

ANÁLISIS DE ANOMALÍAS ESPECTRALES APLICADO A LA EXPLORACIÓN MINERA EN LA ZONA CENTRAL DE CAJAMARCA

Jorge CHIRA

Ingemmet. Av. Canadá 1470 – Lima 41. E-mail: jchira@ingemmet.gob.pe

Las anomalías espectrales identificadas corresponden a óxidos de hierro y a argilitización, las cuales tienden a concentrarse fundamentalmente en la Cordillera Occidental, en la parte meridional de la zona de trabajo. El reconocimiento de campo permitió establecer que de las 27 anomalías espectrales identificadas, 17 de ellas corresponden efectivamente a alteraciones en rocas volcánicas y sedimentarias mayormente silicificadas, mientras que las 10 restantes corresponden a rocas sedimentarias cretácicas y recientes sin mayor rasgo de alteración, salvo el generado por la meteorización.

Las zonas de óxidos de hierro están ampliamente dispersas en áreas donde afloran los volcánicos terciarios, tendiendo a concentrarse en las vecindades de Hualgayoc. Ocurren otras zonas igualmente interesantes y de acuerdo al análisis espectral y químico nos permitirá establecer el potencial mineral de estas. De los datos geoquímicos, se obtuvieron altos valores en la zona anómala de Pb cerca de los depósitos conocidos y también cerca del cerro Cimarronas, cuadrángulo de Chota.

Respecto a los lineamientos, es notable la tendencia continua NO-SE, paralela a la dirección andina, en la Cordillera Occidental, sugiriendo la presencia de un empuje. Intersectando estos lineamientos los de tendencia ENE-OSO son claramente dominantes en la región. En el norte de la Cordillera Occidental cerca de la frontera con el Ecuador, los lineamientos de tendencia NNE-SSO tienden a ser dominantes. En áreas donde las rocas volcánicas terciarias están presentes en la Cordillera Occidental, fueron extraídas algunas estructuras circulares, las cuales aparecen especialmente en las vecindades del cuadrángulo de Chonta, donde se sitúan las minas de Hualgayoc y Yanacocha, entre otras.

Los pixeles mostrando anomalías espectrales en las zonas de óxido de Fe están ampliamente dispersas en áreas cubiertas por volcánicos terciarios, tendiendo a concentrarse especialmente alrededor de la mina Hualgayoc. Los pixeles mostrando anomalías espectrales en las zonas de argilitización tienen cierta tendencia a concentrarse a lo largo de los farallones formados por sub-unidades terciarias en los volcánicos terciarios hacia el extremo NE del área. De acuerdo a los estudios de campo se verificó que los volcánicos terciarios presentan silicificación regional.

“ANÁLISIS DE ANOMALÍAS ESPECTRALES APLICADO A LA EXPLORACIÓN MINERA EN LA ZONA CENTRAL DE CAJAMARCA”

Jorge Chira Fernández ¹

1 Instituto Geológico Minero Metalúrgico

El presente trabajo trata del estudio que se orienta principalmente hacia el análisis espectral utilizando los datos de imágenes de satélite Landsat TM en la zona central de Cajamarca, con vista a una evaluación potencial de recursos minerales metálicos, como parte de un trabajo conjunto entre INGEMMET y MINDECO (Japón) el año 1998.

La ciudad más importante del área de trabajo es Cajamarca, localizada en 7°09' latitud sur y 78°29' longitud oeste (Fig.1), está a casi 560 km de Lima en línea recta

GEOLOGÍA Y ESTRUCTURA GEOLÓGICA

El mapa geológico existente del área del estudio se exhibe en la Figura 2. En la vertiente pacífica de la Cordillera Occidental se tiene la presencia de rocas intrusivas cretácicas a paleógenas que se componen principalmente de tonalita, granodiorita y diorita, que se encuentran conformando el denominado "Batolito andino".

La Cordillera Occidental está principalmente compuesta de rocas cretácicas sedimentarias como son las de origen clástico así como las calizas y margas, aunque en la parte occidental se distribuyen ampliamente rocas efusivas del Cretáceo superior al Terciario (Volcánico Calipuy) y por volcánicas efusivas cuaternarias. Éstas son sumamente importantes por ser rocas huésped de los depósitos minerales metálicos.

Las rocas sedimentarias de la Cordillera Occidental presentan fuertes plegamientos cuyos ejes axiales presentan una dirección NO-SE en el sur del área del estudio, cambiando la dirección en el norte y cerca de la frontera con el Ecuador la dirección se vuelve casi Norte -Sur.

