

## ATLAS GEOQUIMICO AL NORESTE DE ANTOFAGASTA, CHILE: RESULTADOS

J. Arias\*, L. Baeza\*, P. Campano\*, S. Espinoza\*, N. Guerra\*

Un mapa geoquímico es una representación cartográfica de los contenidos de elementos químicos en una región determinada.

El Atlas al que se refiere este artículo<sup>1</sup>, tuvo como objetivo estudiar la factibilidad de elaborar mapas geoquímicos en una región árida, conocer la dispersión secundaria de algunos elementos químicos y estudiar su relación con la litología y la mineralización existentes. En este atlas, desarrollado a una escala de reconocimiento regional, se emplearon sedimentos fluviales como medio de muestreo en atención a la existencia de un drenaje organizado. En dicho atlas se detallan los procedimientos de muestreo, análisis y procesamiento de datos.

El área de estudio seleccionado contiene algunos yacimientos minerales conocidos, en particular de cobre, pertenecientes a la provincia metalogénica de la Cordillera de la Costa de la Región de Antofagasta que se extiende entre la Quebrada El Desesperado por el sur y Punta Guape por el norte y entre la Plataforma costera por el oeste y el meridiano 70°W por el este.

### Geología

El área del atlas geoquímico consiste principalmente de afloramientos de rocas ígneas; las más antiguas son series de volcanitas jurásicas (Formación La Negra) y rocas intrusivas de un complejo plutónico que intruye a las anteriores.

### Rocas Volcánicas

Las rocas volcánicas conforman potentes series bien estratificadas de lavas basálticas y andesíticas con intercalaciones de brechas y sedimentos clásticos volcánicos pertenecientes a la Formación La Negra<sup>2</sup>, que se distribuyen, preferentemente, en el sector occidental del área.

Las lavas incluyen coladas de andesitas porfídicas, afaníticas y amigdaloides de color gris oscuro a verde, de espesor variable, entre 3 y 15 m, y escasas intercalaciones de autobrechas y areniscas volcánicas, dispuestas todas en una estructura homoclinal de rumbo NNE con inclinación entre 40° y 70° al oeste.

Las andesitas están frescas o débilmente propilitizadas (epidota-clorita-calcita-cuarzo). Evidencias de recristalización están presentes en sectores de contacto con rocas intrusivas.

La edad máxima para la Formación La Negra se estima como hettangiana no basal a sinemuriana en el sector de Cuevitas<sup>3</sup> y la edad mínima es desconocida, pudiendo alcanzar al Jurásico Superior.

### Complejo Plutónico Fortuna-Naguayán

Esta unidad comprende dos asociaciones de rocas intrusivas diferenciadas, distribuidas en dos sectores, occidental (Cerro Fortuna) y oriental (Cerro Naguayán), separadas por una falla regional de rumbo NNE- NS, del sistema de la Falla de Atacama.

#### *Sector Occidental*

Consiste en gabros, dioritas, tonalitas, granodioritas y granitos con marcadas variaciones texturales, cuyo

---

\* Universidad Católica del Norte, Departamento de Ciencias Geológicas, Casilla 1280, Antofagasta, Chile.

orden indica una diferenciación desde un extremo máfico a uno félsico.

#### *Sector Oriental*

Está constituido por una asociación de dioritas, monzodioritas, monzonitas, sieno-granitos y granitos.

#### **Edad**

No existen dataciones absolutas de su edad, sin embargo, intruyen a las series andesíticas jurásicas, por lo que su edad es posterior a ellas. Dataciones radiométricas realizadas en rocas de este complejo (Tocopilla, Mantos Blancos, Michilla, Antofagasta), sugieren un intervalo de edad variable entre 150 y 135 Ma (Jurásico Superior-Cretácico Inferior basal)<sup>4, 5, 6</sup>.

La evolución magmática de este complejo muestra fases iniciales dominadas por dioritas y monzodioritas, que varían, composicionalmente, a términos más diferenciados, éstos incluyen, uno de carácter potásico (occidental) constituido por granodioritas y granitos potásicos y el otro, de carácter sódico-potásico (oriental) formado por sienogranitos sódico-potásicos.

El complejo plutónico es marcadamente calcoalcalino y sólo muestra una cierta afinidad toleítica en los tipos básicos iniciales.

#### **Depósitos Modernos**

Están restringidos a las zonas de relieve más bajo, como cuencas y quebradas; consisten en escombros de falda, relleno de quebradas y sedimentos activos recientes.

#### **Estructuras**

Se reconocen varios sistemas de fallas, de carácter regional, que ponen de evidencia grandes unidades tectónicas. Estas estructuras tienen rumbos NS y NNE, se asocian en parte a la zona de fallas de la Falla de Atacama y exhiben, incluso, actividad reciente. Algunas de ellas tienen una estrecha relación con mineralizaciones conocidas en el sector.

### **Interpretación de Resultados**

Los resultados del estudio geoquímico de 142 muestras de sedimentos del drenaje empleadas en el mapa geoquímico son comparados con datos regionales de andesitas de la Formación La Negra (Jurásico; 22°00'S-26°30'S; 27 muestras) e intrusivos de composición intermedia (Jurásico-Cretácico; 22°14'S-23°19'S; 10 muestras)<sup>7, 8</sup>. A continuación se describen y comentan los resultados obtenidos.

#### **Cobre**

Este elemento representa sensiblemente la correlación entre la existencia de mineralización conocida y los niveles de concentración de Cu medidos en los sedimentos del drenaje. El promedio regional para andesitas frescas (Jurásico; Formación La Negra) es de 88 ppm; la media regional para rocas intrusivas intermedias es de 66 ppm; y la media de las muestras del mapa geoquímico es de 135 ppm.

#### **Plomo**

Para el plomo, los valores, que son normales, reflejan adecuadamente la dispersión primaria dominante (contenidos más altos en rocas intrusivas que en rocas volcánicas) y desde el punto de vista metalogénico la ausencia de contenidos anómalos es justificada debido a que la región no es de carácter polimetálico.

La media de las muestras estudiadas es de 2,9 ppm, valor que es inferior al promedio regional de andesitas (Jurásico; Formación La Negra) que es de 9,7 ppm. Esta diferencia puede explicarse mediante el efecto dispersante de la migración secundaria, incluyendo la intemperización.

#### **Cinc**

En el caso del cinc también domina la dispersión primaria, que es controlada litológicamente, produciendo contenidos más elevados en rocas volcánicas y más empobrecidos en las rocas plutónicas.

Los contenidos medidos en los sedimentos del drenaje en promedio alcanzan 55 ppm; en cambio, las andesitas de la región exhiben un promedio de 95 ppm, y las rocas intrusivas intermedias es de 51 ppm. Así, se aprecia un empobrecimiento relativo en comparación con las rocas volcánicas de la región, de manera similar al plomo.

#### Plata

Los contenidos promedio de las muestras de sedimentos del drenaje alcanzan a 1,6 ppm. Los contenidos promedios mundiales de plata en la corteza alcanzan a 0,07 ppm. De este modo, se aprecia que existe un enriquecimiento relativo importante de Ag en la región estudiada.

Esto se podría relacionar con la existencia, en el sector sur del área estudiada, de un distrito con mineralización cuprífera (vetiforme) en rocas intrusivas, posiblemente desarrollado a mayor profundidad en la corteza.

#### Cobalto

El cobalto presenta contenidos promedio empobrecidos en los sedimentos de las rocas volcánicas e intrusivas (19 ppm) en relación con los promedios regionales (51 ppm en rocas intrusivas y 41 ppm en rocas volcánicas), en especial en el sector sur del área estudiada, que posee un predominio de rocas intrusivas.

#### Níquel

De manera similar, el níquel presenta contenidos empobrecidos en los sedimentos de las rocas volcánicas del área (27 ppm), respecto de los promedios regionales (39 ppm en rocas volcánicas y 41 ppm en rocas plutónicas).

El empobrecimiento de ambos elementos, Co y Ni, se explicaría por el efecto oxidante de la intemperización.

#### Rubidio

El rubidio presenta concentraciones promedio comparativamente bajas en los sedimentos del drenaje

del área (10 ppm), en contraposición a los promedios de rocas volcánicas (64 ppm) e intrusivas (52 ppm).

#### Estroncio

El estroncio muestra una distribución marcada de contenidos superiores al promedio de los sedimentos (129 ppm) en el sector sur del área estudiada. En contraste, el área septentrional, exhibe contenidos mayoritariamente inferiores a 100 ppm. Los contenidos promedio regionales son de 390 ppm en rocas volcánicas jurásicas y de 298 ppm en rocas intrusivas cretácicas.

Los bajos niveles de concentración de Sr en los sedimentos, se explican por la moderada intemperización de los silicatos, minerales huéspedes principales de dicho elemento.

Cabe señalar que el origen de dos zonas bien marcadas, una con contenidos relativamente altos de Sr en el sur y bajos contenidos en el norte, puede relacionarse con el predominio respectivo de rocas intrusivas y volcánicas en dichos sectores.

#### Barlo

El contenido promedio de Ba en sedimentos es de 46 ppm. En tanto, las rocas volcánicas jurásicas contienen en promedio 332 ppm y las rocas intrusivas cretácicas 234 ppm. Los contenidos bajos observados se explicarían de manera similar al Sr.

#### Vanadio

El vanadio presenta contenidos predominantemente superiores a 140 ppm en el sector norte del área, que contiene principalmente rocas volcánicas; en cambio en el sector sur, son comunes las muestras con contenidos inferiores a 100 ppm, en un ambiente principalmente intrusivo.

El contenido promedio de los sedimentos del drenaje es de 130 ppm. En rocas volcánicas el promedio regional es de 185 ppm y en intrusivos cretácicos es de 236 ppm.

El marcado contraste de los contenidos de vanadio en el área predominantemente volcánica (andesitas y andesitas basálticas) con respecto al dominio meridional intrusivo (intrusivos diferenciados), se explicaría por

un mayor contenido de fases minerales máficas en la primera *versus* un predominio de las fases félsicas en el segundo.

### Cromo

El cromo exhibe una distribución que se asemeja a aquella del vanadio. El contenido promedio en sedimentos del drenaje es de 63 ppm. En cambio los promedios regionales en rocas volcánicas son del orden de 54 ppm en lavas jurásicas y de 69 ppm en rocas intrusivas cretácicas..

Esta distribución se puede explicar como originada en el fraccionamiento temprano del cromo, fundamentalmente en piroxenos y, en menor grado en anfíbolos, durante la diferenciación magmática; este proceso causaría una concentración selectiva del cromo en rocas intrusivas diferenciadas (ricas en anfíbolos) y su empobrecimiento relativo en lavas basálticas y andesíticas.

### Litio

El litio muestra un contenido promedio en sedimentos fluviales de 18 ppm, que es similar al promedio regional de andesitas jurásicas, el que alcanza a 20 ppm. La distribución de litio se caracteriza por una concentración predominante de muestras con contenidos superiores a 15 ppm en el sector norte del área, que corresponde al dominio volcánico; en cambio, en la zona sur, que es predominantemente intermedia, las concentraciones son, en su mayoría inferiores a 15 ppm.

### Conclusiones

El empleo de muestras de sedimentos del drenaje en zonas de aridez extrema, como el Desierto de

Atacama, caracterizado por drenajes asociados a flujos efímeros e intermitentes, ha sido posible y ha mostrado ser útil para la obtención de datos geoquímicos de interés geológico y minero. Los diversos mapas de distribución de elementos químicos muestran anomalías correlacionables con la litología, estructura y mineralización del área.

### Referencias

1. Arias, J.; Baeza, L.; Campano, P.; Espinoza, S.; Guerra, N. 1989. Atlas geoquímico Piloto al Noreste de Antofagasta. *Universidad del Norte-FONDECYT*, 26 mapas, 1 imagen satelítica, texto.
2. García, F. 1967. Geología del Norte Grande de Chile. *Sociedad Geológica de Chile. Simposio sobre el Geosinclinal Andino*, No. 3, 138 p. 1962.
3. Téllez, C. 1986. Estratigrafía de la Formación La Negra en la Cordillera de la Costa a la latitud de Antofagasta, II Región. Chile. Memoria de Título (Inédito). *Universidad del Norte, Departamento de Geociencias*, 90 p. Antofagasta.
4. Ferraris, F.; Di Biase, F. 1978. Geología de la Hoja Antofagasta, II Región de Antofagasta. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile*, No. 30, 48 p.
5. Astudillo, O. 1983. Geología y Metalogénesis del Distrito Minero Carolina de Michilla, Antofagasta. Memoria de Título (Inédito). *Universidad del Norte*, 132 p. Antofagasta.
6. Chávez, W. 1983. The geologic setting of disseminated copper sulphide mineralization of the Mantos Blancos copper-silver district, Antofagasta province, Chile. *AIME, Geology Section, Annual Meeting*, (Pre-print), No.183. Atlanta, Georgia, USA.
7. Campano, P.; Guerra, N. 1979. Contribución al estudio geoquímico de rocas volcánicas del Norte de Chile comprendidas entre las latitudes 22°00' y 26°30'S. *In Congreso Geológico Chileno*, No. 2, Actas, p. J109-126. Arica.
8. Guerra, N.; Campano, V.; Véliz, L. 1988. Estudio preliminar acerca de la geoquímica y petrología del magmatismo intrusivo de la Cordillera de la Costa (II Región Antofagasta). *In Congreso Geológico Chileno*, No. 5, Actas, p. I333-353. Santiago.