CONSEJO
DE RECURSOS
MINERALES

SECRETARÍA DE ECONOMÍA | SE

CARTA MAGNÉTICA "ZACATECAS" F13-6

ESCALA 1 : 250 000

Ings. Julio Vélez Lopez
Alejandro Cuevas Covarrubias
Ramón Mérida Montiel
Israel Hernández Pérez

SECRETARÍA DE ECONOMÍA
COORDINACIÓN GENERAL DE MINERÍA

- *Editado por el Consejo de Recursos Minerales. Primera Edición 1997.* *© Derechos Reservados*
- *Segunda Impresión 2001*

Í N D I C E

RESUMEN

Página

INTRODUCCIÓN 1

I.- INFORMACIÓN AEROMAGNÉTICA 1

I.1.- Fuentes de información 1

I.2.- Parámetros y equipo utilizado en el levantamiento 1

I.3.- Procesamiento de datos 2
I.3.1.- Integración de la información magnética 2
I.3.2.- Obtención de datos corregidos por el campo geomagnético 2
I.3.3.- Generación del mapa 2
I.3.4.- Graficación 2

I.4.- Características de la carta magnética 2

II.- SÍNTESIS GEOLÓGICA 3

III.- DISCUSIÓN DE LA INTERPRETACIÓN REGIONAL 10

III.1.- Dominios magnéticos 11
III.1.1.- Dominio magnético A_1 11
III.1.2.- Dominio magnético B_1 12
III.1.3.- Dominio magnético B_2 12
III.1.4.- Dominio magnético C 13

III.2.- Lineamientos magnéticos 13

III.3.- Zonas de interés geológico minero 14

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 15

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1.- Mapa de localización ..... entre 2 y 3

Figura 2.- Interpretación magnética litoestructural ..... entre 11 y 12

Figura 3.- Reducción al polo y Continuación
Ascendente del campo magnético a 2000 msnt..... entre 13 y 14

RESUMEN

El Consejo de Recursos Minerales realiza actualmente el Programa de Iinfraestructura Geológico-Minera dentro del cual se lleva a cabo el cubrimiento aeromagnético en las áreas con mayor potencial minero en el Territorio Nacional, con la finalidad de investigar en forma indirecta las condiciones geológicas y estructurales del subsuelo para seleccionar blancos de exploración a mayor detalle que conduzcan al descubrimiento de nuevos depósitos minerales. Para obtener mejores resultados la información geofísica se correlaciona con las cartas geoquímicas por elemento y geológico-minera que a la misma escala elabora el organismo.

La carta magnética Zacatecas F13-6 a escala 1:250 000 con formato cartográfico del INEGI se ubica en la porción centro-sur del estado de Zacatecas, extremo norte de Jalisco, mitad norte de Aguascalientes y extremo poniente de San Luis Potosí; abarca una superficie de 22,796 Km^2.

El levantamiento aeromagnético se realizó con avión a una altura constante de 450 m sobre la superficie del terreno, con líneas de exploración de rumbo N-S y separación de 1000 m. Los datos geofísicos se presentan como curvas de contorno del campo magnético total, indicando su intensidad con contrastes de color, la interpretación litológica y estructural se indica en la carta y los resultados se explican en el cuerpo del informe.

Los aspectos relevantes de esta carta son: La identificación de la respuesta anómala de cuerpos ígneos intrusivos, la mayoría estrechamente asociados a depósitos minerales metálicos; la extensión en el subsuelo de rocas sedimentarias y volcánicas; los patrones de fallamiento regional, el límite de la Provincia de la Sierra Madre Occidental y el Terreno Guerrero.

Con base en la interpretación geofísica, en esta carta se obtuvieron las siguientes zonas de interés exploratorio.

La franja mineralizada de mayor importancia se presenta en la porción nororiental de la carta. Se relaciona con los dominios magnéticos A_1, B_1 y C y los lineamientos magnéticos de rumbo NW-SE, las dimensiones de la franja son de 100 Km de longitud y 40 Km de ancho. El fallamiento regional NW-SE controla el emplazamiento de los cuerpos intrusivos que afloran y/o sepultados, detectados con el levantamiento aerogeofísico.

En la región minera de Pánfilo Natera, se detectó un amplio monopolo magnético de rumbo N-S con dimensiones de 13 Km de longitud y 10 Km de ancho, está cubierto por aluvión y se correlaciona hacia el poniente con rocas graníticas no magnéticas. Se recomienda la exploración geofísica y geoquímica de la proyección superficial del contacto marginal interpretado.

En la región minera de Tepezalá-Real de Asientos se definieron 2 zonas magnéticas anómalas en forma de dipolos localizados en los poblados de Carrillo Puerto y Los Gorriones, además con base en la continuación de campo magnético a 2000 m.s.n.t. se interpretan a profundidad dos altos del basamento magnético en forma de pilar tectónico con orientación norte-sur. Es de interés su exploración ya que están relacionados al gran pilar tectónico de Tepezalá, donde existen afloramientos del Terreno Guerrero, así como mineralización polimetálica.
En el distrito minero de Francisco I. Madero, se presenta un amplio monopolo magnético de rumbo N-S con dimensiones de 13 Km de longitud y 8 Km de ancho. Se correlaciona al poniente con un pequeño afloramiento de diorita de hornblenda. El monopolo magnético se encuentra mayormente cubierto por rocas sedimentarias y volcanosedimentarias mesozoicas que constituyen una estructura anticlinal. Se

recomienda la exploración sistemática de toda la superficie de 100 Km^2 que cubre la zona magnética anómala.

Al extremo nororiente, en los alrededores del poblado de Sauz de Calera se presentan dos dominios magnéticos A_1, cubiertos por sedimentos clásticos recientes y delimitados por lineamientos magnéticos con rumbo NW-SE, se considera una zona favorable para la presencia de mineralización polimetálica, encajonada en las rocas volcanosedimentarias del Terreno Guerrero.

En la porción centro-poniente, al nororiente de la población de Minillas, se presentan 6 manifestaciones de mineralización polimetálica relacionadas a un dipolo magnético incluido dentro de un dominio magnético B_2 atribuible a rocas volcánicas máficas. Las evidencias de mineralización se localizan en las porciones topograficamente más profundas del Gran Graben de Mezquitic por lo que resulta de interés investigar la posibilidad de que existan estructuras mineralizadas dentro de la secuencia volcánica inferior de la provincia de la Sierra Madre Occidental donde es más común encontrar depósitos minerales de rendimiento económico.

En la porción centro-oriente de la carta, al poniente de Ojo Caliente, Zac., se intersectan tres lineamientos magnéticos con rumbos NW-SE, NE-SW y N-S, constituyendo una amplia zona de intenso fallamiento relacionada a una depresión magnética, con presencia de rocas volcanosedimentarias y mineralización polimetálica. Esta zona es de interés para la exploración de su potencial minero.

