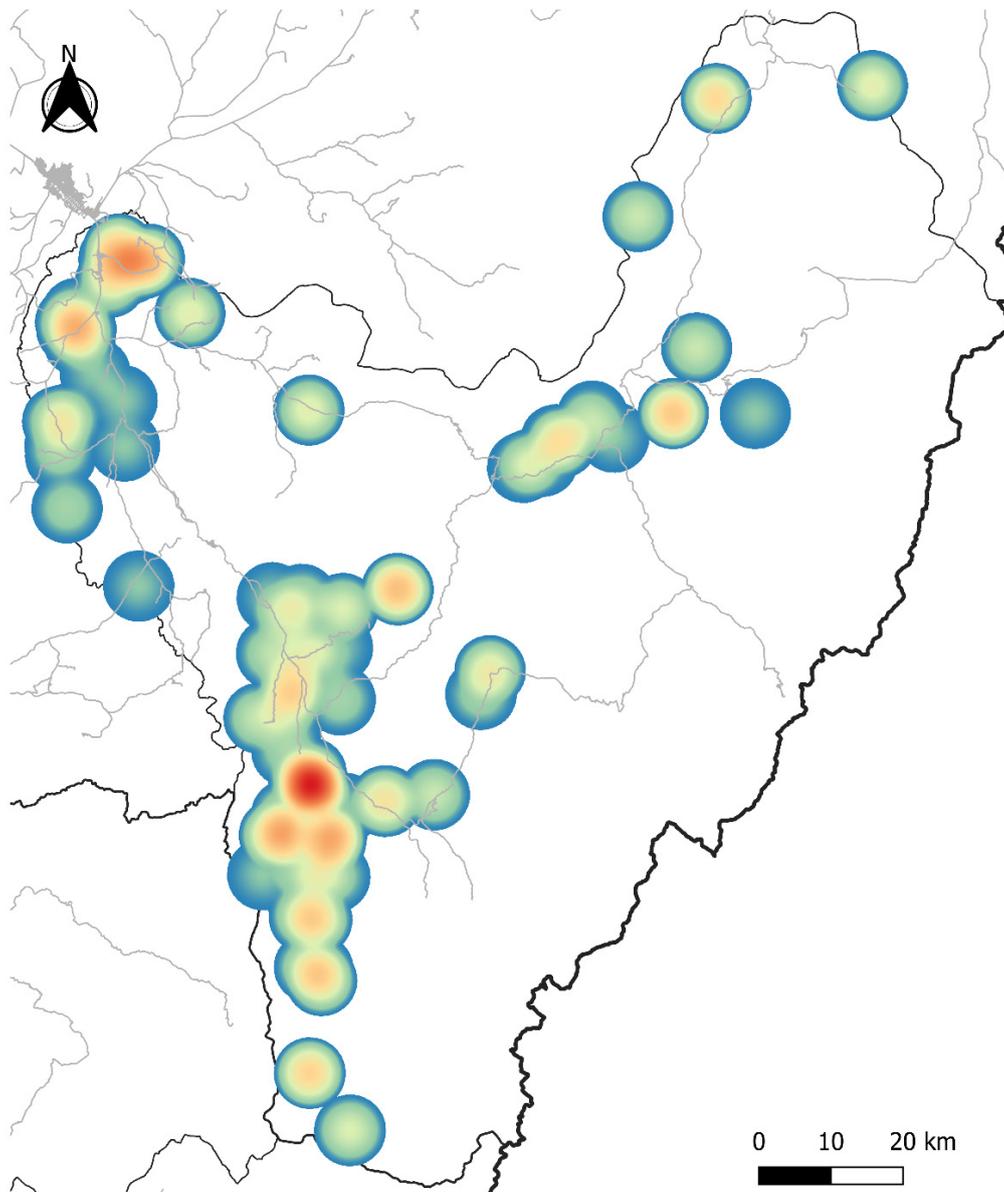
# Localidades fosilíferas vulnerables a escala comunal

### Tierra Amarilla

Se identifican dos *hotspots* menores asociados a las rutas C-453 y C-393 al sur de la comuna y a la ruta Los Cóndores (C-385) al norte de la comuna. Los *hotspots* al sur se asocian a depósitos marinos de edad Jurásica, para los cuáles se ha reportado la existencia de bivalvos, cefalópodos, gastrópodos, braquiópodos, equinodermos y reptiles marinos (ej. Ictiosaurios); mientras que el *hotspot* del norte contiene registros de moluscos y equinodermos provenientes de unidades Cretácicas. El resto de las ocurrencias de la comuna incluyen principalmente organismos marinos mesozoicos como moluscos, equinodermos, braquiópodos y anélidos, junto con algunos registros de huesos y huellas de dinosaurios que se reparten de manera desigual asociadas a las rutas C-611, C-539, C-535, C-505, C-503, C-459, C-453, C-447, C-431, C-417, C-411, C401, C-393, C-35 y 33-CH.

En lo que respecta a la cercanía con redes hidrográficas, gran parte de los ingresos en la PBDB se encuentran asociados en proximidad a éstas, específicamente tributarios secundarios. Esto se puede observar en la zona centro-norte de la comuna. Los datos obtenidos del SEIA también muestran asociación con las redes hidrográficas, principalmente por arrastres de materiales de las laderas de los cauces.

## Ingresos PBDB v.s Red Vial, Comuna de Tierra Amarilla, Región de Atacama



### Simbología

-  División regional
-  División provincial
-  División comunal
-  Red vial (2019)

### Colecciones en radio de 5km

- |   |   |   |    |
|---|---|---|----|
|  | 0 |  | 10 |
|  | 1 |  | 25 |
|  | 5 |  | 65 |

Imagen N° 7: Mapa de calor de ocurrencias fosilíferas provenientes del PBDB enfrentados a la red vial de la Comuna de Tierra Amarilla.

## Caldera

El entorno de la ciudad de Caldera es uno de los mayores hotspots en la región, estando asociado a todo el plano urbano y sus áreas circundantes donde se afectan depósitos marinos de edad Cuaternaria y Neógena con abundantes registros de moluscos y otros invertebrados, así como una gran diversidad de vertebrados incluyendo peces, aves, mamíferos marinos, entre otros. Estas ocurrencias se asocian a las redes viales de la ciudad, además de sus redes periféricas como la Ruta 5, C-449, C364, C-360, C-351, C320, C-308, C-302 y C-10. También se observa un hotspot menor al sur de la comuna, con registros de moluscos y foraminíferos procedentes del mismo tipo de depósitos cenozoicos, al que se asocian las rutas C-324, C-543, C-324, C390, C410 y C-324. Ocurrencias aisladas también se asocian a las rutas C-351, C-293 y a la Ruta 5.

A diferencia de lo que ocurre en comunas al interior de la región, no se observa una mayor proximidad de las redes hidrográficas con los yacimientos dentro de la comuna. Si bien ocasionalmente se observan hallazgos fósiles entorno a tributarios, estas son ocurrencias menores en comparación a lo observado en el borde costero y la franja en el rango de los 15 Km desde la línea de costa. En lo que respecta a las ocurrencias disponibles en el SEIA, si bien se observa cercanía con las redes de drenaje, las ocurrencias fosilíferas también muestran una mayor concentración entorno las ciudades de Caldera y Bahía Inglesa.

