

ESTRUCTURAS CIRCULARES Y LINEALES EN EL DISTRITO MINERO DE GUANAJUATO, MÉXICO, Y SU SIGNIFICADO EN LA PROSPECCIÓN MINERA

Luis F. Vassallo¹,
Juventino Martínez-Reyes¹, y
Jean Pierre Paris²

RESUMEN

Utilizando imágenes SPOT multiespectrales y pancromáticas de la parte sudoriental de la sierra de Guanajuato, se pudo relacionar los lineamientos estructurales con la existencia de depósitos minerales. Las imágenes fueron estudiadas por medio del *software* SPIPERII (INEGI-IBM), en escalas variables, encontrando dos tipos fundamentales de lineamiento: circular (de diámetro que varía entre 1 y 8 km) y lineal (de 1 a 22 km de longitud). Los lineamientos corresponden a estructuras volcánicas de domos riodacíticos, a estructuras intrusivas relacionadas con cuerpos tonalíticos y a fallamientos normales de distinta edad; todos son de gran importancia en el control de la distribución de las mineralizaciones endógenas.

Palabras clave: Percepción remota, imágenes SPOT, lineamientos circulares y lineales, distrito minero de Guanajuato, México, prospección minera.

ABSTRACT

The multispectral and panchromatic SPOT images of the southeastern Sierra de Guanajuato were used to relate the structural lineaments with the existence of ore deposits. The images were studied with the SPIPERII (INEGI-IBM) software in several scales. Two types of lineaments were found: circular (with diameters from 1 to 8 km) and linear (ranging in length from 1 to 22 km). These features correspond to volcanic structures of rhyodacitic dome type, intrusive tonalitic structures and normal faults of several ages. All of them are very important in the control of endogenic mineralization distribution.

Key words: Remote sensing, SPOT images, circular and linear lineaments, Guanajuato mining district, Mexico, mineral prospection.

INTRODUCCIÓN

La existencia de estructuras circulares y lineales, y su influencia en la distribución de los yacimientos minerales, han sido documentadas ampliamente en la bibliografía mundial (*cf.* Petrov, 1968; Tomson y Favorskaya, 1968; Petrov *et al.*, 1971; Itsikson y Berguer, 1972; Saul, 1978; Eggers, 1979; Sharpionok, 1979; Shcheglov, 1980; Witschard, 1984; Vassallo, 1986, 1987, 1990; Vassallo *et al.*, 1982, 1988, 1989, 1995).

La presencia de depósitos minerales en la sierra de Guanajuato (Figura 1) ha sido conocida desde tiempos precoloniales. Tradicionalmente, se ha reconocido tres sistemas de orientación de las vetas, pero en realidad se trata de uno solo, genéticamente relacionado tanto temporal como espacialmente (Figura 2) (Vassallo *et al.*, 1989). La mineralización está ligada estrechamente con el volcanismo continental terciario de la serie andesita-dacita-riolita, ya sea en sus facies volcánicas o hipabisales. Los valores de Ag-Au se acompañan de cuarzo y

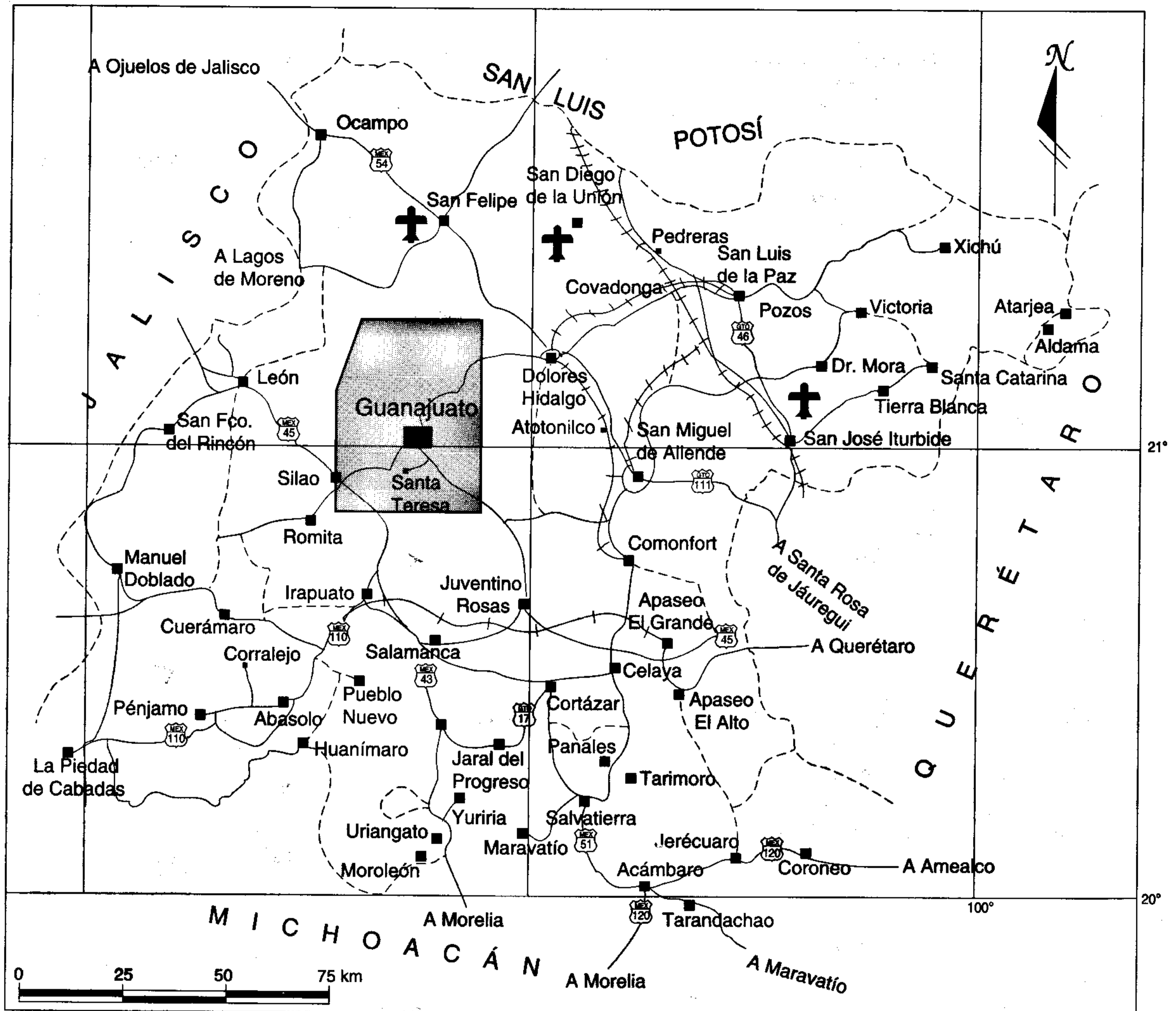
calcita, rellenando fallas de tipo normal y sus fracturamientos asociados (Vassallo y Borodaev, 1982; Vassallo, 1988, 1993).