Al norponiente del distrito minero de Zacatecas, en las inmediaciones de la población de Sauceda de la Borda, dentro de una zona de graben, se detectó un amplio monopolo magnético atribuible a una intrusivo magnético sepultado por sedimentos clásticos recientes; esta estructura puede estar relacionada con el distrito minero de Zacatecas.

INTRODUCCIÓN

El Consejo de Recursos Minerales tiene la misión de elaborar cartas geofísicas aeromagnéticas en las áreas con mayor potencial minero en el territorio nacional. La carta magnética Zacatecas F13-6 forma parte de este programa, se realizó con base en los levantamientos aerogeofísicos sistemáticos que lleva a cabo actualmente. Dicho material se está integrando para hacerlo del dominio público con el propósito de fomentar el aprovechamiento de los recursos minerales del país.

En virtud de la dificultad cada vez mayor para la localización de los yacimientos minerales por encontrarse estos ocultos, el explorador enfrenta la necesidad de auxiliarse con técnicas indirectas de exploración, como son geofísica, geoquímica, imágenes de satélite, etc., las cuales representan valiosas herramientas que deben utilizarse en conjunción para lograr exitosas campañas que conduzcan a encontrar yacimientos minerales susceptibles de ser explotados.

La carta magnética Zacatecas contiene información en una superficie de 22 796 Km^2 y corresponde a un mapa de intensidad magnética total corregido por IGRF, obtenido a partir de los mapas de intensidad magnética total a escala 1:50 000 y de los levantamientos aeromagnéticos realizados durante los años 1985 y 1995.

En una interpretación cualitativa de la presente carta se pudieron enmarcar a nivel regional las expresiones magnéticas más obvias como son: La distribución y configuración de las rocas intrusivas sepultadas, rocas volcánicas félsicas y máficas, importantes espesores de rocas sedimentarias y metamórficas, contactos litológicos ocultos y zonas de falla profundas. En mapas a escala 1:50 000 de la misma zona se podrán interpretar rasgos más detallados.

I.- INFORMACION AEROMAGNETICA

I.1.- Fuentes de información

Para la elaboración de esta carta, los datos fueron obtenidos de los levantamientos aeromagnéticos realizados por el Consejo de Recursos Minerales en los años 1985 y 1995. Los primeros se compilaron mediante un proceso analógico para generar mapas aeromagnéticos de intensidad total a escala 1:50 000. La información obtenida en 1995 se procesó directamente de la grabación digital del equipo aerogeofísico.

La información cartográfica básica fue proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI).

I.2.- Parámetros y equipos utilizados en el levantamiento

Para los objetivos mineros a los cuales nuestro Organismo está dedicado; durante 1985 se efectuaron los levantamientos aeromagnéticos siguiendo vuelos de contorno con una altura promedio de 300 m, en líneas con rumbo $N45^0E$ y separación de 1000 m. La identificación de las trayectorias de vuelo se llevó a cabo, mediante el sistema de navegación visual. Se utilizó un avión Islander bimotor, un magnetómetro de protón Geometrics G-803 con sensibilidad de 0.25 nT y un radioaltímetro Sperry.

En el año 1995 se realizó el vuelo de la mayor superficie de la hoja, con líneas de rumbo N-S, separación de 1000 m. y altura de vuelo de 450 m., el posicionamiento de trayectorias de vuelo se llevó a cabo mediante el sistema de navegación por satélite (GPS), utilizando el módulo PNAV 2001 y procesador Novatel. Se utilizó un sensor magnético y una tarjeta procesadora marca PICODAS (magnetómetro) de vapor de Cesio marca Scintrex CS-2 con resolución de 0.001 nT.

I.3.- Procesamiento de datos

Para la integración de datos y la generación de los mapas, se llevaron a cabo las siguientes etapas:

I.3.1.-Integración de la información magnética

La integración de la información se realizó a partir de mapas aeromagnéticos de intensidad total a escala 1:50 000, siendo necesario digitalizar los vuelos realizados en el año de 1985, siguiendo las trayectorias de vuelo para capturar las coordenadas UTM y el valor del campo magnético (z).

Para los vuelos recientes, la información se grabó directamente en el disco duro del equipo aerogeofísico. La información se exportó a la estación de trabajo SUN SPARC 10 donde fue procesada e integrada con el vuelo anterior.

La información quedó almacenada por líneas de vuelo, constituyendo la unidad básica del banco de datos magnetométricos, en esta etapa mediante desplegados gráficos del mapa se revisó que la digitalización fuera correcta.

I.3.2.- Obtención de datos corregidos por el campo geomagnético

Según los datos del observatorio de Teoloyucan, Méx., obtenidos en el período de 1923 a 1987, el campo geomagnético en la República Mexicana ha decrecido en ese período aproximadamente 48.07 nT por año (Urrutia y Campos, 1993), lo que nos da una idea de la magnitud del cambio en el campo geomagnético que debe corregirse.

En nuestro caso, a los datos aeromagnéticos se les substrajo el valor de campo geomagnético tomando en cuenta la posición geográfica del área, las fechas del levantamiento y la altura de vuelo. Esta corrección se realizó utilizando el valor del IGRF95 (Campo Geomagnético de Referencia Internacional) adoptado por la Asociación Internacional de Aeronomía y Geomagnetismo (IAGA, División V, Working Group 9, 1992).

I.3.3.- Generación del mapa

Con la finalidad de obtener el mapa a escala 1:250 000, los datos de la carta magnética Zacatecas se integraron en un archivo de coordenadas X, Y, Z y se utilizó el algoritmo de interpolación de mínima curvatura (Briggs, 1974) para la generación de curvas de contorno cada 20 nanoteslas (nT). El equipo utilizado fue una estación de trabajo SUN SPARC 10.

I.3.4.- Graficación

El desplegado gráfico se realizó en un graficador de plumillas Houston Instruments modelo DMP-162. Este mapa preliminar se utilizó para la interpretación y revisión de los valores magnetométricos, previos a la edición e impresión final.

I.4.- Características de la carta magnética

La carta magnética Zacatecas F13-6 escala 1:250 000 con formato cartográfico del INEGI contiene información que abarca una superficie de 22 796 Km ^{2} y se localiza en la porción sur del estado (Figura No. 1). Comprende los estados de Zacatecas, Jalisco, Aguascalientes y San Luis Potosí.

La edición cartográfica se efectuó con el paquete ARC/INFO, los intervalos de color de las curvas isomagnéticas se seleccionaron cada 40 nanoteslas (nT), indicando los bajos magnéticos en tonos de azul y verde y los altos magnéticos en tonos rojos como se indica en la gama de valores, para visualizar fácilmente las anomalías dipolares, monopolares y los gradientes magnéticos.

