

# Utilización de imágenes SIR-C en el estudio de lineamientos en las unidades volcánicas Cretácicas y Terciarias de la región de Coquimbo (Chile): el sector de Quebrada Marquesa

*Use of SIR-C images in the study of lineaments in the Cretaceous and Tertiary volcanic units of the Coquimbo region (Chile): the Marquesa Gulch area*

A. Márquez (\*), R. Oyarzun (\*\*) y L. Ortega (\*\*)

(\*) Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad de C.C. Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

(\*\*) Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de C.C. Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

## ABSTRACT

The remote sensing Radar images offer to the geologist an outstanding tool allowing a better definition of the structural features of a region. The flights of the space shuttle Endeavour in 1994 allowed experimentation with a brand-new radar scanner: the **SIR-C** (Shuttle Imaging Radar, C generation). Images of the Coquimbo region (Chile) kindly offered to the authors by the **JPL** (Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, USA) have allowed definition of major structural trends, within a region where lower Cretaceous to lower Tertiary volcanic Formations account for most of the geology of the area. The linear features correspond to regional faults: 1) NW to NNW, 2) N-S, 3) NNE to NE, 4) WNW, and 5) WSW. Only the two first trends were known before this study. Sub-circular structures have been interpreted as eroded calderas. The caldera-type structure are clearly visible in the raw images, while three newly defined fault trends (NNE, WNW and WSW) were observed in derivative images obtained by data processing (by ERDAS IMAGINE). Both the NNW trend and caldera-type structure seem to be related to mineralizing process. Structural blocks observed in the Marquesa Gulch area may be the result of the intersection of the NNE and ENE trends.

**Key words:** remote sensing, radar, SIR-C, lineaments, structural geology, volcanics, Chile.

Geogaceta, 19 (1996), 146-149  
ISSN: 0213683X

## Introducción

En 1994 un nuevo instrumento de teledetección entraba en funcionamiento, el Radar **SIR-C**, desarrollado por el Jet Propulsion Laboratory (NASA, Pasadena), y diseñado por un equipo de investigación dirigido por la Dra. D.L. Evans. El **SIR-C** fue montado en el transbordador Endeavour, el cual en Abril y Octubre de 1994 obtuvo imágenes de un 12 % del planeta, enfocándose el equipo sobre varios centenares de puntos previamente seleccionados (Evans *et al.*, 1995).

Una de las zonas barridas por el **SIR-C** corresponde a la Región de Coquimbo, Chile, en concreto, a la ocupada por una serie de unidades volcánicas de edades comprendidas entre el Cretácico inferior y Terciario inferior (Fig. 1). En concreto este estudio preliminar se ha desarrollado en el sector denominado Cuadrángulo Quebrada Marquesa, donde trabajos

previos permitían disponer de un control geológico adecuado del área investigada. A continuación se detallan las características de la técnica utilizada y los resultados más relevantes obtenidos durante esta investigación.

### Las imágenes de radar y el sistema SIR-C

El radar (*radio detection and ranging*) se distingue de los otros sistemas de teledetección en dos aspectos fundamentales: 1) se trata de un sistema activo, y 2) opera en la región del espectro electromagnético de las ondas de radio y microondas. Estas dos peculiaridades del sistema son las que provocan las principales características de las imágenes de radar. La primera gran ventaja del radar es que puede operar tanto de día como de noche, y en regiones cubiertas de nubes, ya que la longitud de onda de su

energía no se ve afectada por estos factores. La iluminación oblicua con la que están producidas las imágenes de radar produce además un fuerte resalte de la topografía y de los rasgos lineales.

Las aplicaciones principales de las imágenes de radar en geología están en la cartografía de lineamientos, ya que la distinción de litologías solo es posible si el cambio de materiales va acompañado de variaciones en la rugosidad. Este es el factor principal que controla la intensidad de la señal recibida, y por tanto la principal característica reflejada en las imágenes.

