

Proposal of geophysical survey for paleontologic prospecting in Cerro Ballena

Jorge Zavalla Vásquez

Sociedad Paleontológica de Chile, jorge.zavalla@spach.cl

Abstract Close to Caldera city in the Atacama Desert, a paleontological site of marine vertebrate fossils of Pliocene and Pleistocene was accidentally discovered. There were no previous studies of this coastal area until 2012, when a team of paleontologists made a quick removal of the fossils. This paper proposes a geophysical survey in this Chilean site by means of two methods: gravimetric and seismic. Most articles related to geophysics show effectiveness in measuring anomalies associated to geological units with fossil record; however, they are not focused on the search of the fossil itself. The methodology regards the study of the topography along the record of geological structures, the construction of a mesh for collecting of data, filter and interpretation. The expected results are related to quantitative gravimetric and seismic anomalies, those provide traces of the location and attitude of the stratum in which the fossils may be found. The study delivers information to sketch a fossil inventory in site without the necessity alteration of the environment. It should be noted that these geophysical methods are poorly used in the scientific enterprises linked to paleontology, so it is expected that this work may inspire future studies.

Keywords: geophysics, paleontology, fossil, gravimetry, seismic.

1.- Problema

La localización y cartografía de restos paleontológicos enterrados con escasa evidencia de éstos en superficie, representan una complicación, considerando que los tiempos y costos de excavación no se encuentran siempre al alcance del equipo investigador.

Esto se acentúa cuando existen presupuestos reducidos que cubren, como máximo, la excavación y reconstrucción de un área reducida del sitio en estudio. Por ello la información sobre su extensión y origen del conjunto remanente son extrapolaciones de un conglomerado de datos limitados.

De la misma manera, el conocimiento del subsuelo sin excavaciones de gran extensión, es crucial en los trabajos de salvamento paleontológico, que permiten la colecta de material y/o residuos.

Esto mismo ocurre en los litigios de afectación o liberación de predios aledaños a sitios paleontológicos, con pocas o nulas evidencias de estos en terreno propensos a ser utilizados con fines comerciales; por ejemplo, la construcción de supermercados, hoteles, o de uso habitacional.

De lo anterior, surge la necesidad de contar con métodos geofísicos, no invasivos ni destructivos de prospección del subsuelo.

La Geofísica comprende el estudio de procesos y propiedades físicas de la Tierra, y el espacio que la rodea a través de métodos cuantitativos y su posterior análisis [1]. Esta información permite la caracterización de la estructura, condiciones físicas e historia evolutiva de la Tierra. En algunos casos dichos métodos aprovechan campos o fenómenos naturales (gravedad, magnetismo, terremotos, etc.) y en otros son inducidos por el hombre (campos eléctricos, fenómenos sísmicos).

En la Región de Atacama, provincia de Copiapó, comuna de Caldera, se encuentra ubicado el hallazgo paleontológico de Cerro Ballena; aproximadamente en Latitud 27,04°S y Longitud 70,79°W.

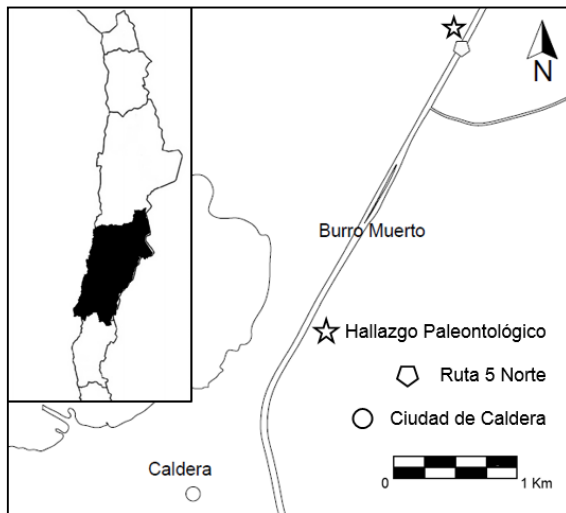


Figura 1: Ubicación de hallazgo paleontológico Cerro Ballena. Elaboración propia.