## Ingresos PBDB v.s Red Vial, Comuna de Caldera, Región de Atacama

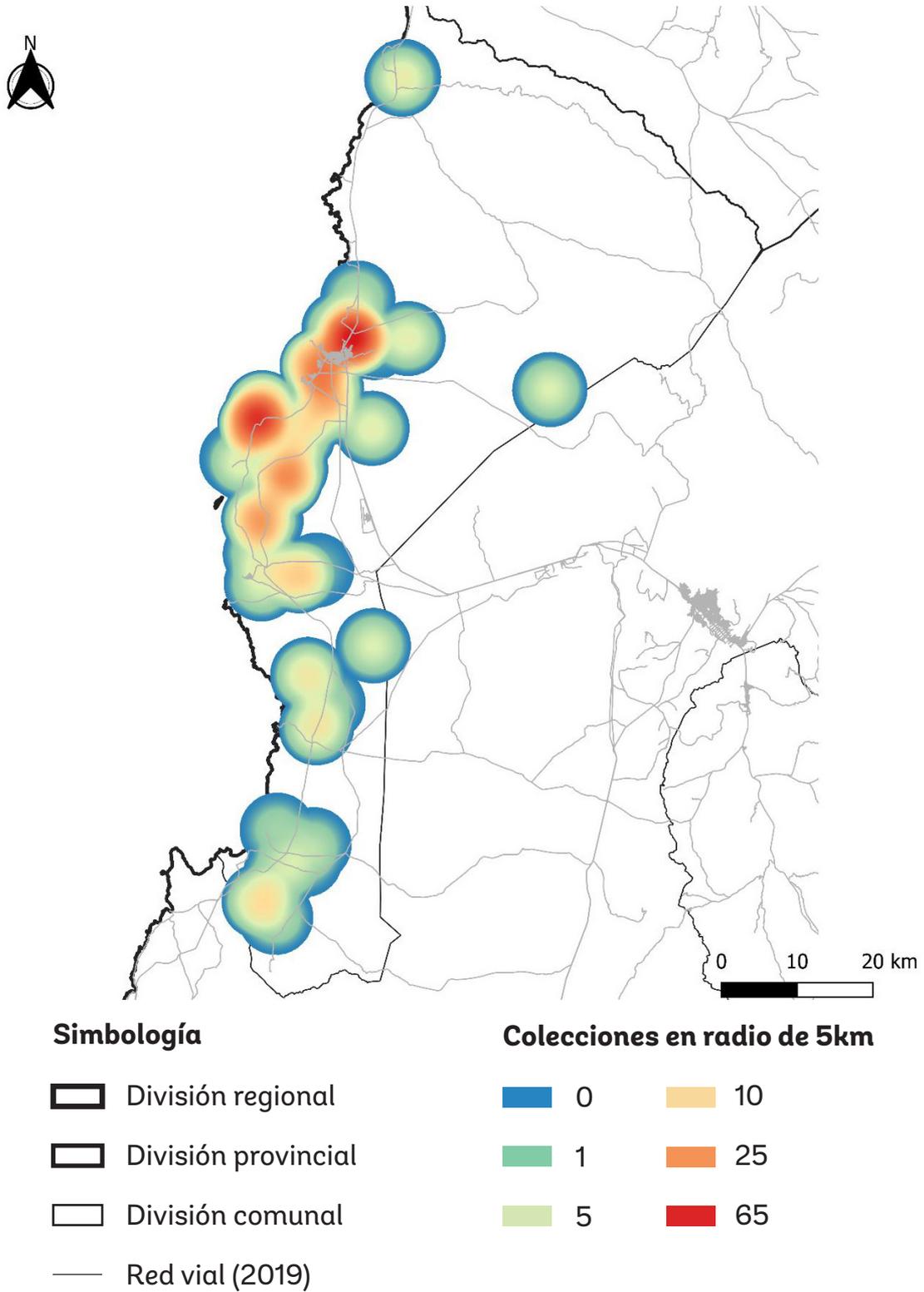


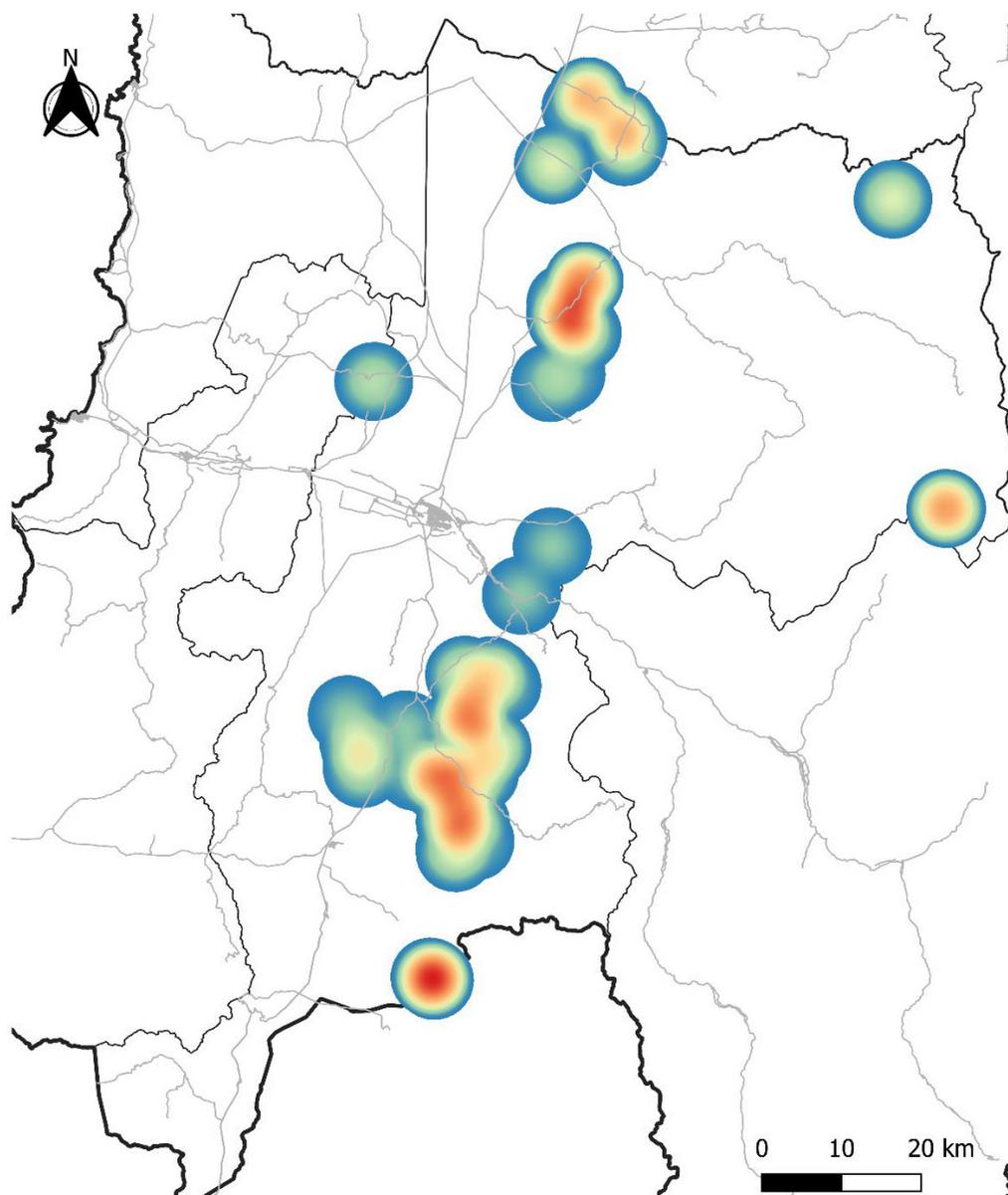
Imagen N° 8: Mapa de calor de ocurrencias fosilíferas provenientes del PBDB enfrentados a la red vial de la Comuna de Caldera.