En 1994 la NASA puso a bordo del transbordador espacial Endeavour un sistema de radar conocido como **SIR-C** (*Shuttle Imaging Radar*). Este ha sido el tercero de una serie que se inició en 1981 con el **SIR-A** a bordo del Columbia, y continuó en 1984 con el **SIR-B**. Para este trabajo se han utilizado imágenes adquiridas por el

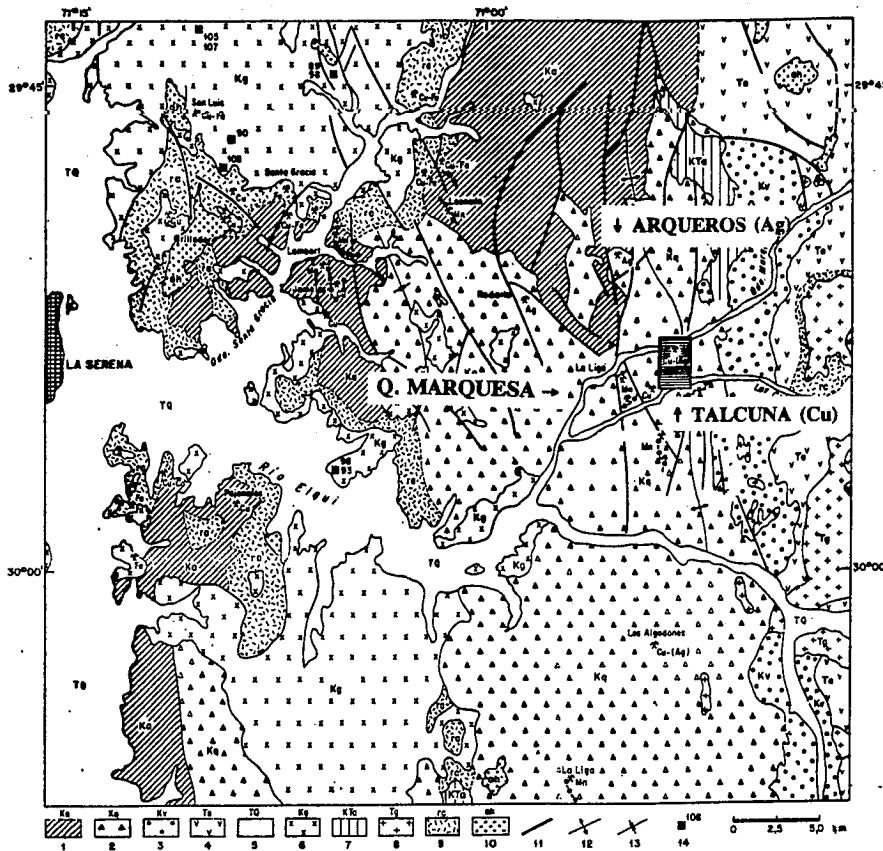


Fig. 1.- Geología de la zona de estudio. 1: Formación Arqueros (Cretácico Inferior); 2: Formación Quebrada Marquesa (Cretácico Inferior); 3: Formación Viñita (Cretácico Superior); Formación Los Elquinos (Terciario Inferior); 5) Rocas sedimentarias (Mioceno -Cuaternario); 6) Granitoides del Cretácico Inferior-Superior; 7) Intrusivos andesíticos y basálticos (Cretácico Superior -Terciario Inferior); 8) Granitoides (Terciario Inferior); 9) Rocas córneas; 10) Zonas de alteración hidrotermal; 11) Fallas; 12) Anticlinal; 13) Sinclinal; 14) Datación K/Ar. Boric (1985).

SIR-C en sus dos vuelos en Abril y Octubre de 1994, cedidas por el Jet Propulsion Laboratory, a través de INTERNET. Las dos imágenes utilizadas poseen ángulos de iluminación distintos (43° hacia los 140° E, y 55° hacia los 32° E). Ambas cubren un área de 100 x 57 km con una resolución de 50 m por pixel. Han sido tomadas en la banda L (23.9 cm de longitud de onda) y están polarizadas horizontalmente (HH).

Las imágenes fueron procesadas con el programa de tratamiento digital ERDAS IMAGINE. Parte de la interpretación geológica proviene directamente de las imágenes sin tratar («raw images») tras aplicarles únicamente un contraste lineal del histograma. Las restantes interpretaciones provienen del realce de bordes efectuado por filtrado digital de las imágenes. Las imágenes resultantes son del tipo derivativa («derivative images»). Estas imágenes son resultado de una técnica que permite tomar el valor numérico de un determinado pixel al

cual se le resta el valor numérico correspondiente a otro pixel adyacente al primero, ubicado en una recta horizontal, vertical o diagonal de la imagen. El producto final es una imagen suavizada (sin efecto relieve) en la que se realiza la estructura fina y la morfología del terreno.