Para la interpretación cualitativa de carácter regional los límites de las unidades litomagnéticas se representan con trazos punteados y los lineamientos magnéticos asociados a fallas con líneas interrumpidas.

En la base cartográfica se indican los principales caminos, arroyos, poblados y ciudades. La carta está referida a la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM).

II.- SÍNTESIS GEOLÓGICA

Fisiográficamente, la carta Zacatecas F13-6 forma parte de la Provincia de la Mesa Central (Raisz, 1964), al nororiente y oriente está constituida por rocas sedimentarias y volcanosedimentarias depositadas en la Cuenca Mesozoica del Centro de México (Carrillo, 1971), la porción poniente y surponiente está representada por la Provincia de la Sierra Madre Occidental la cual ocupa la mayor parte de la carta y está formada por una cubierta de rocas volcánicas cenozoicas.

La edad de las rocas que afloran dentro de la superficie de la carta varía desde el Triásico Superior (Cárnico) hasta el Reciente, predominando las rocas volcánicas félsicas terciarias. Las rocas mesozoicas afloran como ventanas tectónicas, muy deformadas, afectadas por intrusiones graníticas y cubiertas por rocas volcánicas terciarias.

Sistema Triásico

Las rocas más antiguas de la región están representadas por una secuencia de lutitas negras y areniscas con horizontes de lavas y tobas, conglomerados y calizas delgadas. Las lutitas contienen fragmentos de amonitas (Juvavites y Sirenites) de edad Carníca (Burckhardt y Scalia, 1906; Gutiérrez, 1908 y Maldonado, 1948). Estas rocas afloran como ventanas tectónicas al poniente de la ciudad de Zacatecas, en el arroyo de La Pimienta, su localidad tipo y en algunas localidades aisladas al norte de la Sierra de Zacatecas, en Francisco I. Madero y Sauceda de Mulatos. Carrillo (1971) les dio el nombre de Formación Zacatecas.

Las relaciones estratigráficas de las rocas triásicas son complejas debido a su intenso tectonísmo y falta de afloramientos. Presentan dos eventos de deformación (Ranson, 1975, McGehee, 1976) y un metamorfismo de la facies de esquistos verdes. Recientemente, Monod y Calvet (1992), señalaban que esta secuencia está formada por tres unidades tectónicas superpuestas entre sí con notable plegamiento isoclinal e indicadores cinemáticos que indican un transporte tectónico hacia el NE. Se desconoce el espesor total de esta secuencia por no aflorar, pero en el arroyo de la Pimienta alcanza por lo menos 430 m (Monod y Calvet, op. cit.).

En un principio los esquistos sericíticos de esta secuencia se consideraron de edad paleozoica, sin embargo la falta de discordancias notables indica que pertenecen a la misma secuencia triásica (Ranson, 1975; McGhee, 1976), pero con un grado mayor de deformación tectónica (Monod y Calvet, 1992).

Sistema Jurásico-Cretácico Inferior

Está representado por una secuencia de lutitas carbonosas, areniscas, horizontes calcáreos, material volcánico y radiolaritas, está muy deformada con incipiente metamorfismo y alcanza los 600 m. de espesor. Aflora en la región de Tepezalá-Asientos al sureste de la carta, donde recibe el nombre de Formación Cieneguitas. La edad de esta secuencia con base en su contenido de radiolarios, es del Jurásico Superior (Dávila, et al., 1989).

Cubriendo a la secuencia anterior, al parecer en contacto transicional, se tiene una gruesa secuencia volcanosedimentaria constituida por lutitas silíceas, areniscas, derrames masivos de

andesitas basálticas con estructura almohadillada, brechas y tobas andesíticas, horizontes de pedernal y lentes calcáreos. Fragmentos de amonitas dentro de esta secuencia en la región de Fresnillo dieron una edad Valanginiano-Hauteriviano (Neocomiano) (Cantú, 1974), esta misma edad fue confirmada por medio de radiolarios en la localidad de El Saucito, Pánfilo Natera (Yta, et al., 1991).

Esta secuencia se correlaciona con la Formación Chilitos de la región de Fresnillo (de Cserna, 1976) y aflora ampliamente en la Sierra de Zacatecas, donde alcanza un espesor de mas de 500 m y cubre tectónicamente a las rocas triásicas (Monod y Calvet, 1992), también aflora en Minillas, Pánfilo Natera, Milagros, Casa Blanca y Tepezalá. Su importancia radica en que es la principal roca encajonante de las vetas epitermales en los distritos mineros de Zacatecas, Minillas, Milagros y Casa Blanca. (CRM, 1991).

Las andesitas de la Formación Chilitos (la famosa "Roca Verde" de Zacatecas) han sido y son tema de discusión desde hace tiempo respecto a su origen y edad. Varios autores las han considerado como rocas ígneas de carácter intrusivo (Burckhardt y Scalia, 1905; Gutiérrez, 1908; Mapes, 1949; Pérez, et al., 1961; Ranson, 1975; Ponce, 1985), emplazadas en la forma de un lacolito, e inclusive se obtiene una edad de 74.3 Ma para esta "microdiorita". (Ranson, op.cit.).

De Cserna (1976) fue el primero en considerarlas como parte de una corteza oceánica triásica, por su semejanza con las lavas espilíticas de la secuencia triásica de Zacatecas. Otros autores las consideran como rocas volcánicas submarinas por su estructura almohadillada, interdigitada con sedimentos clásticos y cortada por diques de la misma composición. Tienen planos de estratificación y esquistocidad y constituyen la parte superior del Arco Intraoceánico Alisitos-Teloloapan constituido sobre corteza oceánica con fragmentos de corteza continental (Servais, et al., 1986; Ortíz, et al., 1991; Yta, et al., 1991; Lapierrre, et al., 1992; Monod y Calvet, 1992), con una edad del Cretácico Inferior (Neocomiano).

Por su contenido de magnetita-ilmenita las andesitas de esta secuencia presentan respuestas magnéticas caracterizadas por dipolos de intensidad moderada y formas alargadas con dirección NW-SE (dominio B_1) que permiten su diferenciación de otras unidades sedimentarias.

Existen afloramientos importantes de calizas en varias localidades (Pastoría, Tepezalá y Pánfilo Natera) cuya edad no ha sido definida con fósiles, sin embargo, por su posición estratigráfica sobre las andesitas y semejanza litológica con las calizas de la región de Fresnillo, se consideran del Albiano.