El lugar corresponde a un área de protección desde el año 2012 a raíz de un descubrimiento excepcional: se encontraron abundantes restos de vertebrados marinos, principalmente cetáceos, algunos de los cuales fueron articulados y en notable estado de conservación [2].

Existen tres unidades fosílicas con conjuntos faunísticos representativos del Plioceno y Pleistoceno, pertenecientes a la Formación Bahía Inglesa. Predominan terrazas marinas y paleoescarpes costeros, asociados a sucesivas transgresiones y regresiones marinas del Pleistoceno y al alzamiento tectónico costero. Adicionalmente, afloramientos de rocas intrusivas contribuyen a la geodiversidad del sitio y le otorgan un interés complementario, desde el punto de vista estructural y petrográfico [3].

Las coquinas presentan un componente arenoso y/o conglomerado, contienen restos

de invertebrados, más o menos bien conservados.

Las areniscas, de granulometría fina a gruesa, se presentan en bancos masivos o con estructuras de estratificación plana y cruzada. Contienen restos fósiles de moluscos, foraminíferos y alta bioturbación de poliquetos y bivalvos.

Dentro de las especies halladas en la zona, se encuentran mamíferos marinos: cetáceos como *Balaenoptera*, *Scaldicetus*, *Odobenocetops*; pinípedos del género *Acrophoca*; y *Thalassocnus natans*, una especie de perezoso gigante [4].

El valor que presenta el yacimiento es de carácter no solo paleontológico, sino además geológico, mineralógico, petrológico, geomorfológico y estructural. Actualmente no existe catastro de la dimensión del yacimiento ni la cuantificación de las especies que se encuentran en este.

2.- Objetivos

La finalidad del presente documento contempla proponer una prospección geofísica que permita una cuantificación y ubicación estimada de fósiles vertebrados marinos, los cuales se encuentren preservados en el yacimiento paleontológico de Cerro Ballena.

Para lograr el objetivo descrito, es necesario distribuir el trabajo en los puntos descritos a continuación:

- Estudio de la topografía del yacimiento y sus áreas circundantes.
- Registro de las estructuras geológicas presentes.
- Creación de mallas para la toma y obtención de datos.
- Toma de datos según los métodos geofísicos más acordes a la problemática presentada.
- Análisis, filtro e interpretación de resultados.

3.- Estado del Arte

Las herramientas geofísicas propuestas para la prospección del sitio detallado, contemplan como fundamentos físicos, la densidad y la velocidad de propagación de ondas. Las técnicas empleadas serán la Gravimetría y Sismicidad respectivamente para cada variable medible descrita en el punto anterior.

A través del método gravimétrico se puede caracterizar el subsuelo con la medida de la distribución de la densidad de masa de distintos materiales presentes en terreno, realizando mediciones del campo natural gravimétrico terrestre.

Como la Tierra no es una esfera perfectamente homogénea, la aceleración de la gravedad no es constante en distintos puntos. En cambio, la magnitud depende de algunos factores, tales como: la latitud y elevación de la estación de monitoreo, la densidad de los materiales en el emplazamiento debajo de la estación, la atracción de accidentes geográficos masivos, la posición del Sol y la Luna, cambios en la calibración del gravímetro [5].

Las anomalías encontradas, al ser de carácter cuantitativo, pueden arrojar resultados tanto negativos como positivos. Si el gravímetro arroja resultados de carácter negativo, existe una anomalía de densidad en los restos fósiles menor a la de la estructura geológica donde se encuentre. En consecuencia, existe una sola de elevación en comparación con el nivel del mar. En caso contrario, es decir, si la lectura es positiva, la anomalía de densidad es mayor a la estructura, lo cual indica una declinación respecto al nivel del mar [6].

Por otro lado, mediante el método sísmico se puede medir la velocidad de propagación de ondas acústicas mediante “disparos” (e.g. explosiones, caídas de agua) a través de la superficie hasta dispositivos receptores o geófonos. La energía sísmica proveniente del subsuelo es refractada o reflejada en las

interfaces entre materiales con distintas velocidades de propagación. Estas siguen las mismas leyes físicas que un halo de luz, viajando a través de un prisma.