METODOLOGÍA

Utilizando imágenes digitizadas SPOT multiespectrales y pancromáticas de la parte sudoriental de la sierra de Guanajuato, e interpretadas con el *software* SPIPERII (INEGI-IBM) (Lámina 1, par estereoscópico; y Lámina 2, imagen multiespectral), se pudo relacionar espacial y cronológicamente los lineamientos estructurales con la existencia de depósitos minerales. También se estudió imágenes impresas SPOT (blanco y negro, en par estereoscópico y en falso color), de varias escalas: 1:40,000 y 1:200,000, encontrando dos tipos fundamentales de lineamientos: circulares (con diámetros que varían entre 1 y 8 km) y lineales (de 1 a 22 km de longitud). Los lineamientos corresponden a estructuras volcánicas de domos riodacíticos, a estructuras de enfriamiento relacionadas con cuerpos tonalíticos, y a fallamientos normales de distintas edades; ambos tipos son de gran importancia para el control de la distribución de las mineralizaciones endógenas. La etapa de verificación de campo fue apoyada por la cartografía existente de

¹Estación Regional del Centro, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 376, Guanajuato, Gto. 36000, México.

²GDTA 18, Av. Ed. Belin, 31055 Toulouse, Francia.



Dibujo en computadora por José de Jesús Vega Carrillo y Gabriela Pantoja.

Figura 1. Mapa de localización de las imágenes SPOT.

Martínez-Reyes (1992), así como por estudios metalogénéticos previos de Vassallo (1988), Vassallo y Martínez-Reyes (1988) y Vassallo y colaboradores (1988).

ANÁLISIS

El área de estudio abarca 1,800 km². Se puede dividir en seis zonas desde los puntos de vista estructural y mineragenético (Figura 3).

ZONA DE LA SIERRA EL OCOTE

Esta zona muestra grandes estructuras circulares, del orden de hasta 8 km de diámetro, cortadas por lineamientos de hasta 6 km de longitud paralelos, en su gran mayoría, a la falla principal del borde oriental del *graben* de Villa de Reyes (Tristán-González, 1986). Esta gran estructura circular consiste en innumerables domos riolíticos, los cuales se emplazan en la parte central del *graben* de Villa de Reyes, y contienen cantidades anómalas de topacios, no evaluados económicamente

hasta la fecha. El borde oriental de este *graben* muestra alteración hidrotermal fuerte, lo cual podría ser de interés económico si se evalúa con estudios geoquímicos.

GRABEN EL GIGANTE-ZAMARRIPA

Esta estructura muestra una gran variedad de rocas volcánicas del Oligoceno-Holoceno, cuya composición en la base es andesita-dacita-riolita, y en la parte superior, toba y basalto. Este *graben* tiene dimensiones de 28 x 12 km, con orientación N40°E. Esta estructura regional muestra notoriamente la carencia de lineamientos circulares completos, si bien los rectilíneos son abundantes; es posible que la erosión no llegue a niveles donde se reflejen las estructuras circulares. Desde el punto de vista económico, es una zona (Figura 3) donde no hay minas en explotación, pero sí existe una gran cantidad de catas, de las cuales se ha extraído estaño, indicativo de las partes altas de mineralizaciones hidrotermales típicas del distrito Guanajuato, por lo cual es una zona con perspectivas para el futuro.