Sistema Cretácico Superior

Está representado por calizas arcillosas, lutitas y areniscas con abundantes fragmentos de rocas volcánicas de las formaciones Indidura y Caracol, (Tardy y Maury, 1973) que tienen poca distribución ya que han sido prácticamente erosionadas y solo afloran como pequeños remanentes al norte de Valparaiso y en la región de Tepezalá.

Sistema Terciario

Las rocas más antiguas de este sistema son sedimentos clásticos continentales constituidos por arenas, gravas y conglomerados en una matriz arenosa de color rojizo con intercalaciones de material volcanoclástico hacia la cima. Los fragmentos del conglomerado son de andesitas, metasedimentos y un granito de origen desconocido que rellena una fosa tectónica con circulación restringida. Aflora en la región de Zacatecas, donde reciben el nombre de Conglomerado Rojo de Zacatecas, al sureste de Ojo Caliente y en Tepezalá. Por su semejanza

con el conglomerado de Guanajuato se considera del Eoceno Medio. (Ferrusquía, 1987).

Las rocas volcánicas terciarias más antiguas están constituidas por derrames y tobas andesíticas de 46 Ma (Eoceno), se han identificado en la región de Zacatecas (Ponce, 1985), Tepezalá y en algunas localidades en lo más profundo de los cañones del Río Bolaños, extremo surponiente de la carta (Roesler, et al., 1994). Estas rocas son parte del Complejo Volcánico Inferior (Mc Dowell y Keizer, 1977), están alteradas hidrotermalmente e inclinadas, pero no presentan deformación.

En el extremo surponiente de la carta, las rocas anteriores están cubiertas por una secuencia de conglomerados, areniscas y depósitos epiclásticos continentales de hasta 200 m de espesor que reciben el nombre de Arenisca San Miguel (Roesler, et al., 1994).

Esta unidad se encuentra cubierta por una gruesa secuencia de derrames, tobas, ignimbritas y flujos piroclásticos de composición riolítica con intercalaciones de andesitas que en total alcanzan un espesor de más de 1000 m y cubren discordantemente a las rocas mesozoicas. A pesar de la gran distribución superficial de estas rocas existen pocos estudios detallados de ellas dentro de la carta y los que existen son de tipo regional.

Estas rocas representan un período de intensa actividad volcánica desde el Oligoceno Medio al Mioceno Temprano (31 a 23 Ma) (Roesler, et al., 1994; Aguirre y Mc Dowell, 1991). Las edades disminuyen hacia el sureste indicando un rejuvenecimiento del volcanismo de la Sierra Madre Occidental (Webber, et al., 1994).

Las rocas volcánicas félsicas salieron a la superficie a través de fisuras y centros volcánicos multiples (calderas) constituidos por domos, cuellos volcánicos y diques. Una de estas estructuras de caldera se ubica en la región de Zacatecas (Ponce, 1985) y otra se ubica al surponiente de Colotlán (González, et al., 1997). Inmediatamente al sur de la carta se ubican las calderas de Juchipila y Jalpa que fueron la fuente de una gran parte de la secuencia riolítica (Roesler, et al., 1994, Webber, et al., 1994).

Las andesitas basálticas moderadamente alcalinas de la parte superior de la secuencia, (Aguirre y Mc Dowell, 1991), alcanzan un espesor de 30 m lo que se refleja en la respuesta magnética por una serie de dipolos de forma irregular (dominio B_2) cuya intensidad depende del grado de erosión de la cubierta riolítica para dejar al descubierto las andesitas basálticas. Las zonas de fuente (domos, diques y cuellos volcánicos) están bien definidas por dipolos de mayor intensidad magnética debido a su mayor contenido de minerales ferromagnéticos que las tobas de flujo de cenizas.

La secuencia félsica está afectada por un evento distensivo en el Mioceno (17-15 Ma) (Roesler, et al., 1994) que produjo fallamiento normal dando origen a fosas tectónicas rellenas parcialmente con arenas, arcillas y conglomerados con derrames basálticos en la base y fósiles de vertebrados del Plioceno-Pleistoceno (Mooser, 1958).

El evento volcánico más reciente está representado por la emisión de basaltos, posiblemente alcalinos, a través de aparatos volcánicos como en Felipe Angeles, al surponiente de Zacatecas, Salitral de Carrera y Pánfilo Natera al noreste de la carta. Por su grado de erosión se consideran de edad cuaternaria y están relacionados a fallas. (Aranda, et al., 1993).

El Reciente está representado por material de relleno y aluvión que se depositan en las fosas tectónicas y en los amplios valles entre sierras aisladas de la porción nororiente de la carta.

Rocas Igneas Intrusivas

Los afloramientos de este tipo de rocas son escasos y de poca extensión superficial; se presentan en forma de batolitos, troncos y diques afectando principalmente a las rocas mesozoicas, están emplazados en fracturas NW-SE, y su composición varía de granito a diorita.

El evento intrusivo más antiguo está representado por los fragmentos de granito que forman parte del Conglomerado Rojo de Zacatecas y son abundantes cerca del Cerro del Padre. Se desconoce su edad pero posiblemente sean del Cretácico Superior. En la región de Tepezalá este evento está representado por intrusivos de composición riolítica (Chávez, et al., 1995).

Un segundo evento intrusivo está representado por un cuerpo de dimensiones batolíticas y composición granodiorítica que aflora en la región de Pánfilo Natera, el cual afectó a las rocas mesozoicas y produjo mineralización; el propio intrusivo contiene mineralización vetiforme (CRM, 1991). A pesar de sus dimensiones este cuerpo no da respuesta magnética debido al bajo contenido de magnetita.

Otros afloramientos importantes son el tronco granodiorítico de Sauceda de Mulatos y los diques y troncos de la misma composición en Tepezalá con mineralización asociada. (Chávez, et al., 1995).

Al norte de la Sierra de Zacatecas se han identificado troncos dioríticos similares al que aflora al poniente de Francisco I. Madero y el intrusivo El Socorro que aflora en el límite centro oriental de la carta. Estos cuerpos ígneos tienen mayor contenido de minerales ferromagnéticos por su respuesta magnética de intensidad moderada (hasta 60 nanoteslas) y gran tamaño como en Francisco I. Madero y oriente de Pánfilo Natera (dominio A_1) que son indicativos de los cuerpos ígneos emplazados a profundidad.

Se desconoce la edad absoluta de este segundo evento intrusivo pero debido a su semejanza con intrusivos cercanos de edad conocida (San Martín y Fresnillo) se considera que representan un intervalo de 46 a 34 Ma. y son importantes porque están asociados genéticamente a mineralización polimetálica y a sistemas hidrotermales fósiles que actuaron durante el período de 33 a 30 Ma en el norte de México. (Cumming, et al., 1979).