Estructuralmente, se cuenta con una falla regional de rumbo andino denominada falla Sallique, la cual habría servido de conducto para las manifestaciones ígneas del Terciario en esta región (KIHEN A., 1997).

INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE

En la imagen compuesta Landsat TM a color 5,4,1 (RGB), las nubes se expresan en color blanco, la zona desértica en blanco a púrpura claro y la vegetación en color. En cuanto a la interpretación geológica de imágenes TM, resultó difícil diferenciar el batolito andino de las rocas volcánicas terciarias, mas no así el límite entre la Cordillera Occidental y Oriental, el cual es reconocible en los profundos valles del Marañón, mientras que las zonas de empuje situadas en el lado occidental de la Cordillera Oriental son difíciles de interpretar.

Análisis de Lineamientos

En la Cordillera Occidental la tendencia de los lineamientos principales sigue el rumbo andino, sugiriendo la presencia de un empuje; intersectando dichos lineamientos, el tren de lineamientos ENE-OSO domina claramente la región. Ya hacia la frontera ecuatoriana predominan los lineamientos de tendencia NNE-SSO. En el área de las rocas volcánicas terciarias que afloran en la Cordillera Occidental se extrajeron algunas estructuras circulares que son particularmente notables en el cuadrángulo de Chota, donde se sitúa el distrito minero de Hualgayoc y la mina Yanacocha, entre otros.

ANÁLISIS ESPECTRAL

Como es sabido, las imágenes usadas para el estudio contienen numerosos pixeles, tales como nubes, dunas de arena y vegetación que disturban sustancialmente la precisión del análisis espectral con el fin de extraer las zonas de posible alteración hidrotermal.