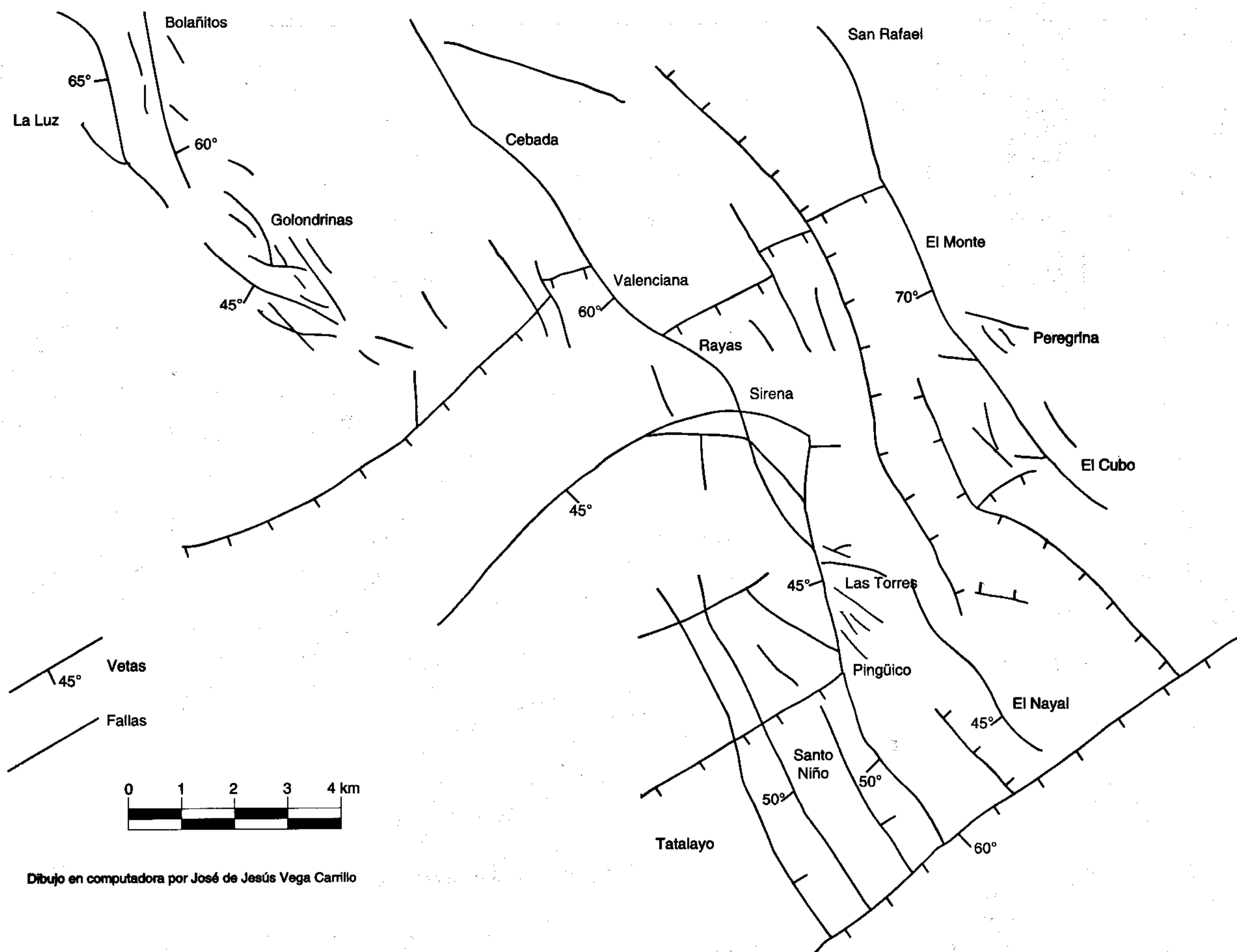


Figura 2. Sistema de vetas principales del distrito minero de Guanajuato, Gto. (Vasallo *et al.*, 1989).

EL HORST CUBILETE-CALVILLO

Es una estructura de 40 x 10 km. Este bloque levantado muestra rocas del basamento en la parte sudoccidental, y una cobertura de andesitas-dacitas y riolitas en la nororiental. Está limitado por la falla Bajío en el suroeste y por la Zamarripa en el nororiente; al norte limita con la falla Chocolate y al sur con La Aldana.

Este *horst* presenta una gran cantidad de estructuras lineales y circulares; las primeras están reflejadas en las rocas del basamento metamórfico cercano a El Cubilete, y las segundas donde predominan rocas, ya sea tonalíticas, como en el cerro Pelón, o volcánicas de composición riolítica, como son las que están en la parte nororiental del *horst*, en las cercanías del poblado de Calvillo, donde hay un gran domo riolítico que muestra varias estructuras circulares. Las estructuras rectilíneas varían en longitud desde 2 hasta 10 km, y las circulares desde 1.2 hasta 6 km de diámetro.