## Vallenar

A escala regional, esta comuna no posee hotspots mayores o menores, caracterizándose más bien por una distribución fragmentada y desigual de las ocurrencias fósiles en su territorio. Las rutas asociadas a estas ocurrencias corresponden a C-509, C-547, C-485, C561, C-465, C-455, C461, C-432, C-467, C-901 y la Ruta 5. Asociado a estas rutas se registran predominantemente fósiles Cretácicos de ambientes marinos, incluyendo esponjas, corales, braquiópodos, moluscos, anélidos, briozoos y equinodermos. Es importante enfatizar que en comparación a otras comunas, la densidad local de ocurrencias es en general baja de momento, alcanzando un máximo de 16 ocurrencias en un radio de 5 Km.

Gran parte de las ocurrencias fosilíferas registradas en PBDB se encuentran cercanas o sobre las redes de drenaje, existiendo también un porcentaje importante de ocurrencias en áreas sin drenaje. Las ocurrencias disponibles en la base de datos provenientes del SEIA también muestran mayor proximidad a redes de drenaje, aunque esto puede variar según la escala del levantamiento usado en cada estudio.

## Ingresos PBDB v.s Red Vial, Comuna de Vallenar, Región de Atacama



### Simbología

-  División regional
-  División provincial
-  División comunal
-  Red vial (2019)

### Colecciones en radio de 5km

- |   |   |   |    |
|---|---|---|----|
|  | 0 |  | 10 |
|  | 1 |  | 25 |
|  | 5 |  | 65 |

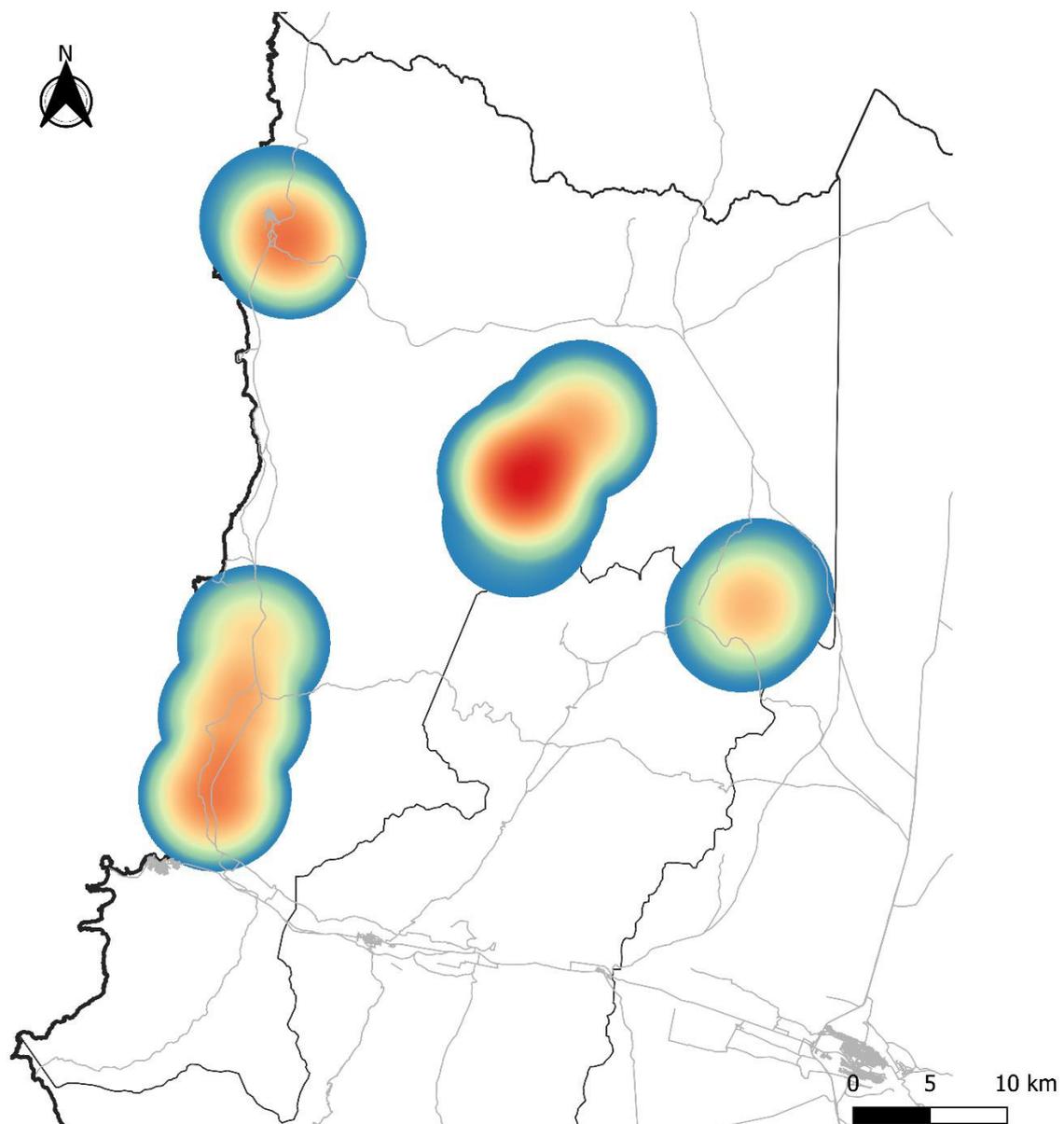
Imagen N° 9: Mapa de calor de ocurrencias fosilíferas provenientes del PBDB enfrentados a la red vial de la Comuna de Vallenar.

## Huasco

La comuna tiene su mayor *hotspot* hacia el límite oriental del Parque Nacional Llanos de Challe asociado a la ruta de tierra C-468, que atraviesa afloramientos de edad Triásica y Jurásica con presencia de moluscos, braquiópodos, equinodermos, anélidos y plantas entre otros. Las demás ocurrencias se asocian a las redes C-440, C-470, C-456, C-562 y C-904 donde se observan *hotspots* menores que incluyen principalmente fósiles de invertebrados marinos Cuaternarios y Jurásicos.

Las ocurrencias registradas en el SEIA forman agrupaciones basadas en los polígonos de los proyectos estudiados, incluyendo algunos puntos cercanos a redes de drenaje; mientras que en la PBDB se observa poca correlación con las redes hídricas.