El evento intrusivo mas joven está representado por cuerpos subvolcánicos en forma de cuellos, domos y diques de composición riolítica y andesítica. Algunos de estos cuerpos sirvieron como conducto de salida a las rocas volcánicas félsicas oligocénicas. Afloran principalmente en la región de Zacatecas y están asociados a una caldera resurgente (Ponce, 1985), en Pánfilo Natera, Milagros y Tepezalá-Asientos. Localmente, su forma y contenido de magnetita los hace fácilmente detectables con magnetometría por su respuesta en forma de dipolos aislados, normales e invertidos.

Geología Estructural

El marco estructural que domina la carta es producto de los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide y los diversos eventos distensivos ocurridos durante el Cenozoico como producto del reajuste en el movimiento de las placas tectónicas que afectaron a las rocas mesozoicas y cenozoicas de la región.
Las rocas triásicas de Zacatecas presentan dos eventos compresivos y un evento de metamorfismo de bajo grado. La presencia de contactos miloníticos, foliación casi plana, alargamiento y rotación de minerales y plegamiento isoclinal son indicativos que estas rocas sufrieron un transporte tectónico y cabalgamiento con dirección NE (Monod y Calvet, 1992).

La secuencia mesozoica en general presenta un intenso plegamiento con dirección NW-SE con sinclinales y anticlinales volcados al NE que

llegan a desarrollar fallas inversas con vergencia hacia al NE e inclusive hacia el SW como en Tepezalá (Chávez, et al., 1995).

El principal sistema de fallamiento dentro de la carta tiene una dirección N50-60^{0}W, el que ha estado activo desde el Eoceno y ha sido reactivado posteriormente ya que también afecta a las rocas volcánicas oligocénicas.

Este sistema controló regionalmente el emplazamiento de cuerpos ígneos intrusivos y localmente el emplazamiento de vetas epitermales en varias localidades; es claramente visible en la imágen de satélite una zona de fallas paralelas desde Ermita de Los Correa hasta Luis Moya. En la región de Zacatecas este sistema está representado por la falla de La Cantera que delimita un bloque levantado que comprende la Sierra de Zacatecas (Albinson, 1995) y un bloque hundido hacia el sur donde las rocas volcánicas oligocénicas alcanzan espesores de mas de 1000 m como en la Sierra Fria, Sierra Candelas y Sierra Los Cardos.

Un segundo sistema de fallamiento conjugado al anterior, tiene un rumbo N50-60^{0}E y también controló la emisión de rocas volcánicas félsicas evidente por la presencia de diques con esta dirección.

El sistema de fracturamiento mas reciente tiene una dirección de N-S a N25^{0}E y está asociado a la tectónica distensiva de Cuencas y Sierras que dió origen a la formación de grandes fosas tectónicas limitadas por fallas normales escalonadas, con desplazamientos de hasta 400 m (Roesler, et al., 1994), como las de Mezquite, Huejúcar, Villanueva y Aguascalientes (Aranda, 1989). La formación de estas estructuras fue controlada longitudinalmente por movimientos laterales de las fallas NW-SE que actuaron como fallas transformes para disipar la extensión. (Davison, 1994; Mitre, et al., 1989)

Los diferentes eventos distensivos del Terciario han provocado el enmascaramiento y relación de edades de los diferentes sistemas de fallamiento que afectan a las rocas de la región. (Aranda, et al., 1989)

Evolución Tectónica

La evolución geológica de la región es compleja y aún tiene puntos oscuros que son motivo de discusión por la falta de afloramientos e información de subsuelo de las rocas del basamento. La región forma parte del Terreno Guerrero (Campa y Coney, 1983) o Tepehuano (Sedlock, et al., 1993), hacia el noreste la carta comprende una zona de transición con el Terreno Sierra Madre; mas al oriente este límite aún no ha sido bien definido pero corresponde burdamente con la distribución hacia el oriente de las andesitas de la Formación Chilitos.

No se han identificado con seguridad rocas pre-mesozoicas, sin embargo, los datos isotópicos de lo xenolitos granuliticos incluidos en basaltos alcalinos cuaternarios (Aranda, et al., 1993) son indicativos de la presencia de un basamento Precámbrico (Ruíz, et al., 1988). Adicionalmente, los elementos traza de la secuencia riolítica indican que la corteza inferior jugó un papel importante en la génesis de estas rocas. (Wark, 1991; Webber, et al., 1994)

La evolución de la región prácticamente se inicia en el Triásico Superior donde en un ambiente intraoceánico somero (Monod, 1993) asociado a un aulacógeno (Miranda, 1995), se depositan los sedimentos clásticos de la Formación Zacatecas intercalados con material volcánico derivado de un arco volcánico ubicado hacia el poniente (Grajales, et al., 1992). Al mismo tiempo, hacia el oriente se depositan los sedimentos turbidíticos de Peñón Blanco (Terreno Sierra Madre), en un ambiente de margen continental al occidente de la Pangea (Silva, et al., 1993).

En el Jurásico Temprano los sedimentos de la Formación Zacatecas sufrieron un largo transporte tectónico hacia el NE (Monod y Calvet, 1992) y fueron acrecionados al continente

provocando una foliación y ligero metamorfismo. (López, 1986; Centeno y Silva, 1993; Sedlock, et al., 1993).

Después de un levantamiento y prolongada erosión de las rocas triásicas, en el Jurásico Medio se depositan rocas volcánicas de afinidad continental (Formación Nazas) que tienen gran distribución al norte de Zacatecas pero no se han encontrado dentro de la superficie de la carta.

A principios del Jurásico Superior (Caloviano) se inicia el rompimiento de la Pangea lo que provoca el hundimiento y separación de grandes bloques del basamento dando origen a la Apertura de la Cuenca Mesozoica del Centro de México (Carrillo, 1971) y a la gran transgresión marina del Jurásico Superior relacionada con la Apertura del Golfo de México.

La Cuenca Mesozoica del Centro de México ha sido interpretada como una cuenca marginal transarco equivalente a la Cuenca oceánica de Arperos de la región de Guanajuato. (Servais, et al., 1986; Lapierre, et al., 1993)

En la región, el hundimiento de esta cuenca fue bastante rápida dando origen al depósito de una gruesa secuencia clástica de aguas profundas con material volcánico (Formación Cieneguitas).

En el Cretácico Inferior la cuenca se termina de abrir y alcanza su máxima profundidad (Servais, et al., 1986) prevaleciendo las mismas condiciones marinas donde se depositan las rocas volcánicas de la Formación Chilitos sobre corteza oceánica como lo indica su afinidad de toleitas de arco calcoalcalino (Yta, 1991; Ortiz et al., 1991). Estas rocas se consideran parte del mismo arco de islas que las rocas básicas y ultrabásicas de Guanajuato (Servais, et al., 1986; Ortíz, et al., 1991; Lapierre, et al., 1992).