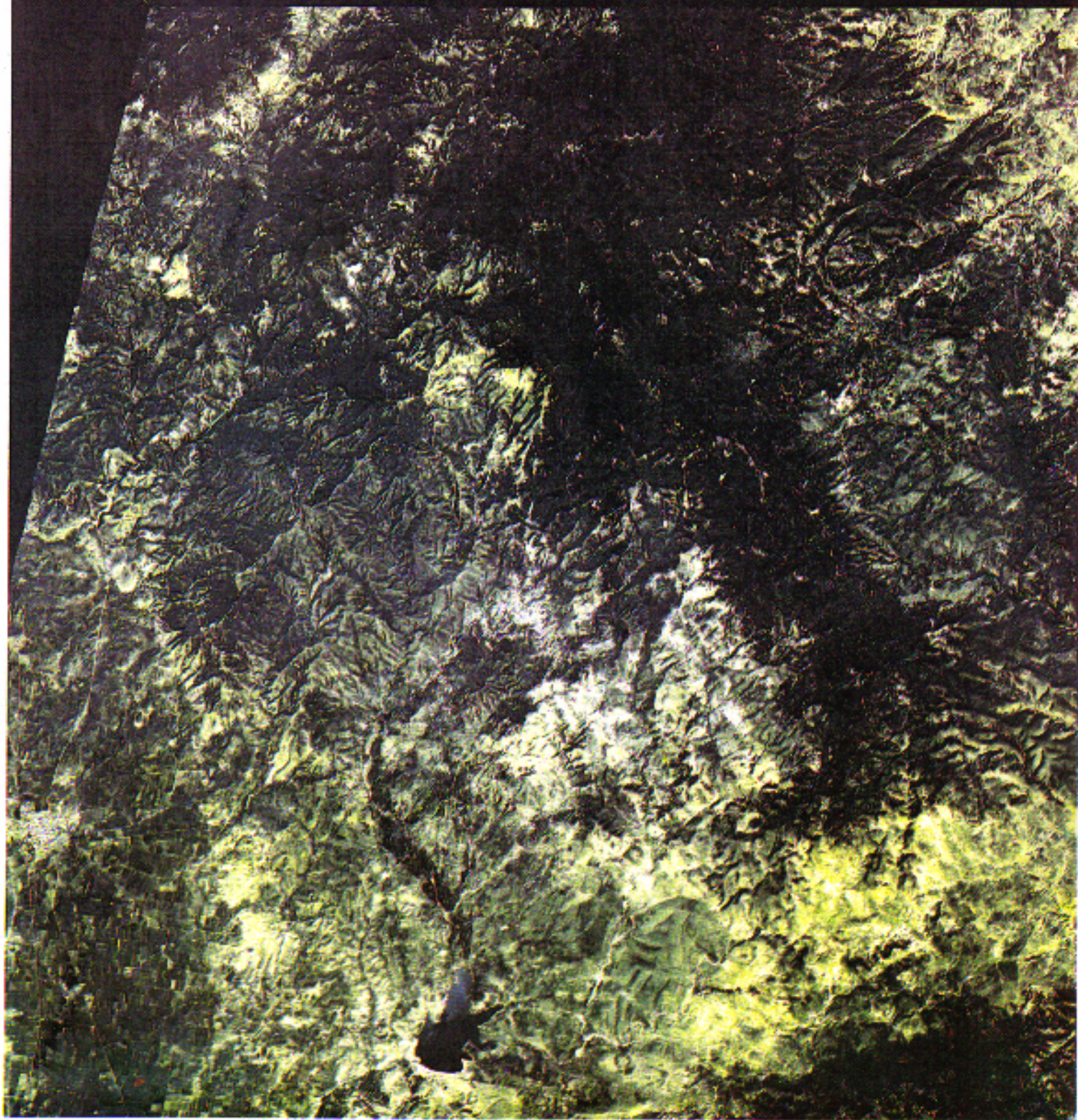
Este bloque (Figura 3) contiene muchos yacimientos en su parte sudoccidental, como son las famosas vetas de La Luz y la zona Las Golondrinas; en su parte media, el *horst* presenta la parte septentrional de la Veta Madre, donde son famosas las minas La Cebada y La Valenciana, así como el prospecto Copenhagen, cerca del cerro Pelón. En la parte central, se tiene

las antiguas explotaciones San Rafael y La Fragua, las cuales están controladas por los lineamientos de orientación N45°W y por estructuras circulares de 2.5 km de diámetro, ubicadas al norte del poblado Santa Rosa. En la parte nororiental de la estructura, no se conoce yacimientos de importancia, si bien la zona La Virgen-Picones muestra muchas perspectivas, dado que se conjuga: (1) la existencia de rocas de la serie andesita-dacita-riolita, con (2) cruzamientos de estructuras circulares (domos riolíticos) y lineales, que son controladores de las soluciones mineralizantes.

GRABEN GUANAJUATO-QUINTEROS

Ésta es una estructura de más de 46 km de longitud por 24 km de anchura, con orientación N45°E, la cual se caracteriza por limitar al norte con la falla La Aldana-Calvillo, la cual es muy grande, alcanzando aproximadamente 38 km de longitud, empezando en la falla Bajío y terminando en la Zamarripa, al nororiente. Al sur, el *graben* está limitado por la falla El Chorro-San Cristóbal, de 20 km, cuyos límites no salen en las imágenes. Dentro de este *graben*, están presentes fallas de menor magnitud, como la Campuzano, de 13 km, la cual fue considerada como el borde septentrional del llamado *graben* La Saucedá, según Martínez-Reyes (1987).

Image du Mexique (ESTAR) en couleurs naturelles



MINERO DE GUANAJUATO (PAR ESTEREOSCOPICO)

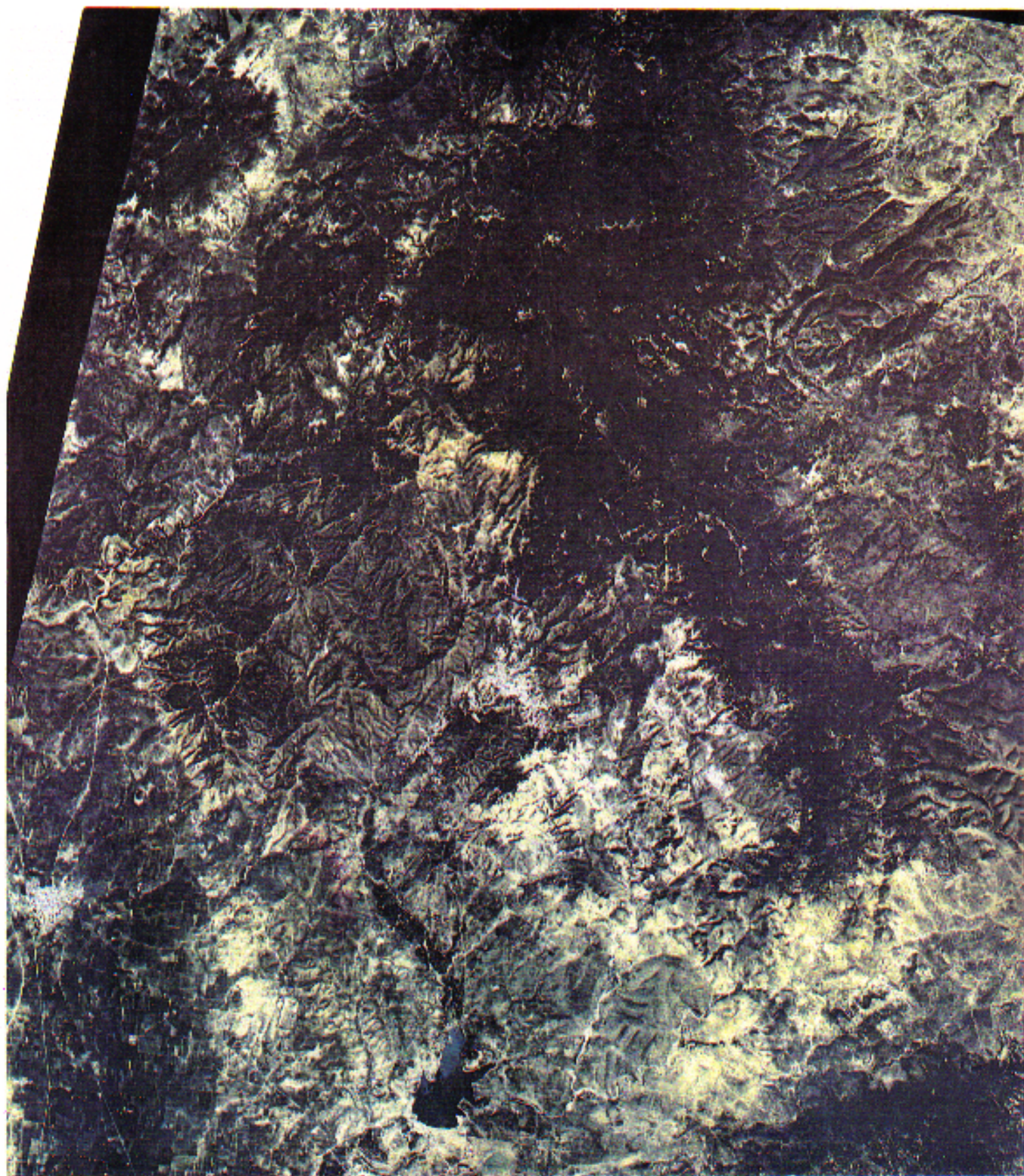


IMAGEN SPOT PANCRÓMATICA DEL DISTRITO

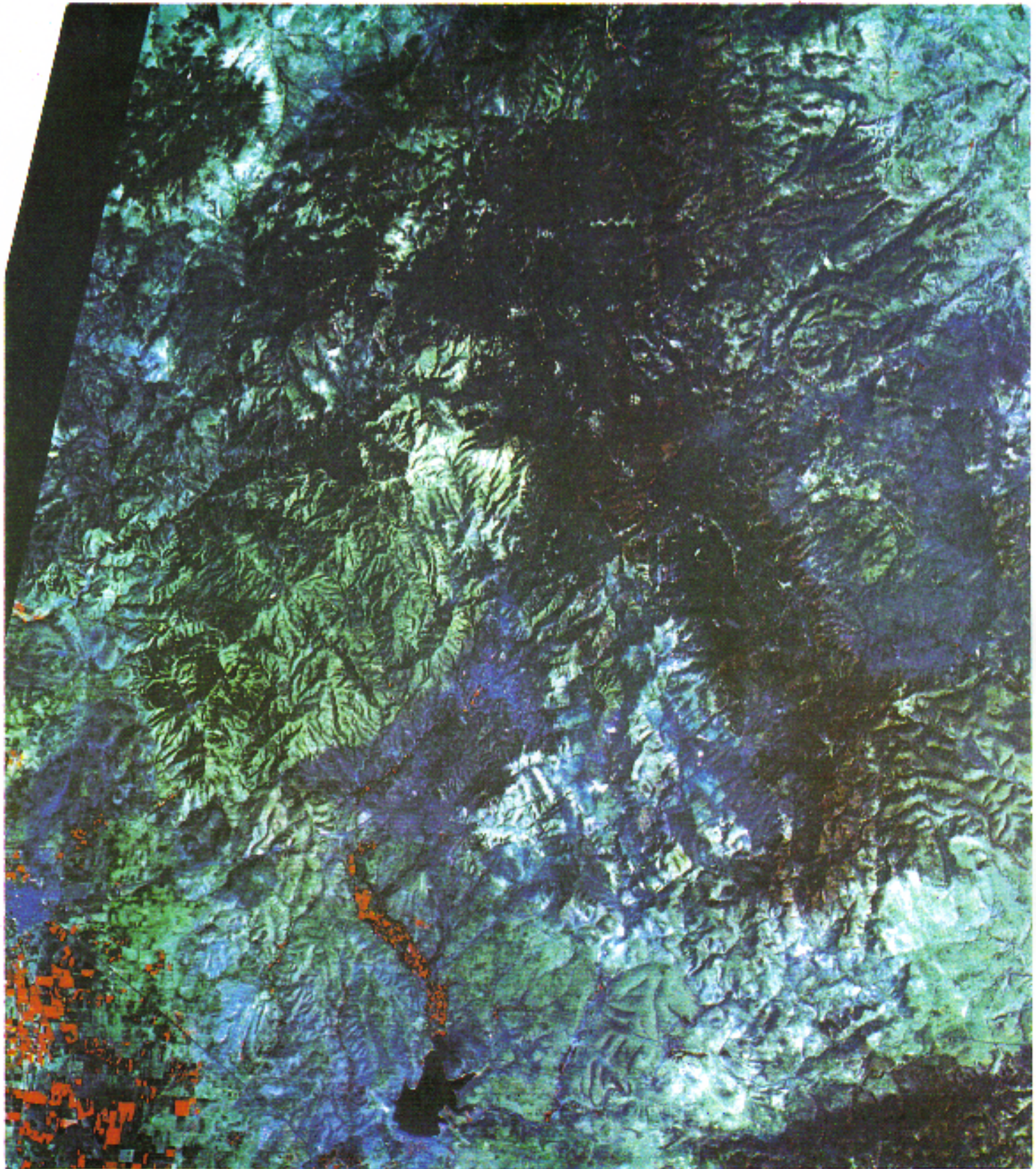
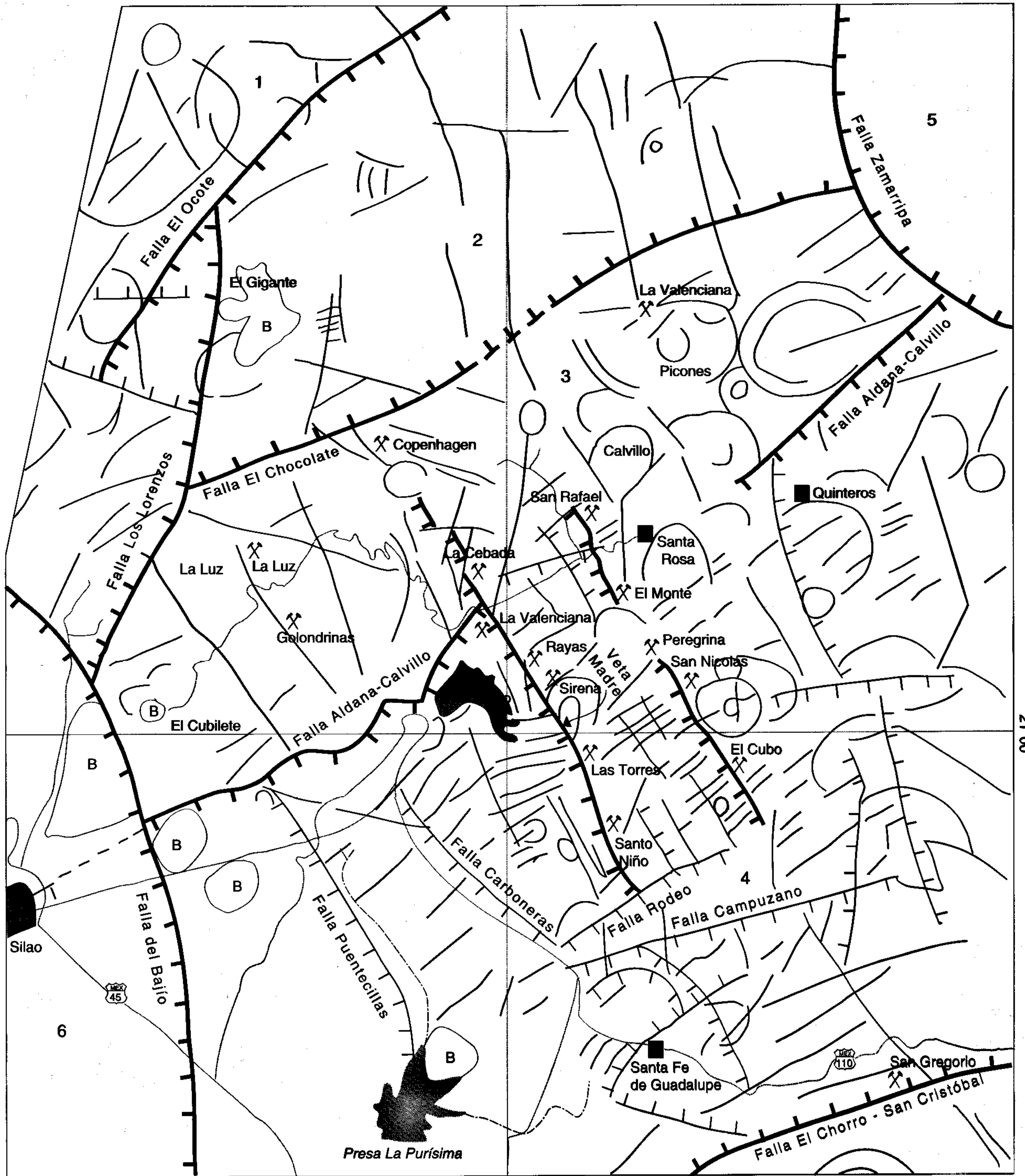


IMAGEN SPOT MULTIESPECTRAL



Dibujo en computadora por José de Jesús Vega Carrillo

101°15'

L.F. Vasallo, 1993

EXPLICACIÓN

- 1. Zona de la sierra de El Ocote
- 2. Graben El Gigante-Zamarripa
- 3. Horst Cubilete-Calvillo
- 4. Graben Guanajuato-Quinteros
- 5. Depresión La Laja
- 6. Depresión El Bajío
- B Basaltos

SÍMBOLOS

- Estructura lineal
- Falla normal
- Mina
- Carretera
- Población
- Santa Fe de Guadalupe



Figura 3. Mapa de estructuras lineales y circulares del distrito minero de Guanajuato, mostrando los bloques estructurales principales.

En este *graben* (Figura 3) se concentra la mayor densidad de lineamientos rectilíneos de orientación N45°E-S45°W; se conjugan también muchas estructuras circulares de gran tamaño (1-2.4 km de diámetro), las cuales reflejan los domos riolítico-riodacíticos, como Chichíndaro y Peregrina. En la intersección de los lineamientos N45°E-S45°W con las fallas N45°W, como en la Veta Madre, están las mayores bonanzas de Ag-Au conocidas, como Rayas, Sirena, Las Torres y Santo Niño; y las minas El Cubo y La Peregrina, en la llamada zona de La Sierra. Al nororiente del *graben*, hay otras estructuras circulares que no han sido cuantificadas económicamente.

Es importante hacer notar que la mayor densidad de los lineamientos de orientación NE-SW se da en las rocas volcánicas de la serie andesita-dacita-riolita, que cubren la mayor parte de este *graben*.

Este *graben* está cortado por muchas fallas perpendiculares, las cuales forman un *horst* y un *graben* pequeños.

DEPRESIÓN LA LAJA

Está formada por la falla Zamarripa, ubicándose en la parte nororiental de la zona de estudio; está rellena de sedimentos clásticos continentales.

DEPRESIÓN EL BAJÍO

Está formada por la falla Bajío, en la parte sudoccidental de la imagen. Esta depresión está rellena de sedimentos clásticos continentales. En algunos casos, se puede evaluar el movimiento relativo de los bloques que componen la falla, siendo de alrededor de 600 m, en la región de El Cubilete.

Las fallas Zamarripa y Bajío pueden considerarse activas, dado que sus escarpes así lo demuestran.

CONCLUSIONES

Las estructuras lineales que contienen la mineralización son predominantemente de orientación N45°W-S45°E, como las vetas de La Luz, Veta Madre y las de La Sierra, lo cual se observa claramente en las imágenes SPOT impresas. Las grandes bonanzas de Ag y Au, conocidas desde los tiempos coloniales, coinciden con el cruzamiento de las estructuras anteriores con las zonas de mayor densidad de lineamientos de orientación NE-SW, Cinturón Silao-Dolores Hidalgo (CSDH). Además, coinciden con la sobreposición de las estructuras circulares (claramente visibles en las imágenes impresas) provocadas por los intrusivos dómicos riolítico-riodacíticos. Tal es el caso de las conocidas bonanzas de las minas La Valenciana, Rayas, Sirena y Las Torres, sobre la Veta Madre, así como las bonanzas de las minas La Peregrina y El Cubo (veta San Nicolás), asociadas con intrusivos dómicos de composición riolítica, con contenidos altos de Au (de hasta 100 g/t).

Las imágenes del satélite SPOT han probado ser de invaluable ayuda para descifrar las estructuras de distritos mineros y para la regionalización mineragenética.

AGRADECIMIENTOS

Las compañías mineras El Cubo, el Grupo Guanajuato de Peñoles y la Cooperativa Minero-Metalúrgica Santa Fe de Guanajuato gentilmente permitieron el acceso a sus instalaciones.

Se reconoce la ayuda prestada por la M. en C. Mireya Maples-Vermeersch y el apoyo en los trabajos de campo y laboratorio de laminación del Sr. Crescencio Garduño-Paz.

Este estudio fue apoyado, tanto financiera como logísticamente, por el Instituto de Geología de la UNAM y el Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale (GDTA) de Francia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Eggers, A.J., 1979, Large-scale circular features in north Westland and West Nelson, New Zealand; possible structural control for porphyry molybdenum-copper mineralization?: *Economic Geology*, v. 74, p. 1490-1494.
- Itsikson, M.I., y Bergiter, V.I., 1972, Metallogenicheskiy analiz Vostochno-Aziatskogo i Alyaska-Kanadskovo zvenyev severa Tikhookeanskogo: *Sovetskaya Geologiya*, v. 5, p. 38-48.
- Martínez-Reyes, Juventino, 1987, Resumen de la geología y excursión a la sierra de Guanajuato: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Simposio sobre la geología de la región de la sierra de Guanajuato, Guanajuato, Gto., Programa, resúmenes y guía de la excursión, p. 50-70.
- Mapa geológico de la sierra de Guanajuato, con Resumen de la geología de la Sierra de Guanajuato: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Cartas geológicas y mineras, 8, escala 1:100,000 (en color).
- Petrov, A.I., 1968, O mexanizme obrazovaniya struktur tsentralnovo tipa: *Sovetskaya Geologiya*, v. 9, p. 139-145.
- Petrov, A.I.; Plotnikov, L.M.; y Yurevich, G.G., 1971, Mekhanizm obrazovaniya struktur tsentral nogo tipa: *Sovetskaya Geologiya*, v. 2, p. 75-84.
- Saul, J.M., 1978, Circular structures of large scale and great age on the Earth's surface: *Nature*, v. 271, p. 345-349.
- Sharpionok, L.N., 1979, Magmatogenie koltsevie strukturi: Leningrado, Nedra, 231 p.
- Shcheglov, A.D., 1980, Osnovi metallogenicheskovo analiza: Moscú, Izdatel'stva, Nedra, URSS, 431 p.
- Tomson, I.N., y Favorskaya, M.A., 1968, Rudokontsentriruyushchiye struktury i printsiy lokalnogo prognozirovaniya endogennogo orudneniya: *Sovetskaya Geologiya*, v. 10, p. 6-19.
- Tristán-González, Margarito, 1986, Estratigrafía y tectónica del *graben* de Villa de Reyes, en los estados de San Luis Potosí y Guanajuato, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología, Folleto técnico 107, 91 p.
- Vassallo, L.F., 1986, Lineamientos estructurales y manifestaciones minerales en la Península de Baja California, México: Sociedad Geológica Mexicana, Convención Geológica Nacional, 8, México, D.F., Resúmenes, p. 44-46 (resumen).
- 1987, Ensayo metalogenético de la península de Baja California: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología,

- Simposio sobre Geología Regional de México, 2, México, D.F., Programa y Resúmenes, p. 44-46 (resumen).
- 1988, Características de la composición mineralógica de las menas de la Veta Madre de Guanajuato, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 7, núm. 2, p. 232-243.
- 1990, Teledetección—Estructuras circulares y lineales en la Península de Baja California y su significado en la prospección minera: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Reunión Nacional de Geomorfología, 2, México, D.F., Resúmenes, p. 17 (resumen).
- 1993, Yacimientos minerales metálicos: Guanajuato, Gto., México, Universidad de Guanajuato, Facultad de Minas, Metalurgia y Geología, 97 p., 2ª ed.
- Vassallo, L.F.; Storostin, V.I.; y Borodaev, Yu. S., 1982, Strukturno-petrofizicheskii kontrol orudneniia na serebriano-zolotom mestorozhdenii Guanajuato v Meksike: Geologuia rudnix mestorozhdenii (Moscú), t. 24, núm. 2, p. 20-28.
- Vassallo, L.F., y Borodaev, Yu. S., 1982, Novie dannie o mineralax riada akantit-aguilarit-naumannit: Dokladi Akademii Nauk SSSR, t. 264, p. 685-688.
- Vassallo, L.F., y Martínez-Reyes, Juventino, 1988 (1989), Metamorfismo de contacto en la porción sudoriental del batolito granítico de la sierra de Guanajuato: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Simposio de Geología Regional de México, 3, México, D.F., Memoria, p. 78-80 (resumen).
- Vassallo, L.F.; Martínez-Reyes, Juventino; Cervantes-Sánchez, Alfredo; y Zárate del Valle, Pedro, 1988, Evolución metalogenética de la sierra de Guanajuato, porción central: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Estación Regional del Centro, Proyecto PCECCNA-031600, Informe final, 147 p. (inédito).
- Vassallo, L.F.; Olmos-Colunga, Javier; Villaseñor-Cabral, M.G.; Girón-García, Patricia, y Lozano-Cobo, Anastasio, 1989, Alteración hidrotermal de las rocas encajonantes de la parte central de la Veta Madre de Guanajuato, Estado de Guanajuato—características petrofísicas y químicas: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 8, p. 211-222.
- Vassallo, L.F.; Martínez-Reyes, Juventino; y Paris, J.P., 1995, Estructuras circulares y lineales en el distrito minero de Guanajuato, Gto., México y su significado en la prospección minera: Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER), Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, 7, Puerto Vallarta, México, Programa y Resúmenes, v. 1, Minería, p. 4.
- Witschard, Fred, 1984, Large-magnitude ring structures on the Baltic shield—Metallogenic significance: Economic Geology, v. 79, p. 1400-1405.
- Manuscrito presentado: 17 de octubre de 1995.
Manuscrito corregido devuelto por el autor: 13 de mayo de 1996.
Manuscrito aceptado: 24 de mayo de 1996.