## Ingresos PBDB v.s Red Vial, Comuna de Huasco, Región de Atacama



### Simbología

- ▭ División regional
- ▭ División provincial
- ▭ División comunal
- Red vial (2019)

### Colecciones en radio de 5km

- |     |      |
|-----|------|
| ■ 0 | ■ 10 |
| ■ 1 | ■ 25 |
| ■ 5 | ■ 65 |

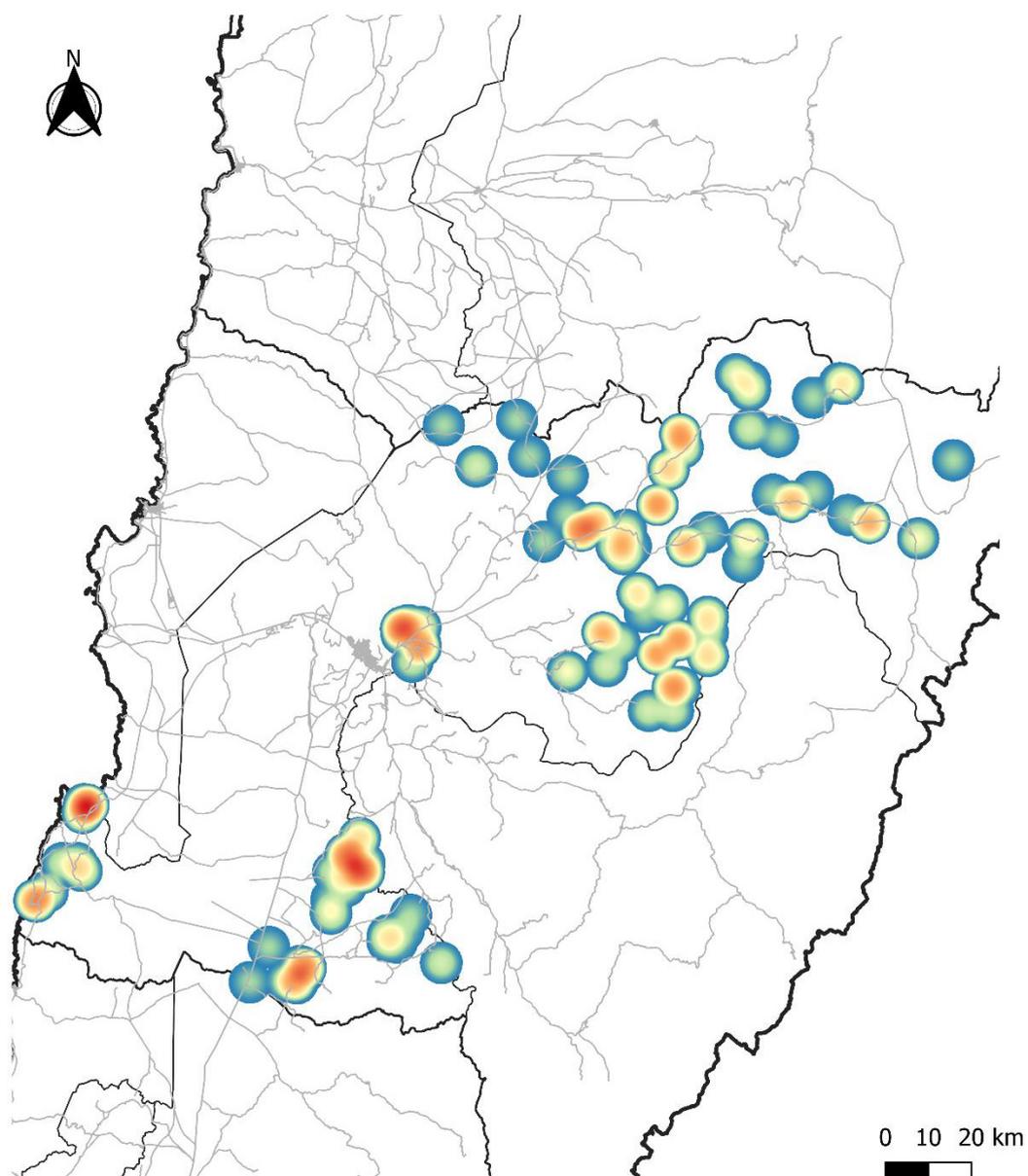
Imagen N° 9: Mapa de calor de ocurrencias fosilíferas provenientes del PBDB enfrentados a la red vial de la Comuna de Huasco.

## Copiapó

Se identifican tres *hotspots* menores dentro de la región, así como numerosas localidades dispersas dentro del territorio comunal. El primer *hotspot* se encuentra en el límite suroeste de la comuna, donde alcanza la franja costera cerca de Bahía Salada, y corresponde mayoritariamente a registros cenozoicos marinos de foraminíferos, moluscos y vertebrados asociados a la ruta C-324. El segundo se encuentra en el suroeste de la comuna cerca del límite con Tierra Amarilla, donde afloran depósitos de edad Cretácica que contienen moluscos, esponjas, equinodermos, braquiópodos, anélidos y corales. Estas ocurrencias se asocian a las rutas C-423, C-429, C-431 y C-427. El tercer *hotspot* se ubica inmediatamente al noreste de la ciudad de Copiapó y corresponden a registros Cretácicos de moluscos, equinodermos, anélidos, artrópodos y vertebrados (ej. peces). A este punto se asocian las rutas C-377, C-309, 31-CH, C-17, C-375, C-373, C-371 y C-413. El resto de las ocurrencias dentro de la comuna se presentan de manera aislada y dispersa, formando enjambres de sitios en las secciones cordilleranas de la misma. Si bien esto dificulta el individualizar estos puntos de interés, es posible señalar que se asocian con las siguientes redes viales: C-303, C-857, C-261, C-601, C-839, C-823, C-855, C-841, C-301, C-835, C-381, C-359, C-330, C-439, C-17, C-335, C-451, C-326, C-469, C-365, C-341, C-481, C-605, C-322, C-324, C-369, C-473, C-326, C-477, C-451, C-381, C-416, C-335 y 31-CH.

Gran parte de las ocurrencias fosilíferas en la PBDB se encuentran cercanas o sobre las redes de drenaje con algunas excepciones hacia la costa, lo que también se puede observar en los datos inéditos del SEIA.

## Ingresos PBDB v.s Red Vial, Comuna de Copiapó, Región de Atacama



### Simbología

- ▭ División regional
- ▭ División provincial
- ▭ División comunal
- Red vial (2019)