El fin de utilizar este método se basa en el conocimiento previo de la estratigrafía de la zona, mediante la sismicidad, se puede obtener la extensión de los estratos y estimar la profundidad a la que se encuentren los restos, en contraste con los resultados obtenidos mediante gravimetría.

4.- Método

La topografía proporciona una estructura dentro de la cual todas las evidencias pueden ser localizadas, permitiendo relacionar los resultados entre diferentes métodos o entre estructuras previamente descritas. Tiene una implicancia directa en la correlación estratigráfica de los resultados obtenidos.

En la zona que ya se encuentra topografiada se recomienda utilizar los mismos puntos base del mapa topográfico para la construcción de las mallas, de este modo, la superposición de los mapas geofísicos con los topográficos será más precisa.

Una vez definida la malla y los puntos a ser medidos, es necesario detallar los métodos geofísicos que se utilizarán para el estudio del yacimiento. A continuación se describe el procedimiento a seguir en cada uno de ellos.

Los pasos a seguir con el método gravimétrico consisten en:

- A. Calibración del equipo (gravímetro), con una aceleración de gravedad promedio.
- B. Medición de aceleración de la gravedad en cada uno de los puntos de la malla.
- C. Corrección de deriva del instrumento mediante estación de amarre.
- D. Corrección topográfica, llevando datos obtenidos a topografía plana.

- E. Construcción de mapa final, con curvas isoanómalas de gravedad.

El procedimiento para el método sísmico el siguiente:

- A. Localización de serie de sensores en línea recta a distancias conocidas, formando un tendido sísmico.
- B. A una distancia conocida del extremo del tendido, se generan ondas sísmicas.
- C. Registro de tiempos de llegada de ondas sísmicas por sensores.
- D. Construcción de curvas tiempo-distancia.

5.- Resultados

Las irregularidades en la distribución de la densidad del subsuelo y de su superficie topográfica dan lugar a variaciones laterales y verticales en la magnitud de la aceleración de la gravedad de un lugar a otro. El método gravimétrico permite medir esas variaciones y utilizar la información para inferir acerca de la configuración de elementos en el subsuelo que presenten una anomalía en densidad respecto de la establecida como densidad promedio.

Gracias a ello, es posible inferir la existencia de una agrupación de restos de vertebrados marinos fósiles, las posibilidades son mayores en este caso, ya que los restos poseen dimensiones significantes.

En el caso del método sísmico, se debe hacer uso de martillos para generar las ondas sísmicas, ya que el uso de explosivos podría generar daños a los restos ya encontrados.

Una vez construidas las curvas de tiempo-distancia, se identifican las secciones de las curvas que pertenecen a un mismo refractor. Un cambio de pendiente en la curva no necesariamente implica un cambio de refractor, sino que puede significar un cambio de pendiente del primer refractor.

Cuando existe un estrato o una capa delgada de suelo cuya velocidad es menor que la de la capa superior, no hay refracción crítica, de tal manera que no habría indicios de su presencia en las primeras llegadas en cada punto de la línea sísmica.

Tras la obtención de datos, se empieza a realizar una descarga de estos a un computador. Se debe ser cuidadoso en el traspaso de datos, ya que un correcto almacenamiento asegura que la reconstrucción de la cuadrícula sea acorde a la generada en terreno. Luego, se visualizan los datos para tener una idea preliminar de las estructuras que se están prospectando.

En muchas situaciones de prospección, las condiciones no son las ideales, por lo que se requiere un procesamiento de los datos a través de filtros. Los ruidos son frecuentes en las prospecciones, y derivados de distintas fuentes.

Luego de la lectura de los datos, se analizan las anomalías que presentan un potencial paleontológico, lo que se intenta determinar son las estructuras que originan las anomalías y la estimación de las dimensiones y profundidad de tales estructuras.

6.- Conclusiones Generales

Los métodos geofísicos son una potente herramienta auxiliar de la paleontología, pero presentan limitaciones. Por lo tanto, la elección del método a ser utilizado, obedece a las características del entorno en que se emplaza el yacimiento.