La presencia de un arco volcánico hacia el poniente de la cuenca se refleja en las rocas volcanosedimentarias de la Formación Chilitos mientras que hacia el oriente predominan los sedimentos calcáreos o clásticos de las Formaciones Taraises, Cupido, La Peña y Cuesta del Cura.

Los sedimentos clásticos de la Formación La Peña marcan un evento tectónico de corta duración (Aptiano) que deformó y metamorfizó localmente a la Formación Chilitos (Torres y Tristán, 1994) y al mismo tiempo indican su acreción y cabalgamiento sobre la Plataforma Valles-San Luis Potosí (Lapierre, et al., 1992; Centeno y Silva, 1993b; Sedlock, et al., 1993).

En el Cretácico Superior (Turoniano) se inicia un cambio gradual en el régimen de sedimentación debido al levantamiento del Arco Tarahumara (Araujo y Arenas, 1986) hacia el poniente de la cuenca dando origen a los sedimentos calcáreo-arcillosos y tipo flysch de las formaciones Indidura y Caracol.

En el Maestrichtiano, el incremento en la tasa de convergencia de la Placa Farallón bajo la Placa de Norteamérica da inicio a la Orogenia Laramide generando esfuerzos de compresión con dirección NE-SW provocando el plegamiento y cabalgamiento de la secuencia volcanosedimentaria del Terreno Guerrero sobre las facies de plataforma del Terreno Sierra Madre.

Durante la fase final de la orogenia, posiblemente se emplazó el granito de Zacatecas acelerando el levantamiento del bloque norte de la Sierra Zacatecas cuya erosión produce el depósito de material clástico continental en pequeñas fosas tectónicas o como abanicos aluviales. Este evento estuvo acompañado de un volcanismo incipiente.

En el Eoceno Medio se inicia un evento magmático intrusivo debido a la progresión del arco magmático hacia el oriente (Clark, et al., 1982) que abarca un intervalo de 48 a 34 Ma durante el cual se emplazan cuerpos ígneos intrusivos félsicos con mineralización asociada. Al inicio, este evento estuvo asociado a un

volcanismo andesítico y su terminación estuvo asociada a un evento hidrotermal que produjo mineralización epitermal durante el intervalo de 33 a 30 Ma.

Después de un prolongado hiatus volcánico durante el cual se depositan sedimentos clásticos continentales; en el Oligoceno Medio se inicia "la gran erupción ignimbritica" de la Sierra Madre Occidental debida a la regresión del arco magmático hacia el poniente (Clark, et al., 1982) y al mismo tiempo dando inicio a la tectónica extensional de Cuencas y Sierras (Henry y Aranda, 1992).

Los datos isotópicos indican que la corteza jugó un papel importante en la génesis de las riolitas a partir de la cristalización fraccionada de magmas andesíticos en un sistema cerrado (Wark, 1991; Webber, et al., 1994).

En el Mioceno Medio (15 a 13 Ma) un evento distensivo acompañado de volcanismo básico, posiblemente relacionado a la apertura del Protogolfo de California (Mc Dowell y Clabaugh, 1979), produce un fallamiento normal dando orígen a grandes fosas tectónicas y bloques levantados que caracterizan a toda la región.

Yacimientos Minerales

Las principales evidencias de mineralización económica dentro de la carta se localizan en el sector nororiente y oriente donde sobresalen por su importancia los distritos mineros de Zacatecas, Tepezalá-Asientos y Francisco I. Madero.

El distrito minero de Zacatecas es el más importante, ya que desde su descubrimiento en 1548 ha producido mas de 22 000 Ton de Ag y aun se encuentra activo parcialmente.

La mineralización consiste principalmente en vetas epitermales de rumbo NW-SE de hasta 16 Km de longitud (Veta La Cantera) y espesores de hasta 20 m (Veta Grande), emplazadas en los metasedimentos triásicos y las andesitas de la Formación Chilitos con mineralización de Ag, Au, Pb, Zn y Cu.

Las zonas mas importantes de este sistema son La Cantera-El Bote, Mala Noche, Veta Grande, Pánuco y San Rafael.

Un segundo sistema de vetas de rumbo N-S consiste de Au y Ag (El Orito) y afecta incluso a la base de las tobas riolíticas.(CRM, 1991). La mineralización del distrito ha sido relacionada a la evolución estructural de una caldera resurgente por la presencia de fracturas anulares y radiales, cuellos subvolcánicos, un domo de lava y una gruesa secuencia de ignimbritas. Esta caldera fue controlada por fallas NW-SE preexistentes (Ponce, 1985).

El distrito minero de Tepezalá-Asientos, en el extremo suroriente de la carta, está formado por varios cuerpos minerales en forma de mantos, chimeneas, vetas, stockwork y diseminados emplazados en rocas sedimentarias y volcanosedimentarias del Jurásico-Cretácico afectadas por diques y troncos granodioríticos y cuellos subvolcánicos riolíticos.
La mineralización es de Ag, Pb, Zn, Cu y por su paragénesis se relaciona a un sistema de pórfido cuprífero (Chávez, et al., 1995).

En Francisco I. Madero, a 15 Km al poniente de la ciudad de Zacatecas, existen cuerpos de sulfuros estratiformes tipo sedimentario-exhalativo (Miranda, 1995) asociados a una secuencia de lutitas negras de la Formación Zacatecas que fueron descubiertos y evaluados preliminarmente por el CRM. Recientemente, la Compañía Peñoles, ha terminado de evaluar este yacimiento estratiforme y confirma su origen sedimentario-exhalativo (Tipo SEDEX). Estos cuerpos contienen mineralización de Ag, Pb, Zn, Cu y Au con abundante pirita y pirrotita masiva. En esta misma zona también existen vetas hidrotermales de rumbo N25-35^{0}W, producto de la intrusión de un cuerpo granodiorítico que

afecta a una secuencia volcanosedimentaria. Vetas hidrotermales de rumbo NW-SE con mineralización de Ag, Pb y Zn cortan al intrusivo y a calizas de la secuencia volcanosedimentaria.

En Sauceda de Mulatos se tienen evidencias de mineralización en mantos, vetas y diseminados con Ag, Pb, Zn, Cu y Fe relacionados a un tronco granodiorítico que afecta a metasedimentos triásicos y a la secuencia volcanosedimentaria de la Formación Chilitos. (CRM, 1991)

Otras manifestaciones de vetas epitermales con mineralización de Ag, Pb, Zn, Cu, emplazadas dentro de Formación Chilitos ocurren en Minillas y Casa Blanca, donde vienen asociadas con Sb; en Milagros donde están relacionadas a pórfidos riolíticos y en Santa Rosa al noroeste de Ermita de los Correa.