### Colecciones en radio de 5km

- |     |      |
|-----|------|
| ■ 0 | ■ 10 |
| ■ 1 | ■ 25 |
| ■ 5 | ■ 65 |

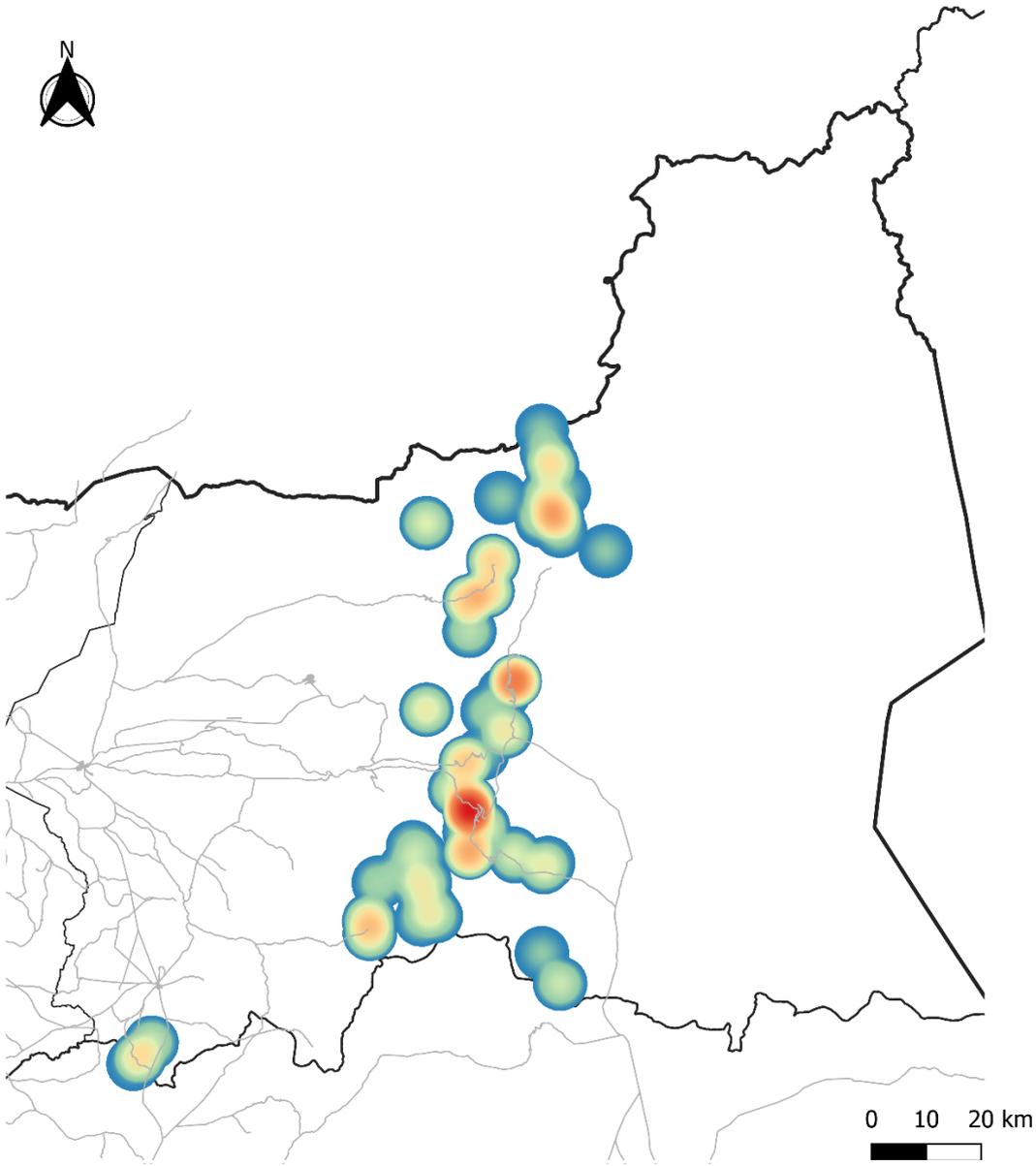
Imagen N° 10: Mapa de calor de ocurrencias fosilíferas provenientes del PBDB enfrentados a la red vial de la Comuna de Copiapó.

## Diego de Almagro

Existen un *hotspot* mayor y tres menores dentro de la comuna, asociados con depósitos de edad Jurásica en una franja a lo largo de la cordillera. El mayor de estos centros incluye registros de moluscos, braquiópodos, anélidos, corales y esponjas, y se asocia con las rutas C-173, C-269 y C-177. Los restantes *hotspots* menores contienen predominantemente invertebrados marinos, uno de ellos asociados a las rutas C-157 y C-173, y el otro a la ruta C-171. Este último también incluye registro de ictiosaurios en niveles triásicos, lo que le confiere un particular interés. El último de estos puntos menores se ubica hacia el norte de la comuna cerca del límite regional y no posee rutas habilitadas de acceso. El resto de las ocurrencias se reparte de manera diseminada y desconcentrada dentro de la comuna, siguiendo el mismo patrón de orientación norte sur asociado con los afloramientos Jurásicos de la región. Estas ocurrencias contienen principalmente invertebrados marinos y se asocian a las rutas C-257, C-173, C-275, C-17, C-245, C-243, C-17, C-265 y C-177.

En lo que respecta a la proximidad de los hallazgos fosilíferos con las redes de drenaje, gran parte de las ocurrencias fosilíferas en la PBDB, se encuentran cercanas o sobre las redes de drenaje como es habitual en el área cordillerana, con algunas excepciones ubicadas al centro de la comuna. Las ocurrencias fosilíferas provenientes del SEIA, también se encuentran asociadas a las redes de drenaje.

# Ingresos PBDB v.s Red Vial, Comuna de Diego de Almagro, Región de Atacama



### Simbología

-  División regional
-  División provincial
-  División comunal
-  Red vial (2019)

### Colecciones en radio de 5km

- |   |  |
|---|--|
|  0 |  10 |
|  1 |  25 |
|  5 |  65 |

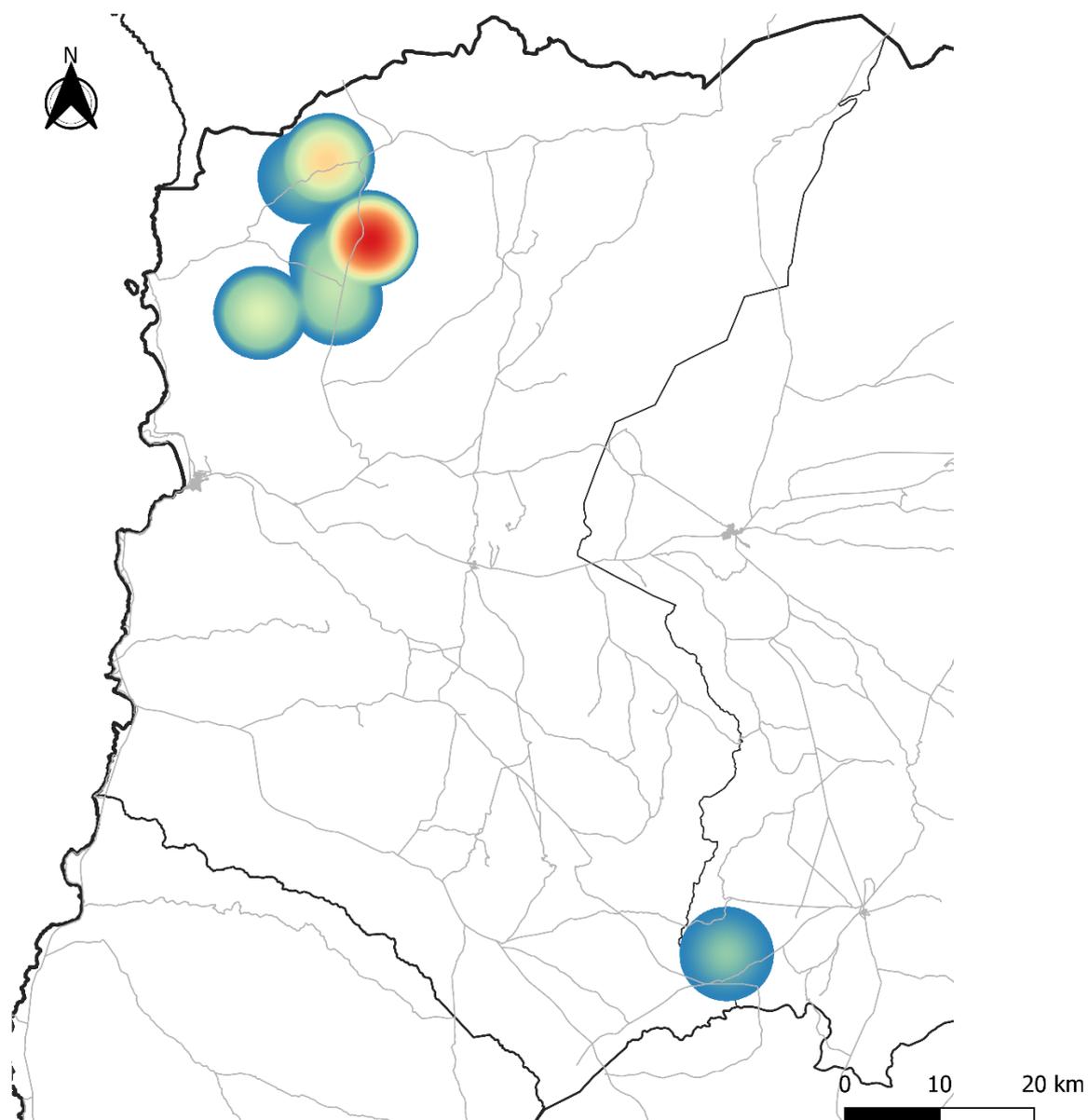
Imagen N° 11: Mapa de calor de ocurrencias fosilíferas provenientes del PBDB enfrentados a la red vial de la Comuna de Diego de Almagro.