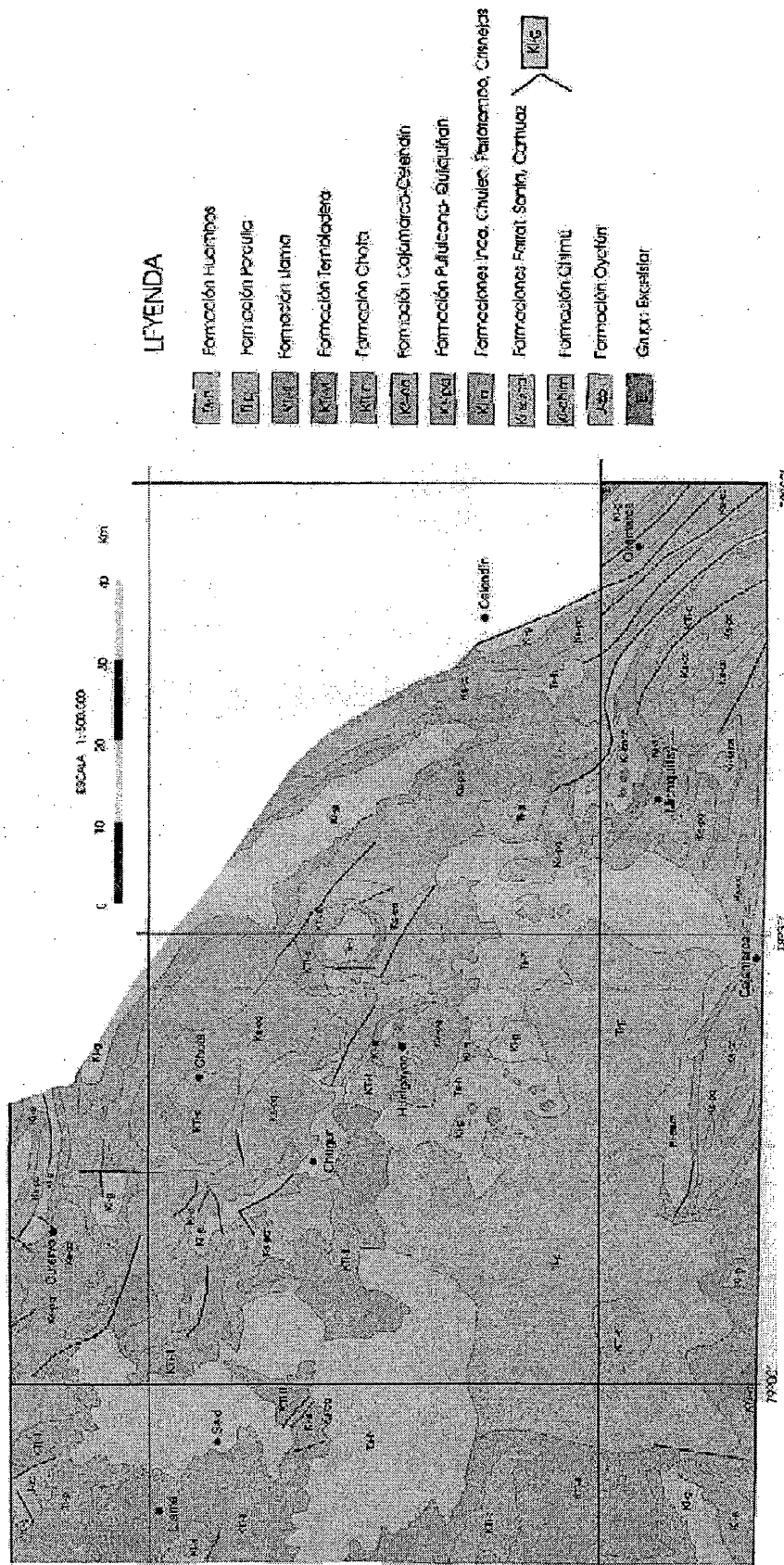


Fig. 2 PLANO GEOLOGICO DE CAJAMARCA NORTE

Teniendo en cuenta que tanto las rocas sedimentarias como las volcánicas tienen diferentes "backgrounds" espectrales, es obvio que deben usarse umbrales diferentes a fin de extraer las respectivas zonas anómalas. Para solucionar estos problemas se usaron los cocientes combinados con la clasificación supervisada (método "maximum likelihood"), siguiendo el siguiente procedimiento:

1) Clasificación supervisada: Toda el área del estudio fue clasificada en siete clases, usando seis bandas TM con excepción de la banda 6:

- Clase 1 (margen, área del mar y sombra)
- Clase 2 (Cuaternario 1, dunas de arena y playa)
- Clase 3 (Cuaternario 2, la arena - grava)
- Clase 4 (nube)
- Clase 5 (vegetación)
- Clase 6 (rocas volcánicas e intrusivas)
- Clase 7 (rocas sedimentarias y metamórficas).

Cada campo se definió principalmente por la interpretación de la imagen de color compuesta, salvo las Clases 6 y 7, ya que se utilizó el mapa geológico existente.

2) Preparación de máscaras:

El análisis espectral sólo fue hecho para los pixeles clasificados en las Clases 6 o 7 para lo cual se prepararon las respectivas máscaras.

3) Rationing (Cocientes):

Con respecto a la clase 6 (las rocas volcánicas y las intrusivas) y clase 7 (sedimentarias y metamórficas), los cálculos fueron hechos para la extracción de zonas de óxido de Fe en la fórmula

$(\text{Banda 2} - \text{Banda 1}) \div (\text{Banda 2} + \text{Banda 1});$

y para extracción de zonas de argilitización en la fórmula

$(\text{Banda 5} - \text{Banda 7}) \div (\text{Banda 5} + \text{Banda 7}).$

4) Normalización del histograma:

Los resultados de los cocientes se normalizaron para nivelar los valores de fondo de los ratios de las Clases 6 y 7.

5) Suma de cocientes:

Los valores de los ratios de las Clases 6 y 7 se juntaron para obtener una sola imagen.

6) Extracción de zonas anómalas:

La Figura 3 b muestra las anomalías espectrales resultantes por dicho procedimiento, sobre la Banda 5. En la imagen, los pixeles extraídos como zonas del óxido férrico se expresa en color rojo, mientras que aquellos extraídos como zonas de argilitización están en color verde.

Las zonas del óxido de Fe y de argilitización tienden a concentrarse en la Cordillera Occidental en el sur del área del estudio mientras que las zonas del óxido de Fe se extrajeron en las porciones relativamente elevadas de la Cordillera Occidental, tanto en la parte central y norte del área de estudio.

ESTUDIO DE CAMPO

Durante el estudio del campo, se registraron la geología y alteraciones en los puntos respectivos donde se habían detectado las anomalías espectrales.

La verificación se llevó a cabo en 30 puntos, colectándose muestras para estudios de reflectancia (24 muestras), análisis químico (20), observación de secciones delgadas (5) y análisis de la difracción de Rayos X (5).