#### Marco geológico

La geología de la zona de estudio se encuentra dominada por la presencia de Formaciones volcánicas-volcanosedimentarias que van edad desde el Cretácico inferior al Terciario inferior. Estas se encuentran intruidas por granitoides de dimensiones batolíticas con edades radiométricas K/Ar en el rango 108-93 Ma (Boric, 1985). De base a techo estas son (Fig. 1):

1) **Formación Arqueros** (Hauteriviense-Barremiense; Aguirre y Egert, 1965), 1020 m de potencia. Se trata de una unidad predominantemente volcánica con in-

tercalaciones sedimentarias marinas. Las rocas volcánicas están constituidas principalmente por andesitas porfíricas, algunas del tipo ocoita. También se reconocen intercalaciones de areniscas volcánicas. Los niveles marinos consisten en calizas fosilíferas, coquinas y cherts.

2) **Formación Quebrada Marquesa** (Barremiense-Albiense; Aguirre y Egert, 1965; Rivano y Sepúlveda, 1991), 1500 m de potencia mínima. Se trata de una unidad volcánica a volcanosedimentaria (tobas y brechas volcánicas) de composición andesítica predominantemente continental con niveles calcáreos marinos hacia la base. El Miembro 2 de esta Formación contiene sinters carbonáticos manganesíferos. Esta secuencia se dispone concordantemente sobre la Formación Arqueros.

3) **Formación Viñita** (Cretácico Superior; Aguirre y Egert, 1965; Boric, 1985), 1440 m de potencia. Se trata de una unidad predominantemente continental con rocas sedimentarias y volcánicas andesíticas. Esta secuencia descansa en discordancia angular sobre la Formación Quebrada Marquesa.

4) **Formación Los Elquinos** (Terciario Inferior; Aguirre y Egert, 1965; Boric, 1985), 1850 m de potencia mínima. Se trata de una unidad de origen continental constituida por lavas, tobas y brechas de composición basáltica a riolítica. La secuencia descansa concordantemente sobre la Formación Viñita.

Los granitoides presentan composición granítica a diorítica y sus edades (K/Ar) se reparten en un amplio abanico desde el Aptiense/Albiense (108 Ma; Cretácico inferior) a Turoniense (93 Ma; Cretácico superior). Afloran también en la zona pequeños stocks de composición diorítica-gábrica y granodiorítica-granítica asignables al Cretácico superior-Terciario inferior. Estas rocas presentan claras evidencias de actividad hidrotermal y algunas parecen claramente relacionadas con estructuras del tipo caldera. Un ejemplo de esta situación está dado por la presencia de un intrusivo en el NE del Distrito de Talcuna. Este presenta importantes zonas de alteración hidrotermal y se encuentra localizado en el centro de una estructura sub-circular.

Tradicionalmente se han reconocido dos sets de fallamiento, N-S de tipo normal y responsable de importantes basculamiento de los bloques volcánicos, y NNW, mas antigua, portadora de