## Chañaral

Como se ha mencionado, esta es la comuna con el menor número de ocurrencias registradas a la fecha. Se encuentran concentradas hacia el límite oriental del Parque Nacional Pan de Azúcar, donde se identifica un *hotspot* menor que contiene registros de moluscos, cnidarios, braquiópodos, anélidos y reptiles marinos (ej. ictiosaurios) de edad Jurásica y al cual se asocian las rutas C-112, C110, C125 y Ruta 5.

Las pocas ocurrencias provenientes de PBDB se encuentran cercanas a redes de drenaje. No se registran ocurrencias fosilíferas indicadas por informes en el SEIA para la comuna.

## Ingresos PBDB v.s Red Vial, Comuna de Chañaral, Región de Atacama



### Simbología

- ▭ División regional
- ▭ División provincial
- ▭ División comunal
- Red vial (2019)

### Colecciones en radio de 5km

- |     |      |
|-----|------|
| ■ 0 | ■ 10 |
| ■ 1 | ■ 25 |
| ■ 5 | ■ 65 |

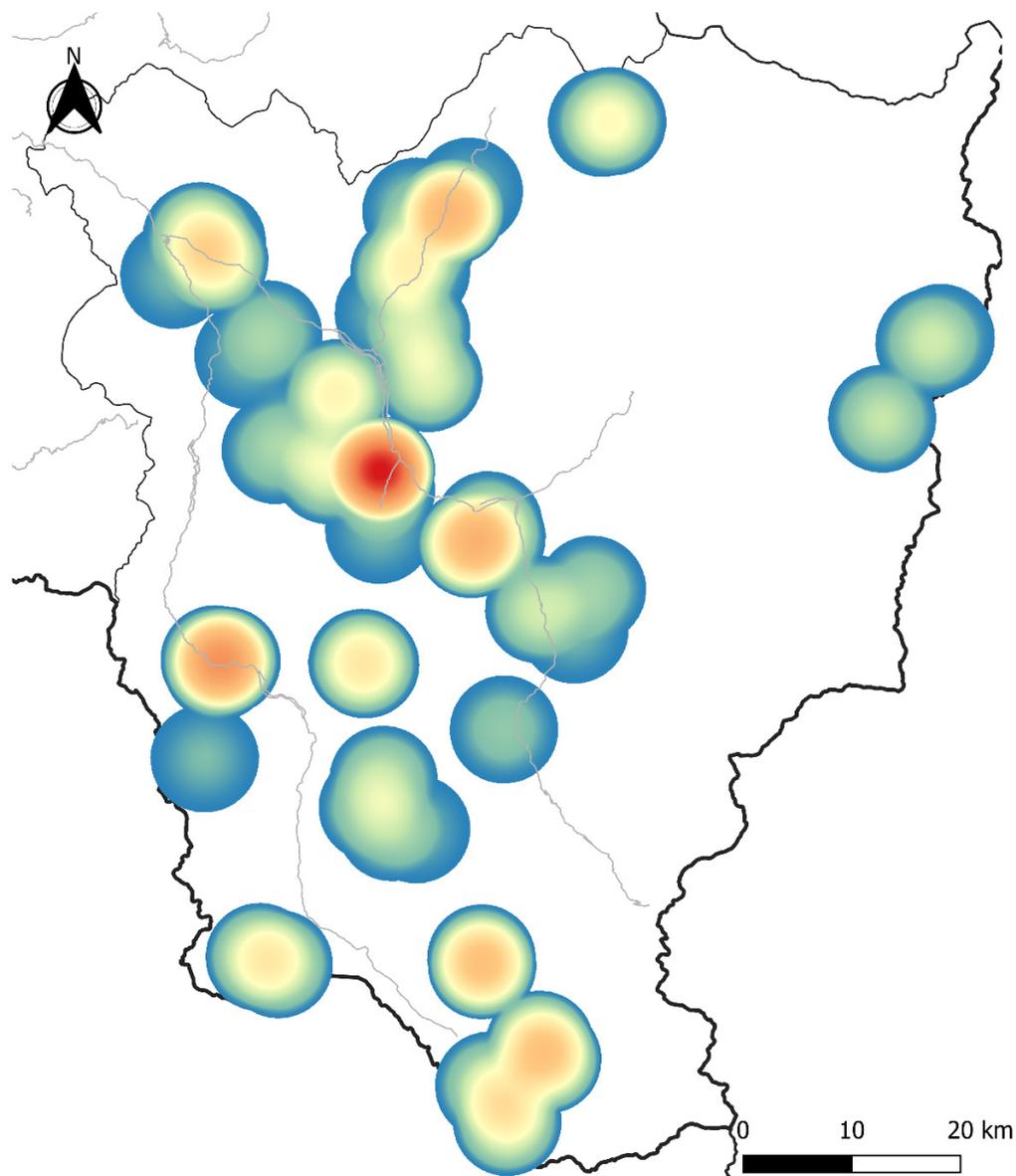
Imagen N° 12: Mapa de calor de ocurrencias fosilíferas provenientes del PBDB enfrentados a la red vial de la Comuna de Chañaral.

## Alto del Carmen

La comuna de Alto del Carmen posee la mayor densidad de ocurrencias paleontológicas dentro de la Región de Atacama. Aquí se incluye un *hotspot* mayor y cuatro menores, junto a múltiples localidades dispersas, la gran mayoría de los cuales corresponden a depósitos marinos de edad Jurásica. El *hotspot* mayor incluye abundantes fósiles de moluscos, cnidarios, braquiópodos, esponjas, anélidos y equinodermos que se asocian con el poblado de Pinte y las rutas C-495, C-493 y el Cruce C-477 (La Fragua) – Cruce C-495 (La Arena). Los *hotspots* menores contienen predominantemente invertebrados marinos y ocasionalmente plantas de antigüedad Triásica, asociándose con las rutas C-485, C-487, C- 489 y C495. Estas mismas rutas conectan la mayor parte de las localidades dispersas en la comuna y que en su mayoría representan ensambles de fósiles equivalentes.

Se observa que una cantidad considerable de los ingresos se encuentran asociados en proximidad a redes hidrográficas, específicamente en tributarios. Esto se puede observar con claridad en la zona centro-norte de la comuna, donde las laderas de las quebradas y cauces son ricas en fósiles marinos. En contraste con la información publicada, no se registran ocurrencias fosilíferas para esta comuna en los informes ingresados en el SEIA.