En el extremo sur de la carta, dentro de la secuencia riolítica se tienen vetas de fluorita en la zona de Tayahua y de estaño en forma de vetillas irregulares y diseminaciones generalmente relacionado a actividad fumarólica en riolitas con alto contenido de fluor (Huspen, et al., 1984). En la Sierra Fría al sureste de Valparaiso existe una manifestación de bario (El Zarco); lo cual es un factor importante ya que este elemento traza caracteriza la mineralización del Terreno Guerrero (Yta y Barbanson, 1993).

En general, las manifestaciones de Ag y Au dentro de la secuencia riolítica están restringidas a vetas irregulares de poco espesor y por lo tanto sin interés económico.

CONCLUSIÓN

La interpretación de lineamientos magnéticos complementada con los lineamientos de imágenes de satélite permitió definir una zona de fallamiento de rumbo N50^{0}W de aproximadamente 30 Km de ancho dentro de la cual se ubican los distritos mineros de Zacatecas, Francisco I. Madero, Minillas, Milagros y Tepezalá-Asientos.

Esta zona corresponde a una debilidad cortical que sirvió como control estructural para el emplazamiento de cuerpos intrusivos graníticos durante la progresión de arco magmático, los cuales probablemente dieron origen a mineralización polimetálica de metasomatismo de contacto y a un evento hidrotermal epitermal tardío.

La identificación de cuerpos de sulfuros estratiformes, tipo SEDEX, dentro de la secuencia triásica abre nuevas posiblidades para la exploración de este tipo de cuerpos en la región, sobre todo en el distrito de Zacatecas, donde se conoce que a profundidad está presente este tipo de rocas.

III.- DISCUSIÓN DE LA INTERPRETACIÓN REGIONAL

La información contenida en la carta Zacatecas F13-6 escala 1:250 000, tiene alcance de carácter regional por la escala del mapa. De estos datos aeromagnéticos es posible interpretar indirectamente rasgos geológicos del subsuelo, infiriendo la distribución y naturaleza de las rocas ocultas como intrusivos, rocas sedimentarias y metamórficas, rocas volcánicas máficas y félsicas, fallas profundas y controles estructurales favorables para la presencia de depósitos minerales; rasgos obtenidos con base al contraste de magnetización de los materiales del subsuelo, originado este por la composición mineralógica de las rocas.

En la presente carta se realizó una interpretación cualitativa de carácter regional en donde se indican los rasgos magnéticos principales, estos resultados están a discusión y se proporcionan como una base para análisis más profundos, de acuerdo con el objetivo y uso de la información.

Para obtener una información con mas detalle en áreas específicas de interés que hayan sido seleccionadas de esta carta, se requiere llevar a

cabo una interpretación cuantitativa, realizando cálculos y modelado que proporcionen datos de profundidad de a la cima de los cuerpos magnéticos; y espesores de las unidades más importantes, en mapas a escala 1:50 000 ó 1:20 000, seleccionando sucesivamente áreas más reducidas en las cuales habrá que realizar trabajos de campo geológicos, geoquímicos y geofísicos a detalle.

III.1.- Dominios magnéticos

En la carta Zacatecas se identificaron cuatro grupos de dominios magnéticos indicados con las letras A_1, B_1, B_2, y C; se diferencian de acuerdo a su intensidad de magnetización, gradiente magnético y amplitud dipolar. (Figura No. 2).

Para la identificación y discriminación entre la respuesta magnetométrica de las rocas volcánicas e ígneas intrusivas; se realizó la verificación en campo de las localidades en donde se interpretó la presencia de rocas intrusivas y de las localidades que presentaban ambigüedad en la interpretación de gabinete. Del análisis de los datos aeromagnéticos y la verificación de campo se explican los siguientes rasgos geológicos interpretados:

III.1.1.- Dominio magnético A_1

El dominio magnético identificado como A_1 se atribuye a rocas ígneas intrusivas de composición félsica a intermedia. Se caracteriza por su respuesta en forma de monopolos y pequeños dipolos magnéticos cuya intensidad varía de -40 a +60 nT. Su expresión magnética es un bajo gradiente y forma regular.

Dentro de la superficie de la carta se presentan cinco dominios magnéticos A_1 localizados en las porciones centro-norte y oriente de la carta, se ubican en ambiente de rocas sedimentarias y volcanosedimentarias del Terreno Guerrero.

En la porción poniente no se pudieron identificar cuerpos intrusivos debido al paquete de rocas volcánicas terciarias que los cubren y enmascaran su respuesta.

En la porción centro-norte se detectó un monopolo magnético de baja intensidad y dimensiones de 10 Km de longitud y 8 Km de ancho. Se correlaciona parcialmente con un pequeño afloramiento de diorita de hornblenda localizado al poniente del distrito minero de Francisco I. Madero, Zac.; el monopolo magnético se encuentra mayormente cubierto por rocas sedimentarias y volcanosedimentarias mesozoicas que constituyen una estructura anticlinal.

Otro dominio magnético A_1 se localiza en el extremo oriente, al este del poblado de Pánfilo Natera; se presenta en forma de un extenso monopolo magnético de baja intensidad y dimensiones de 13 Km de longitud y 10 Km de ancho. Se correlaciona con los afloramientos de intrusivo de Pánfilo Natera y El Socorro localizados al poniente y oriente del domino magnético A_1, la mayor parte del dominio magnético A_1 está cubierto por sedimentos clásticos recientes.

Hacia el sur de esta anomalía de Pánfilo Natera y con orientación N-S, se presentan 3 dominios A_1 que se interpretaron como pequeños troncos de intrusivo y se localizan en las localidades de San Pablo y Los Gorriones; esta interpretación apoya la presencia del alto estructural de Tepezalá.

En el extremo nororiental se presentan 3 dominios A_1 que se alinean sensiblemente E-W con el intrusivo interpretado en Francisco I. Madero. El de mayor extensión interpretado se ubica al nororiente del distrito minero de Zacatecas. Los otros se presentan en Casa Blanca y nororiente de Sauz de Calera, también asociados con obras mineras.

Los dominios magnéticos A_1 localizados en la porción nororiental se relacionan con los distritos

mineros de Zacatecas, Francisco I. Madero y las regiones mineras de Pánfilo Natera y Sauz de Calera, aunque localmente las anomalías aeromagnéticas tienen rumbos N-S y están alineadas entre sí E-W, forman parte de la serie de intrusivos con rumbo regional NW-SE ubicados dentro de la Provincia metalogenética polimetálica más importante del altiplano y que comprende los distritos mineros de Fresnillo, Sombrerete, San Martín y Chalchihuites ubicados al norponiente fuera de la superficie cubierta por la carta.