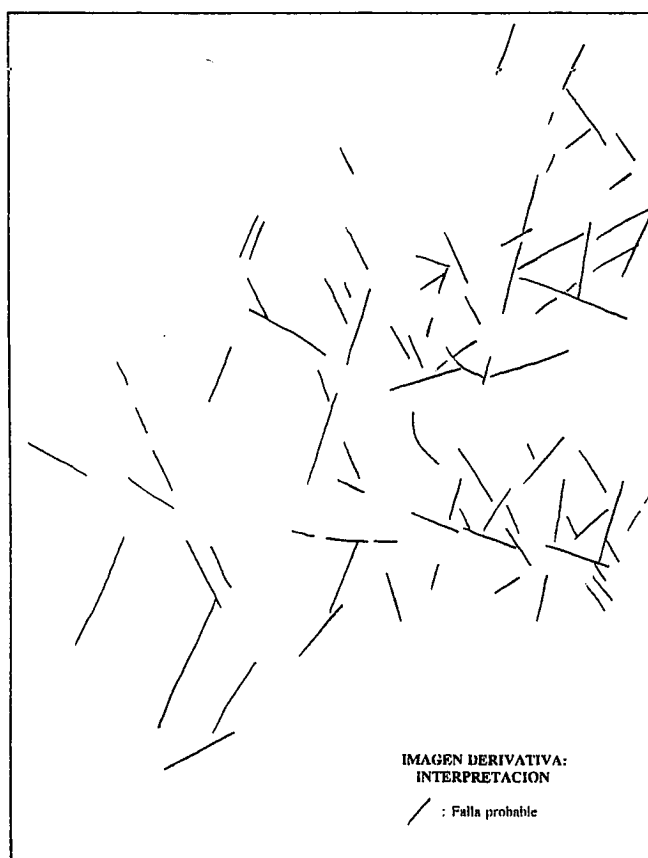
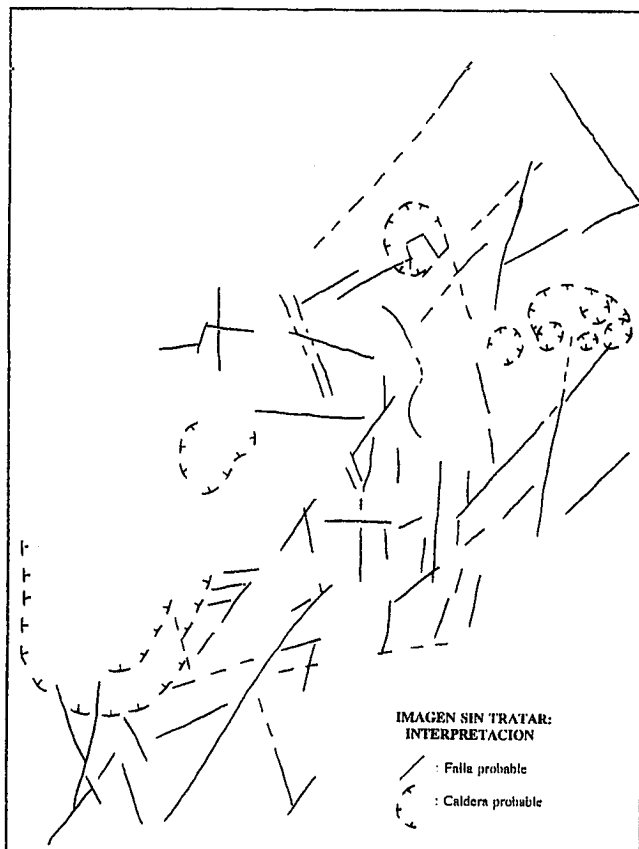
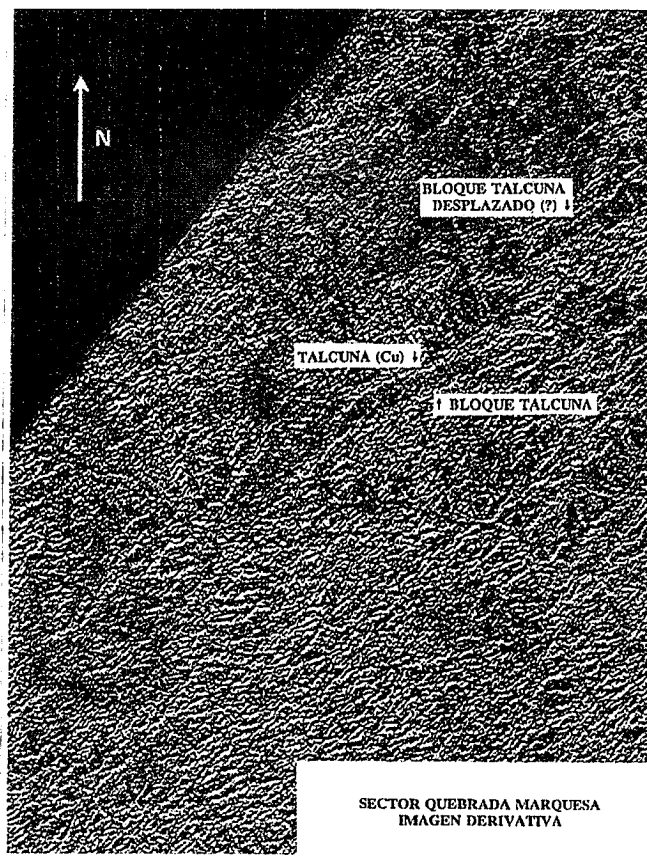
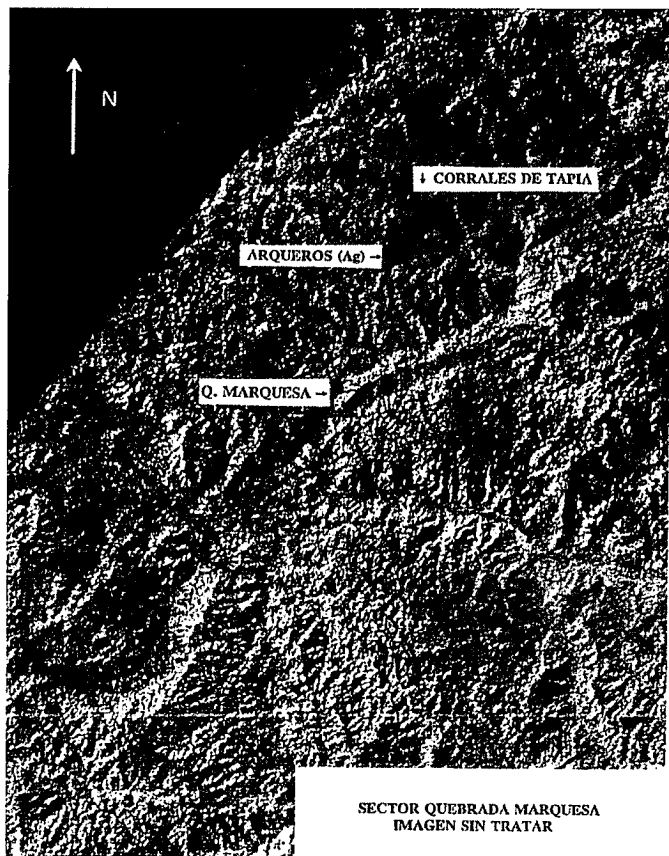