## Ingresos PBDB v.s Red Vial, Comuna de Alto del Carmen, Región de Atacama



### Simbología

-  División regional
-  División provincial
-  División comunal
-  Red vial (2019)

### Colecciones en radio de 5km

- |   |   |   |    |
|---|---|---|----|
|  | 0 |  | 10 |
|  | 1 |  | 25 |
|  | 5 |  | 65 |

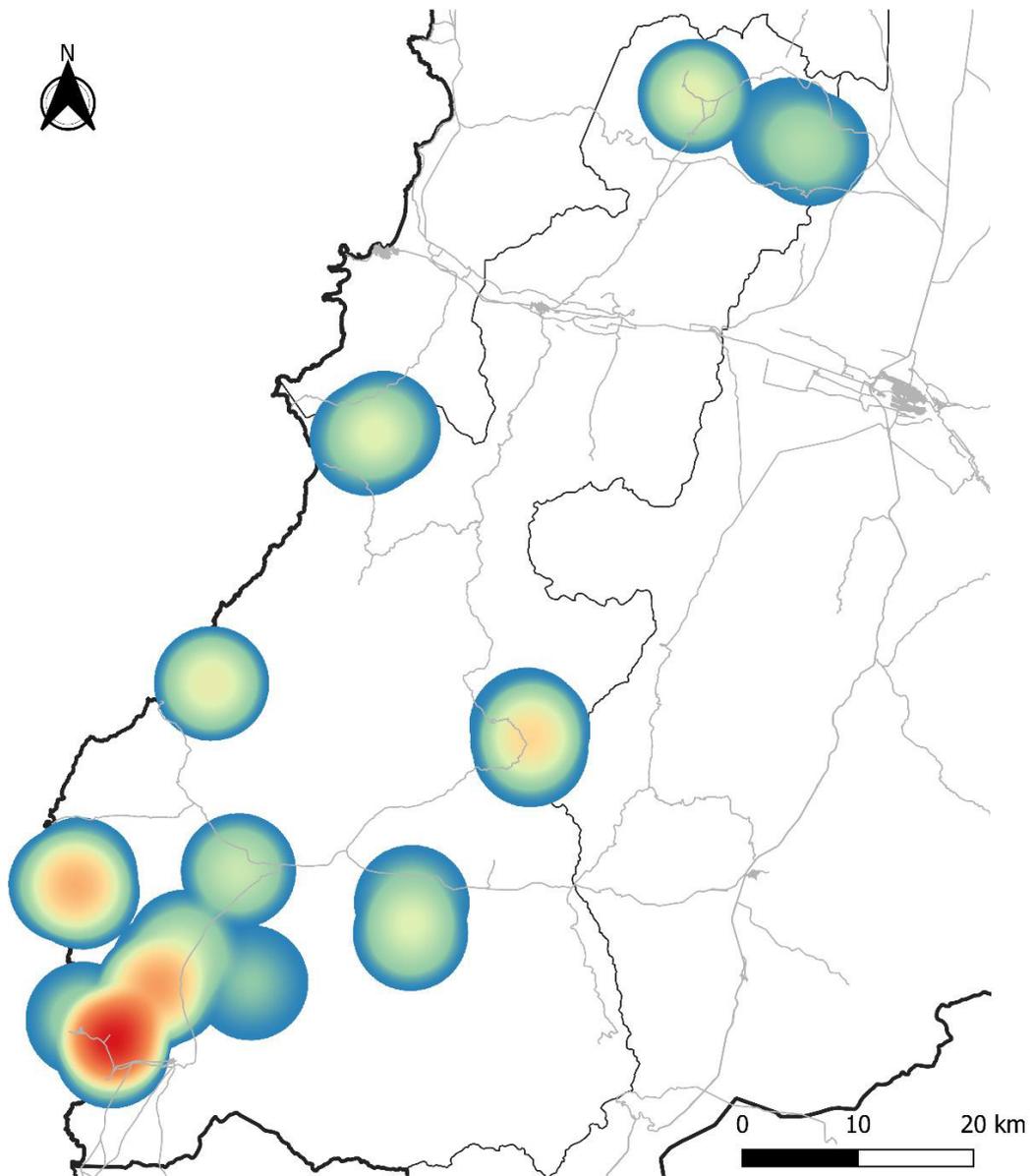
Imagen N° 13: Mapa de calor de ocurrencias fosilíferas provenientes del PBDB enfrentados a la red vial de la Comuna de Alto del Carmen.

## **Freirina**

El mayor hotspot en la comuna se ubica en la franja costera cerca del límite regional y está asociado a la ruta C-500, correspondiendo a fósiles de animales marinos neógenos que incluyen artrópodos, moluscos y vertebrados (ej. cetáceos). La mayor parte de las ocurrencias restantes proceden de estas unidades marinas cenozoicas que afloran en la franja costera y se asocian a las rutas C-526, C-496, C-500 y C-944, con la excepción de las ocurrencias próximas a la ruta C494 que provienen de afloramientos Cretácicos y corresponden a invertebrados marinos.

Respecto a las redes de drenaje, gran parte de las ocurrencias fosilíferas se encuentran cercanas o sobre las redes de drenaje tanto en SEIA como en la PBDB, con algunas excepciones.

## Ingresos PBDB v.s Red Vial, Comuna de Freirina, Región de Atacama



### Simbología

-  División regional
-  División provincial
-  División comunal
-  Red vial (2019)

### Colecciones en radio de 5km

- |   |  |
|---|--|
|  0 |  10 |
|  1 |  25 |
|  5 |  65 |

Imagen N° 14: Mapa de calor de ocurrencias fosilíferas provenientes del PBDB enfrentados a la red vial de la Comuna de Freirina.

## RESULTADOS

# Área fosilífera potencial y sesgo taxonómico

Con el fin ofrecer una cuantificación aproximada del espacio disponible para exploración paleontológica en la región, se calculó una estimación preliminar del área total de afloramientos de rocas y depósitos que potencialmente pueden albergar fósiles. Para ello, se consideraron las áreas del territorio de la región en las cuales afloran rocas sedimentarias y metamórficas, siendo por lo tanto el equivalente de las áreas declarables como fosilíferas o susceptibles de acuerdo con la clasificación de potencialidad fosilífera del CMN. Con base en estos parámetros y los antecedentes disponibles, se estima que la superficie total de la región con potencial de contener fósiles es de 37.730 Km<sup>2</sup>, lo que equivale al 50% del total de los afloramientos existentes para la región. Si bien, existen sesgos implícitos en esta estimación, esta nos permite dimensionar cuan prevalente es este componente patrimonial dentro de nuestro territorio y pone de manifiesto su potencial para futuras exploraciones y el por qué es importante considerar como los proyectos de inversión pueden impactar en él.

Adicionalmente, se determinó que el filo de organismos con mayor representación en el registro fósil de la región son los moluscos, que representan cerca del 71% de las ocurrencias totales. Este sesgo en la diversidad de organismos representados en el registro regional se explica por diversos factores, incluyendo el poseer conchas calcáreas y ser particularmente diversos en ambientes marinos, que a su vez, son los depósitos fosilíferos más comunes en la región y proveen de condiciones más favorables para la preservación debido a sus mayores áreas y tasas de sedimentación. Esta predominancia de moluscos se condice con lo descrito en la literatura disponible respecto a la representatividad de seres marinos y el potencial de preservación que tienen estos organismos en el registro fósil (Foote & Miller, 2006).