La Figura 3-a es una imagen compuesta a color del área de Chota y la Figura 3-b es un mapa de las anomalías espectrales de la misma área. La mina Yanacocha se sitúa en el extremo

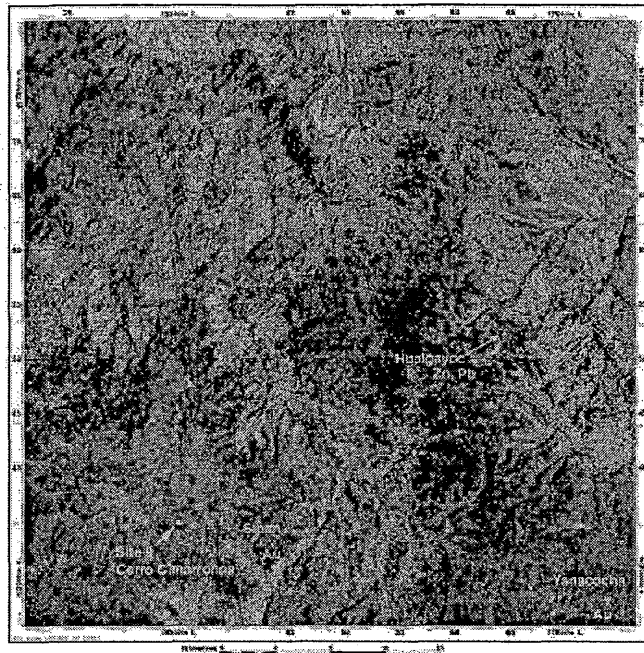


Fig.3a IMAGEN LANDSAT TM-CUADRANGULO DE CHOTA (14-f)

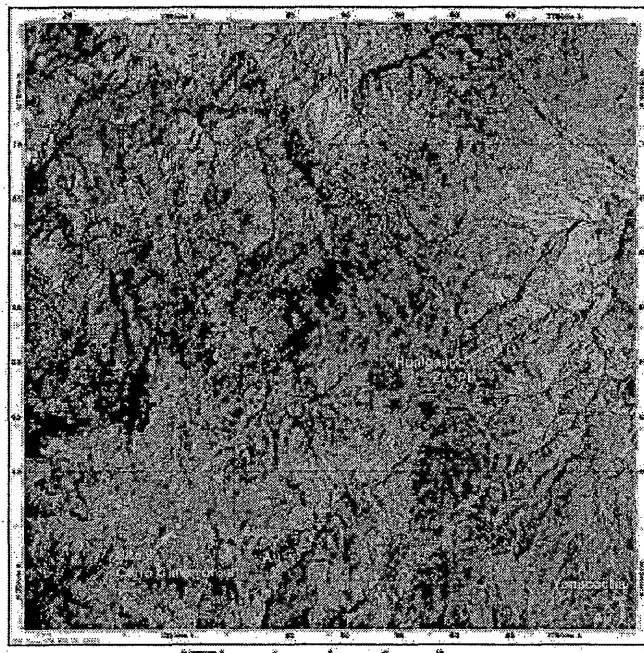
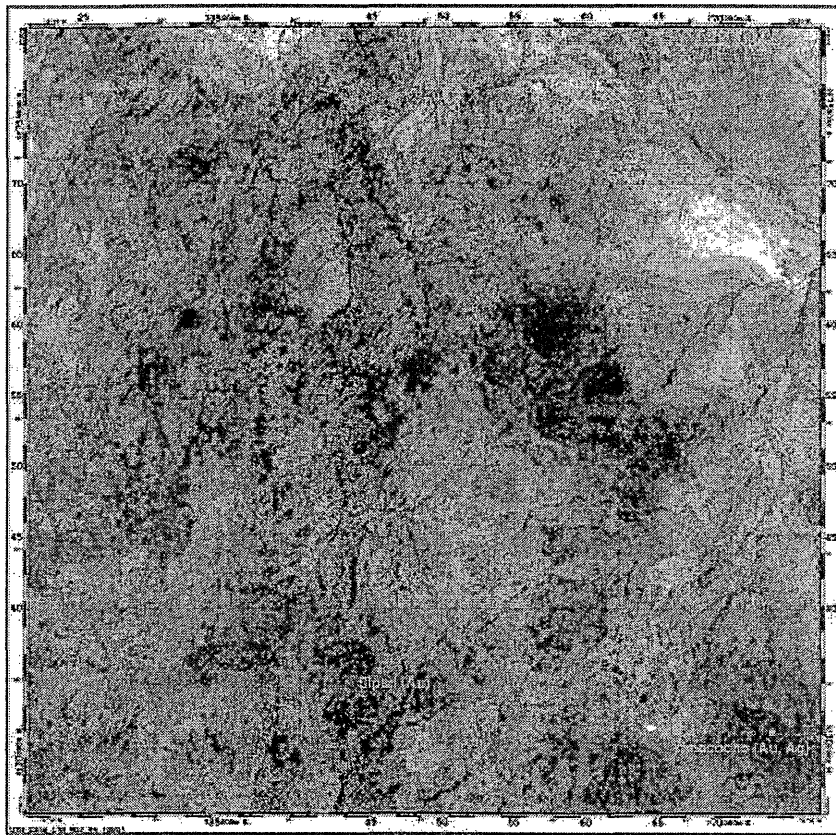


Fig.3b ANOMALIAS ESPECTRALES - CUADRANGULO DE CHOTA(14-f)



CHOTA 14-E
 LAJUNY TM Colour Composite, Image 022-041



Fig.4 POTENCIAL MINERAL - CUADRANGULO DE CHOTA (14-I)

suroriental mientras que la mina de Hualgayoc está en el centro, en un área que tiene los mayores potenciales para el área de estudio.

Geológicamente, en la mayor parte del área se distribuyen rocas volcánicas terciarias, en las que ocurren los principales depósitos minerales, mientras que las rocas Cretácicas siguen hacia el noreste.

Respecto a las anomalías espectrales en las zonas del óxido férrico, éstas se distribuyen ampliamente en los afloramientos de los volcánicos terciarios; estos tienden a concentrarse sobre todo alrededor de la mina de Hualgayoc. Los pixeles en anomalías espectrales de las zonas de argilitización tienen cierta tendencia a concentrarse a lo largo de los precipicios formados por las subunidades en las rocas volcánicas Terciarias al borde nororiental del área.

Por el estudio de campo se verificó que las rocas volcánicas terciarias han sufrido silicificación regional.

Las anomalías interpretadas por el análisis espectral como óxido férrico al parecer han reflejado la naturaleza silicificada de las rocas; puede interpretarse que sólo los afloramientos de las rocas silicificadas fueron extraídas como anomalías espectrales, pero que en la imagen, los pixeles de las anomalías aparecen dispersos sobre una áreas amplias.

A los puntos extraídos por el análisis espectral como argilitización, una intensidad débil fue verificada pero sólo en algunos puntos mientras que en la mayoría de los casos, la superficie meteorizada se extrajo equivocadamente como zonas de argilitización.

Las muestras de roca tomadas en los alrededores del cerro Cimarronas (al norte de San Miguel, cuadrángulo de Chota), corresponden a tufos de brecha, porosos con rasgos alterados de la textura original por la marcada silicificación y lixiviación. La determinación de espectros de reflectancia (elaborada en Japón), detectó la cresta de absorción a las 1.92µm en la superficie alterada, en las que la zeolita o los volúmenes de caolín son presumibles. El análisis de difracción de Rayos X descubrió plumbogummita $PbAl_3H[(OH)_6(SO_4)_2]$ que está normalmente incluida en las zonas de la oxidación de depósitos metálicos. El análisis químico de las muestras indicó 114 ppm de Cr y 1 490 ppb de Hg que son valores muy altos comparados con las rocas de éstos ambientes, siendo el As y Hg los elementos indicativos de mineralización de oro, es probable que la misma esté presente en la vecindad del punto comprobado.

POTENCIAL DE LOS RECURSOS MINERALES

Respecto a las unidades geológicas, dándole un mayor peso al volcánico Calipuy de tal manera que los mayores potenciales puedan aparecer en áreas donde dicha unidad geológica estuviera presente. Acerca del contacto geológico, los mayores potenciales se obtuvieron alrededor de los intrusivos dacíticos mientras que respecto a la estructura geológica, los mayores potenciales aparecen donde se concentran los anticlinales. Acerca de los depósitos de la mena o prospectos, los mayores potenciales aparecen alrededor de los grandes depósitos conocidos. Respecto a los datos geoquímicos, se obtuvo la anomalía de Pb cerca de los depósitos conocidos así como también cerca del cerro Cimarronas.

La densidad del lineamientos tiende a aumentar un poco en el oeste de el área de Chota mientras que en las zonas de alta densidad, se reconocen sistemas en dos direcciones (NE-SW y NW-SE, las mismas que se cortan en las vecindades de la mina Hualgayoc.

REFERENCIAS

- CHIRA J.(1999).- Control de campo de anomalías espectrales entre las latitudes 6° – 7° sur, Departamento de Cajamarca. Informe Interno INGEMMET
- KIHLEN A. (1997).- La Franja de oro-cobre del norte del Perú. IX Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú. Vol. Esp., Lima, p.51-56.
- MINDECO (1999).- Regional Study of Applied Satellite Data for Evaluation of Resource Potential in the Northern Area of the Republic of Peru. Informe Interno INGEMMET.