Fig.2.- Imágenes SIR-C del sector Quebrada Marquesa.

numerosos filones mineralizados en la zona de estudio. Las mineralizaciones se agrupan en dos zonas principales: los distritos de Arqueros y Talcuna. El Distrito de Arqueros (Cucurella *et al.*, 1991) encaja en rocas volcánicas y sedimentarias de Cretácico inferior pertenecientes a la Formación Arqueros. El marco geológico local del Distrito de Arqueros lo constituye una secuencia de andesitas porfíricas, tobas y calizas marinas. La mineralización consiste en arquerita, argentita, plata nativa, polibasita, cerargirita y pirargirita-proustita. El Distrito de Talcuna (Boric, 1985) encaja en rocas volcanosedimentarias pertenecientes a la Formación Quebrada Marquesa. El Distrito de Talcuna comprende una serie de mineralizaciones estratoligadas de Cu-Pb-(Ag) que consisten en delgados haces filonianos consistentes en brechas hidráulicas. Estas se encuentran principalmente confinadas al denominado *Manto Talcuna*, unidad con una potencia máxima de 15 m y consistente en areniscas y tobas de lapilli. La parte principal del Distrito encaja en un bloque tectónico ENE limitado por las Quebradas Marquesa y Las Cañas (*Bloque Talcuna*; Fig. 2). La mineralización consiste en calcopirita y bornita, con menores cantidades de calcosina, galena, esfalerita y piritita.