## Estimación Preliminar del área total de afloramientos de rocas y depósitos que potencialmente pueden albergar fósiles

Criterio	Fanerozoico											Total	
	Paleozoico					Mesozoico			Cenozoico				
	Cámbrico	Ordovícico	Silúrico	Devónico	Carbonífero	Pérmico	Triásico	Jurásico	Cretácico	Paleógeno	Neógeno		Cuaternario
Área de afloramientos totales [Km <sup>2</sup> ]	-	-	-	2528	3479	2980	3760	9243	16052	6957	15209	15212	<b>75.420</b>
Área de afloramientos con potencial fosilífero [Km <sup>2</sup> ]	-	-	-	104	3479	0	1161	4698	6657	1160	6319	14152	<b>37.730</b>
Porcentaje de ocurrencias representado por moluscos	-	-	-	-	-	-	36,5%	83,4%	80,6%	-	28%	60,5%	<b>70,7%</b>

Tabla N° 4: Estimación preliminar de área de afloramientos disponibles en la región y de aquellos con potencial de contener restos fósiles. También se presenta el porcentaje de ocurrencias representado por el filo Mollusca por edad y para la región.



# Conclusiones y perspectivas futuras



## Conclusiones y perspectivas futuras

Gracias a la revisión y análisis de los antecedentes públicos sobre hallazgos paleontológicos en la Región de Atacama, disponibles en la literatura técnica y otras fuentes, fue posible generar una amplia base de datos sobre las ocurrencias fosilíferas de la región y generar múltiples mapas útiles para visualizar su distribución a lo largo de nuestro territorio. La revisión incluye la incorporación de 140 reportes del SEIA, 26 cartas geológicas y 131 documentos técnico-académicos que contienen información georreferenciada y no-georreferenciada sobre localidades fosilíferas en la región, de las cuales se extrajeron cerca de 3000 ocurrencias validadas. Gran parte de estas han sido puestas a disposición del público general a través de la plataforma PBDB. Se generaron 83 mapas para visualizar la distribución espaciotemporal de los hallazgos fosilíferos, complementados con mapas que contienen el contexto geológico y su relación con las redes hidrográficas y redes viales a diferentes escalas. Estos mapas están a disposición de las autoridades locales para apoyar sus requerimientos y diseños de estrategias de desarrollo y protección patrimonial dentro de su territorio.

Los resultados alcanzados por esta etapa del estudio diagnóstico son y serán de gran importancia para el diseño de estrategias y para la toma de decisiones en lo que respecta al patrimonio paleontológico local. Las ocurrencias identificadas son antecedentes claves para la evaluación y planificación de los proyectos de inversión en la región, incluyendo modificaciones y expansiones de las redes viales, al permitirnos conocer de antemano el contexto paleontológico general de las zonas próximas o dentro de los polígonos y trazados de proyectos. Estos son aspectos fundamentales durante la evaluación de impacto para el diseño de medidas de mitigación, resguardo y compensación. La base de datos es también un insumo fundamental para la planificación y diseño de posibles proyectos de investigación científica, identificando rápidamente zonas de interés para estudios o área que requieren mayor esfuerzo de prospección. También nos permiten identificar de forma preliminar las zonas de riesgo de afectación o que potencialmente se verían afectadas por factores antrópicos o naturales y que por lo tanto requieren atención urgente.

Del análisis preliminar de la base de datos y mapas, ha sido posible establecer una primera aproximación para identificar áreas patrimoniales vulnerables en cada comuna de la región, así como definir un listado de las unidades geológicas que deben ser consideradas como fosilíferas para los estudios y declaraciones de impacto ambiental. Esto es particularmente relevante en una región en la que la mitad de los afloramientos geológicos disponibles tienen potencial de contener restos fósiles. El análisis también pone de manifiesto que las comunas de Alto del Carmen, Copiapó, Diego de Almagro y Caldera poseen un enorme potencial para el estudio científico y el acercamiento de este conocimiento a sus comunidades, para lo cual será clave diseñar estrategias educativas y de puesta en valor que permitan la integración de las comunidades. También, se observa que comunas como Alto del Carmen y Chañaral requieren que el componente paleontológico sea exigido con mayor frecuencia durante las etapas de evaluación ambiental, teniendo en cuenta que los informes disponibles a la fecha en el SEIA no reportan ocurrencias fosilíferas.

El presente estudio representa la primera recopilación sistematizada y pública de antecedentes paleontológicos emprendida para una región del país, generando cartografías y compilaciones bibliográficas que proveerán las bases para el diseño de proyectos y estudios necesarios que aborden temáticas de protección, planificación y fomento ligado a la paleontología en la Región de Atacama. Estudios diagnósticos similares podrían ser llevados a cabo en otras regiones o divisiones administrativas del país. La siguiente etapa de esta línea de estudios involucra la generación de mapas paleontológicos a partir de levantamientos geológicos y prospecciones propias, que permitan identificar la distribución de este tipo de bienes patrimoniales a una pequeña escala, priorizando su diseño para zonas vulnerables y con alta concentración de ocurrencias. Estos mapas de alta resolución serían fundamentales para la gestión del territorio y el uso de suelo.



# Referencias

- Charrier, R., Farías, M., & Makshev, V. (2009). EVOLUCIÓN TECTÓNICA, PALEOGEOGRÁFICA Y METALOGÉNICA DURANTE EL CENOZOICO EN LOS ANDES DE CHILE NOROCCIDENTAL Y CENTRAL E IMPLICACIONES PARA LAS REGIONES ADYACENTES DE BOLIVIA Y ARGENTINA. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 65(1), 5–35.
- Charrier, R., Pinto, L., & Rodríguez, M. P. (2007). TECTONOSTRATIGRAPHIC EVOLUTION OF THE ANDEAN OROGEN IN CHILE. IN T. MORENO & W. GIBBONS (Eds.), *Geology of Chile* (pp. 21–114). *The Geological Society*.  
<https://doi.org/10.1144/goch.3>  
CMN (2016) *Guía de Informes Paleontológicos. Dibam y Consejo de Monumentos Nacionales*. 26 pp.
- Foot, M., & Miller, A. (2006). THE NATURE OF THE FOSSIL RECORD. IN *PRINCIPLES OF PALEONTOLOGY* (3rd ed., pp. 1–30). W.H. Freeman.  
[https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(76\)80007-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(76)80007-7)
- Martill, D. M., Frey, E., Bell, C. M., & Diaz, G. C. (2006). CTENOCHASMATID PTEROSAURS FROM EARLY CRETACEOUS DEPOSITS IN CHILE. *CRETACEOUS RESEARCH*, 27(5), 603–610.  
<https://doi.org/10.1016/j.cretres.2006.03.002>
- Moreno, T., & Gibbons, W. (2013). THE GEOLOGY OF CHILE. IN *JOURNAL OF CHEMICAL INFORMATION AND MODELING* (Vol. 53, Issue 9). The Geological Society.
- Morrone, J. J. (2013). *SISTEMÁTICA, FUNDAMENTOS, MÉTODOS, APLICACIONES* (1st ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.







**CIAHN**  
ATACAMA



PROYECTO ACOGIDO  
LEY DE  
**DONACIONES**  
**CULTURALES**



Corporación para la Investigación y  
Avance de la Paleontología e Historia Natural de Atacama

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas

