



XII Congreso Geológico Chileno  
Santiago, 22-26 Noviembre, 2009



---

S11\_008

## **Tomografía Sísmica: Una Herramienta Geofísica Complementaria en la Caracterización de Depósitos Minerales.**

Comte, D.<sup>1</sup>, Charrier, R.<sup>2</sup>, Farías, M.<sup>2</sup>, Yáñez, G.<sup>1</sup>

(1)Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Blanco Encalada 2002, Santiago, Chile.

(2)Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile.

[dcomte@dgf.uchile.cl](mailto:dcomte@dgf.uchile.cl)

Es bien reconocido que Chile se encuentra en un borde sísmicamente activo a lo largo de prácticamente todo el territorio nacional. La tomografía sísmica utilizando, tanto sismos locales como telesismos, ha estado tradicionalmente orientada a la determinación de las características globales asociadas a los procesos de subducción imperantes en Chile (*e.g.* [1]); sin embargo, la inversión conjunta de hipocentros y estructura de velocidades de ondas *P* y *S*, puede ser también aplicada para obtener una mejor definición de las estructuras más superficiales, convirtiéndose es una herramienta geofísica complementaria en la caracterización regional de los depósitos minerales.

Los avances en los diseños de estaciones sismológicas autónomas, en las metodologías de monitoreo y en los algoritmos de inversión han permitido que la llamada *tomografía sísmica pasiva* (aquella que utiliza la sismicidad natural) sea una nueva metodología de exploración que posibilita caracterizar las estructuras más superficiales en torno a yacimientos, en general, y a campos geotermales, en particular. Considerando que la tomografía involucra una inversión conjunta de hipocentros y estructura de velocidades de ondas sísmicas, su utilización también permite definir con mayor precisión la distribución espacial y en profundidad de los sistemas de fallas sísmicamente activas presentes en las zonas de estudio, así como anomalías asociadas con cuerpos intrusivos y zonas de debilidad o daño.

La capacidad de la tomografía de resolver los cuerpos que se encuentran bajo el área de estudio dependerá tanto de la relación del tamaño de dichos cuerpos y de la geometría de la red de estaciones sismológicas a utilizar, como de los contrastes de las propiedades elásticas que ellos tengan con respecto al medio circundante. En algunos casos la resolución de las estructuras superficiales se puede mejorar aumentando el número de



XII Congreso Geológico Chileno  
Santiago, 22-26 Noviembre, 2009

estaciones (es decir, disminuyendo la distancia entre las estaciones) o a través de un muestreo sistemático de la zona de estudio modificando la geometría de la red de estaciones que se utiliza, o incrementando el tiempo de observación para zonas con una baja tasa de sismicidad. En resumen, la precisión y la resolución del modelo 3D de velocidades que se obtenga a través de una tomografía sísmica dependerá de la capacidad de la distribución espacial de las trayectorias de los rayos sísmicos que atraviesen las estructuras deseadas.

Considerando que la tomografía sísmica, como una herramienta de exploración, utiliza normalmente sismos locales, entonces el procedimiento de registro continuo es el más recomendado para detectar y localizar adecuadamente la microsismicidad que se encuentra dentro de una red sismológica bien diseñada, donde el nivel de ruido debe ser menor que las amplitudes esperadas de los sismos de magnitud mínima que se quiera utilizar (*e.g.*  $M_w$  del orden de 1 o 2). De esta forma, el número de sismos registrados en la mayoría de las estaciones de la red dependerá tanto de la sismicidad del área, como del nivel de ruido ambiente en cada estación. En el caso de Chile, la sismicidad proveniente de la subducción ofrece condiciones óptimas para diseñar redes de detección que aseguren una cantidad razonable de sismos para ser utilizados en la tomografía; la creciente observación de sismos corticales, junto con el registro de las explosiones de asociadas a la actividad minera, son elementos que favorecen un modelo de velocidades más preciso, sobre todo en el intervalo de profundidades que se quiere resolver, vale decir a profundidades menores que 20-30 km. A modo de ejemplo, en el norte de Chile un monitoreo de unos 3-4 meses de observación, normalmente entrega un número adecuado de sismos para obtener una tomografía dentro de los rangos de precisión deseados; sin embargo, en zonas hacia el sur de Chile, el tiempo de monitoreo debería extenderse a órdenes del doble utilizado en el norte del país.

Uno de los resultados del proyecto ACT N° 18 establece una íntima relación entre los sistemas estructurales de alto ángulo sísmicamente activos, e importantes variaciones reológicas en torno a los yacimientos [2, 3]. Los hipocentros superficiales determinados con los modelos 3D obtenidos a través de una tomografía sísmica pasiva, permiten complementar el estudio geológico estructural y establecer su extensión en profundidad; de igual forma, permite analizar la sismicidad inducida por la actividad minera, tanto la proveniente de los procesos mismos de excavación subterránea, como la asociada a los sistemas de fallas que están controlando la presencia de los yacimientos.

#### Ejemplo de una Tomografía con Pocos Sismos Superficiales

La Figura 1a muestra la distribución de una red sismológica en el norte de Chile, cuyo espaciamiento promedio entre estaciones es del orden de 15 km; esta red registró del orden de 3500 sismos durante 3 meses, con los que se pudo obtener una tomografía de



XII Congreso Geológico Chileno  
Santiago, 22-26 Noviembre, 2009

ondas  $P$  y  $S$ , cuyos resultados de  $V_p/V_s$  se observan en la Figura 1b., a través de un perfil EW. En dicho perfil queda en evidencia un cuerpo de bajo  $V_p/V_s$  cuya extensión en profundidad es entre 6 y 8 km.

### Ejemplo de una Tomografía con Sismos Superficiales y Explosiones

La Figura 2a. muestra los resultados de una tomografía en una zona minera cercana a un sistema activo de fallas, allí se puede observar una zona de bajo  $V_p/V_s$  rodeada por altos  $V_p/V_s$ , al borde de uno de ellos se observa la expresión en profundidad de la falla (círculos rojos). En la Figura 2b se observa la distribución de sismos superficiales con el tiempo en horas diarias (tiempo universal), donde las horas de las explosiones (17 y 21hrs, UT) están seguidas por una actividad sísmica que es considerada como inducida por las explosiones.

### Ejemplo de Integración de Resultados Geológicos, Sismicidad y Tomografía [4]

González [4], a través del proyecto Anillo ACT N° 18, analizó los datos sismológicos y la geología superficial en el borde oriental de la Cordillera Principal Chilena entre los valles de los ríos Tinguiririca y Teno, lugar donde se observa sismicidad cortical, incluyendo la secuencia del terremoto del 28 de Agosto de 2004. En dicho estudio se realiza una interpretación estructural que integra la observación geológica de superficie y la información obtenida con los registros sísmicos, y una tomografía de ondas  $P$  y  $S$ . Esta zona presenta altas dificultades para la exploración geológica, sin embargo la información recopilada, en conjunto con la geometría propuesta por los datos sísmicos registrados en la zona, permitió construir un perfil integrado que se observa en la Figura 3. Los resultados obtenidos permiten establecer que la zona de estudio corresponde a una zona de debilidad de larga data, asociado al sistema de falla El Fierro, la cual hoy en día continúa acomodando deformación de la corteza, concentrándose inmediatamente al Oeste de la traza principal de la falla El Fierro

### Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto PBCT Anillo ACT N° 18.

### Referencias

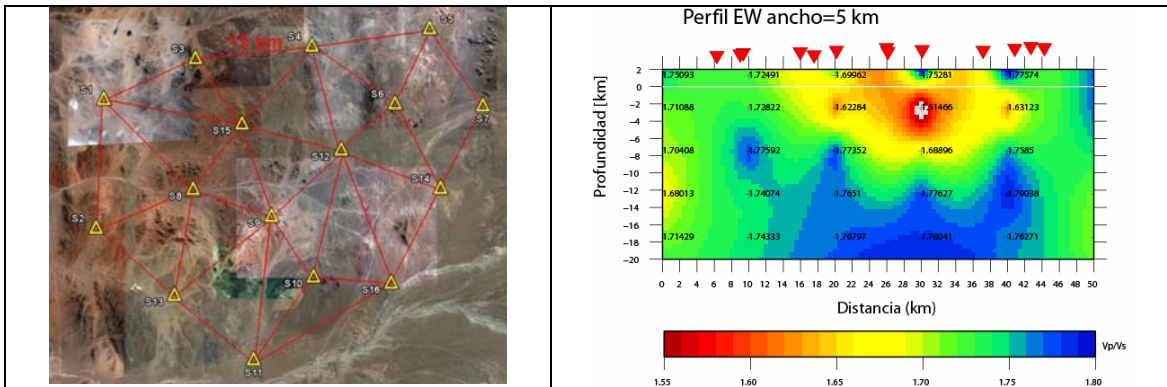
- [1] Pardo, M., Vera, E., Yañez, G., Monfret, T. (2009). Tomografía sísmica bajo los Andes de Chile Central (33°-34.5°S): Implicaciones sismotectónicas. *XII Congreso Geológico Chileno 2009*.
- [2] Yañez, G., Rivera, O., Comte, D., Pardo, M., Baeza, L., Vera, E. (2008). Damage zone and the occurrence of world-class porphyry copper deposits in the active margin of Chile: Geophysical signatures and tectonomagmatic inferences, 7th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2008, Nice), Extended Abstracts: 592-593
- [3] Charrier, R., Farías, M., Maksaev, V. (2008). Evolución tectónica, paleogeográfica y metalogénica durante el Cenozoico en los Andes de Chile norte y central e implicaciones para las regiones adyacentes de Bolivia y Argentina, en prensa, Número Especial Revista Geológica Argentina



Geología  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

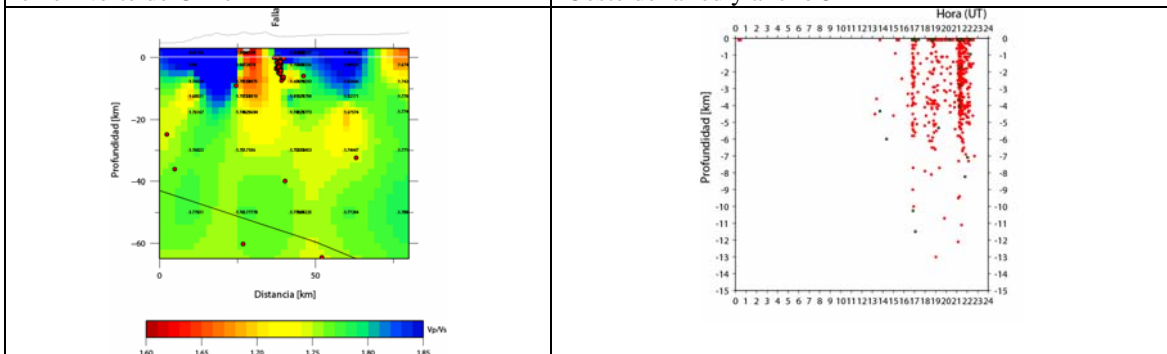
XII Congreso Geológico Chileno  
Santiago, 22-26 Noviembre, 2009

[4] González, A. (2008). Análisis estructural entre los Valles del río Tinguiririca y Teno, Cordillera Principal de Chile Central: Microsismicidad y Geología Superficial. Memoria de Título, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.



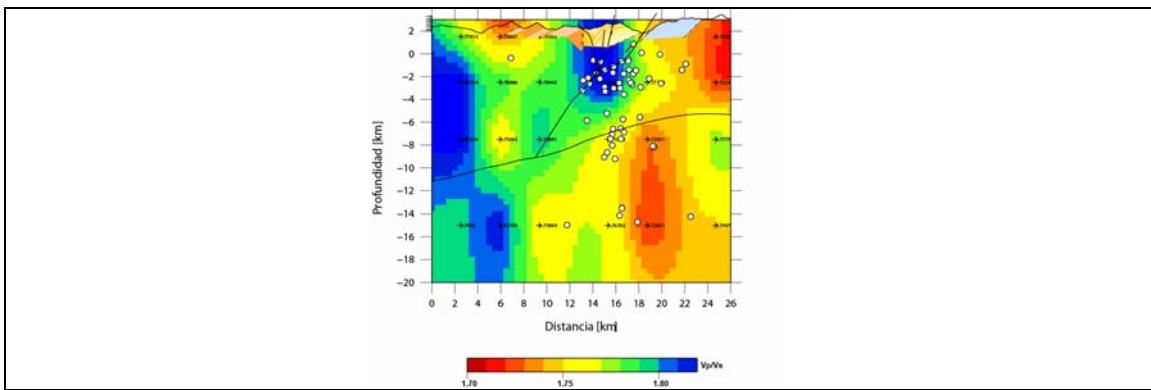
**Figura 1a** Distribución de una red sísmológica en el Norte de Chile

**Figura 1b** Perfil EW VP/Vs con origen en el límite Oeste de la red y ancho 5 km



**Figura 2a** Distribución de una red sísmológica en el Norte de Chile

**Figura 2b** Perfil EW VP/Vs con origen en el límite Oeste de la red y ancho 5 km



**Figura 3.-** Sección vertical (N110°E) de la distribución de los sismos asociados a la falla de El Fierro (28/08/2004, Mw=6.5), graficados sobre los resultados de una tomografía sísmica de Vp/Vs.