#### Aplicación de las imágenes SIR-C al estudio estructural de la zona

Los estudios regionales realizados hasta ahora revelaban dos sets de fallas mayores: NW y N-S (Fig. 1). Al primero se asocian en gran medida la estructuras mineralizadas, en tanto que el segundo es responsable del arreglo estructural de bloques basculados en el área de estudio. Sin embargo, ninguno permite explicar adecuadamente el emplazamiento concreto de los distritos de Arqueros y Talcuna. Las imágenes SIR-C han sido de inmensa utilidad en lo que se refiere a la definición de los principales rasgos estructurales del área de estudio. Aparte de reconocer claramente los sets de fallas definidos por la cartografía general del área, el estudio de las imágenes ha permitido distinguir claramente la existencia de nuevos sets

fracturación regional: NNE, WNW y ENE (Fig. 2). Este último parece claramente relacionado con la formación del aquí denominado *Bloque Talcuna* (Fig. 2). Este set de fallas precede a los antes mencionados ya que se encuentra aparentemente desplazado por las fallas de dirección NNE. El análisis de lineamientos y otros arreglos geométricos en las imágenes SIR-C del área revela lo siguiente (Fig. 2):

1) La importancia regional del **fallamiento N-S** (clara expresión en la imagen sin tratar).

2) La importancia regional del **fallamiento NW-NNW** (claramente observable en la imagen derivativa).

3) La importancia regional del **fallamiento WNW** (claramente observable en la imagen derivativa).

4) La existencia de un set de **fallas ENE** (clara expresión en las imágenes sin tratar y derivativas).

5) La abundancia de **estructuras circulares**. En la periferia de una de ellas (Corrales de Tapia) se localiza el Distrito de Arqueros (clara expresión en la imagen sin tratar).

6) La existencia de una **falla normal con forma de S alargada** que coincide exactamente con el Distrito de Talcuna (clara expresión en la imagen sin tratar).

7) La existencia de dos probables **fallas regionales NNE** que aparentemente provocan el desplazamiento del segmento oriental del bloque Talcuna hacia el norte (clara expresión en la imagen derivativa).

Los puntos (2), (5) y (6) parecen ser extraordinariamente relevantes en cuanto al control estructural de las zonas mineralizadas. Una interpretación directa que podemos hacer de las formas circulares observadas en las imágenes SIR-C es que se trate de paleo calderas muy erosionadas. La importancia de este tipo de estructuras en la formación de yacimientos minerales ha sido exhaustivamente tratado en la literatura especializada (e.g. Sillitoe y Bonham, 1984). En este sentido resulta notable la relación espacial que guarda el Distrito de Arqueros (localizado en la periferia occidental) y la posible caldera que se ha denominado para efectos de este trabajo como Corrales de Tapia (Fig. 2).

En lo que se refiere al Distrito de Talcuna, resulta sorprendente la exacta coincidencia espacial entre el emplazamiento de los yacimientos y el rasgo estructural tipo S alargada invertida (Fig. 2). La morfología de este rasgo sugiere la presencia de una falla normal en doble arco con buzamiento hacia el W y E. Los yacimientos de Talcuna se encuentran localizados en la zona de inflexión *arco buzando al W arco buzando al E* (Fig. 2). Esta es la única estructura mayor que permite diferenciar la zona ocupada por el Distrito de Talcuna de su entorno regional inmediato.

#### Agradecimientos

Las imágenes SIR-C que se utilizaron en este trabajo fueron amablemente cedidas a los autores por el Jet Propulsion Laboratory (Pasadena, USA), y en particular deseamos agradecer en el JPL a Ms. S. McConnell y Ms. E. O'Leary por su gestión. Parte del tratamiento digital de las imágenes se realizó en la empresa INFOCARTO S.A. durante la estancia de uno de los autores (A.M.) como becario FPI-Empresa (M.E.C.) en dicha compañía.

#### Referencias

- Aguirre, L. y Egert, E. (1965). *Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile (Carta Geológica de Chile 1: 50.000)*, no. 15, 92 p.
- Aguirre, L., Levi, B. y Nyström, J.O. (1989). *Geological Society Special Publication 43*, p. 223-232.
- Boric, R. (1985). *Revista Geológica de Chile*, 25-26: 57-75
- Cucurella, J., Flores, I., y Oyarzún, J. (1991). *Estudios Geológicos*, 47: 149-155.
- Evans, D.L., Stofan, E.R., Jones, T.D. y Godwin, L.M. (1995). *Investigación y Ciencia*, Febrero de 1995, 24-29.
- Rivano, S. y Sepúlveda, P. (1991). *Servicio Nacional de Geología y Minería (Carta Geológica de Chile 1: 250.000)*, no. 69, 132 p.
- Sillitoe, R.H. y Bonham, H.F. (1984). *Economic Geology*, 79: 1286-1298.