Estas características pueden clasificarse en: geométricas, como el tamaño y profundidad de los restos; físicas, como las propiedades que originan las anomalías; y geológicas, relacionadas con el tipo de suelo y rocas presentes, topografía, etc.

Se debe tener conciencia de los métodos adecuados a determinadas situaciones y,

por supuesto, que métodos no presentan resultados de calidad. Además, es siempre aconsejable la utilización de al menos dos métodos geofísicos en la misma prospección, para una contrastación en la aclaración de puntos oscuros en la interpretación de los resultados.

El éxito de las prospecciones geofísicas depende no sólo del trabajo en terreno durante la adquisición de datos, sino toda una metodología que comienza con la preparación de del área prospectada y se extiende hasta el procesamiento e interpretación de los datos. Se debe tener consciencia de que pueden existir ambigüedades en la interpretación de los resultados, por lo que es importante considerar el máximo de informaciones adicionales a priori de estudios anteriores en la zona del yacimiento.

Mediante la prospección realizada, es posible inferir el emplazamiento de estructuras geológicas que alberguen restos fósiles, el análisis de gravimetría puede indicar la presencia de elementos más densos que las rocas de caja, que es un primer acercamiento para determinar la localización de las especies buscadas.

Con los resultados del método sísmico, más específicamente la refracción sísmica, puede establecer la profundidad de basamento y de su relieve, detectar cavidades y depósitos, en general cuando exista un cambio de medio entre dos estructuras.

En retrospectiva, dentro de los estudios paleontológicos en territorio nacional, la elección de los métodos geofísicos no es prioridad. La intención del escrito es motivar el uso de las tecnologías no invasivas para el estudio de restos fósiles sin la necesidad de recurrir a la excavación.

Las herramientas geofísicas acercan el estudio de los terrenos a personas naturales no profesionales interesadas en hacer ciencia. Esta oportunidad presentada, abre

la posibilidad de estudiar diversos sitios de interés paleontológico.

Como recomendación, la situación observada en el yacimiento, respecto a la dificultad observada con el ruido en las lecturas, pudo ser evitada si hubiese existido un estudio paleontológico en el sitio, previo a los trabajos de construcción y ampliación de la carretera contigua.

Referencias

[1] Robert Sheriff, "Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics", 1999, Tulsa, Society of Exploration, 3ª edición, páginas 156-170.

[2] Catalina Carreño, "Ambiente deposicional de la formación Bahía Inglesa (neógeno) en la cuenca de Caldera, III Región, Chile. Memoria para optar al Título de Geóloga", 2012, Santiago, Departamento de Geología Universidad de Chile.

[3] Consejo de Monumentos Nacionales, "Estudio Geológico, Línea de Base Paleontológica y Zonificación del Bien Nacional Protegido "Cerro Ballena, comuna de Caldera, región de Atacama", CMNcasos, N°2, 2013, ISSN 0719-2649.

[4] Nicholas Pyenson, "Repeated mass strandings of Miocene marine mammals from Atacama Region of Chile point to sudden death at sea", Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, Volumen 281 N°1781, 2014, ISSN 1471-2954

[5] Nico Goldscheider y David Drew, "Methods in Karst Hydrogeology, Chapter: Geophysical Methods", 2007, Londres, Taylor and Francis, 1ª edición, páginas 171-199

[6] Slawomir Porzucek y Janusz Madej, "Detection of near- surface geological heterogeneity at Starunia palaeontological site and vicinity (Carpathian region, Ukraine)

based on microgravity survey”, *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, Volumen 79, 2009, ISSN 0208-9068

Agradecimientos

Un especial agradecimiento a la Universidad de Santiago de Chile en conjunto con la Sociedad Paleontológica de Chile, por la gestión del curso de “Geofísica Aplicada”, instancia donde fue posible conocer estas técnicas de exploración no invasivas.

Autor principal

Jorge Zavalla Vásquez es estudiante de quinto año de Ingeniería Civil en Minas, en la Universidad de Santiago de Chile. Miembro del IIMCH, y de la Sociedad Paleontológica de Chile como Director en la actualidad.