Los dominios magnéticos B_1 y B_2 se atribuyen a rocas volcánicas de composición félsica e intermedia a máfica respectivamente, corresponden a la Provincia de la Sierra Madre Occidental y se encuentran ampliamente distribuidos en toda la carta.

III.1.2.- Dominio magnético B_1

El dominio magnético B_1 está representado por altos, bajos y tendencias magnéticas irregulares con intensidades que varían de -100 a +60 nT. El dominio magnético B_1 se presenta distribuido en toda la carta y se correlaciona con afloramientos de rocas volcánicas félsicas de edad terciaria y rocas volcanosedimentarias mesozoicas. Tiene su mayor extensión en la porción occidental de la carta, en donde se correlaciona con rocas volcánicas félsicas de la Sierra Madre Occidental.

En la porción noriental, este dominio se atribuye a la respuesta magnética de las rocas andesíticas basálticas y basaltos de la secuencia volcanosedimentaria mesozoica que se encuentra en su mayor parte oculta por sedimentos recientes; en la porción oriental se presentan cuatro dominios magnéticos B_1 que se correlacionan con las rocas volcánicas félsicas terciarias.

III.1.3.- Dominio magnético B_2

El dominio magnético B_2 se caracteriza por un agrupamiento de anomalías dipolares y monopolares de alta intensidad que alcanzan grandes extensiones y tienen una distribución caótica, con intensidades magnéticas que varían de +740 a -220 nT.

El dominio B_2 se presenta ampliamente distribuido en la porción occidental de la carta, se correlacionan con rocas volcánicas de composición máfica e intermedia (basaltos, andesitas, ignimbritas y también riolitas; todas con alto contenido de magnetita). Dentro de este dominio B_2 se interpretan varios centros volcánicos cuya ubicación presenta una tendencia general NW-SE y su origen se atribuye a fracturas profundas de la corteza; ubicadas en el límite oriental de la Sierra Madre Occidental. Los centros volcánicos se presentan con las respuestas más intensas positivas y negativas.
El dominio magnético C está representado por un nivel magnético de bajo gradiente y gran extensión, con intensidades que varían de -60 a +20 nT., este dominio tiene su mayor distribución en la porción oriental de la carta y define el límite entre el Terreno Guerrero y la Provincia de la Sierra Madre Occidental.

III.1.5.- Dominio magnético C

El dominio magnético C se atribuye principalmente a potentes espesores de rocas sedimentarias no magnéticas y a sedimentos detríticos que rellenan las depresiones Plio-cuaternarias incluyendo rocas volcánicas terciarias poco magnéticas.

La secuencia volcanosedimentaria del Cretácico Inferior que se presenta en la porción oriental de la carta, origina una respuesta magnética de mediana intensidad la cual también se consideró dentro del dominio C.

Los dominios magnéticos B_1 y C están asociados a la secuencia volcanosedimentaria y varía de

acuerdo a la intensidad magnética definiendo la distribución de las rocas volcánicas y las rocas sedimentarias.

Mapa de continuación ascendente del campo magnético a 2000 m. s.n.t.

Para apoyar la interpretación de los dominios magnéticos, a los datos magnetométricos se les realizó una continuación de campo a 2000 m sobre el nivel del terreno, este mapa refleja los siguientes rasgos magnéticos profundos (Figura No.3).

En el extremo oriente de la carta se obtuvo la respuesta a profundidad de dos monopolos magnéticos orientados N-S.

En la porción centro-norte, en el distrito minero de Francisco I. Madero, se detectó a profundidad un amplio monopolo magnético. Se atribuye a un intrusivo sepultado que se correlaciona en superficie con un pequeño afloramiento de diorita de hornblenda localizado al poniente del distrito, esta estructura produce el levantamiento de la secuencia volcanosedimentaria y sedimentaria suprayacente, la cual refleja una estructura anticlinal.

En la porción centro-oriente se presentan 2 altos magnéticos que pueden interpretarse como intrusivos A_1 , cubiertos por rocas volcánicas; otra posibilidad de interpretación del mapa de continuación ascendente del campo magnético, es que las anomalías clasificadas como A_1 en esta zona, correspondan al paquete de rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental cuyo espesor puede ser en partes mayor a 1000m, ya que su respuesta magnética no se pudo filtrar en la continuación de campo, como se observa en la porción poniente y surponiente.

III.2.- Lineamientos magnéticos

Se interpretan cuatro sistemas de lineamientos magnéticos principales con rumbo NW-SE, NE-SW, N-S y E-W, los cuales se atribuyen a fallas de origen profundo que no siempre tienen manifestación superficial.

Los lineamientos magnéticos con rumbo NW-SE se localizan principalmente en la porción centro-nororiente de la carta, tienen 20 Km de longitud, controlan el emplazamiento de cuerpos intrusivos magnéticos y no magnéticos aflorantes y sepultados en varios distritos y regiones mineras tales como, Francisco I. Madero, Zacatecas, Pánfilo Natera, Ojo Caliente y Real de Asientos.

Hacia la porción surponiente se presentan lineamientos magnéticos NW-SE con longitudes de 45 Km, estos lineamientos se orientan paralelamente a la Provincia de la Sierra Madre Occidental.

Los lineamientos magnéticos con rumbo NE-SW se localizan en la porción centro-oriental de la carta e intersectan y desplazan al lineamiento magnético NW-SE.

En la porción centro-oriente se intersectan tres lineamientos magnéticos con rumbos NW-SE, NE-SW y N-S, constituyendo una amplia zona de intenso fallamiento en cuyo centro se presenta una depresión magnética relacionada con las rocas volcanosedimentarias del Terreno Guerrero y mineralización polimetálica.

Los lineamientos magnéticos de rumbo N-S se presentan en la porción oriental y tienen longitudes que varían de 15 a 30 Km, este sistema de lineamientos se atribuye a un evento distensivo que junto con la reactivación del sistema NE-SW, produjo un fallamiento normal con desarrollo de fosas tectónicas y bloques levantados, como es el caso de la Sierra de Zacatecas y la región de Pánfilo Natera-Real de Asientos al nororiente y oriente de la carta, respectivamente.

Los lineamientos magnéticos de rumbo E-W se presentan en las porciones norponiente, sur y oriente de la carta, tienen longitudes que varían

de 30 a 80 Km y se relacionan con afloramientos de rocas basálticas localizadas a lo largo de los lineamientos magnéticos.

III.4.- Zonas de interés geológico minero

Las principales zonas de interés exploratorio para la ocurrencia de mineralización polimetálica definidas a partir de la presente interpretación regional se asocian con los dominios magnéticos A_1, ubicados en la porción oriental y nororiental de la carta.

La franja mineralizada de mayor importancia se presenta en la porción nororiental; se relaciona con los dominios magnéticos A_1, B_1 y C y los lineamientos magnéticos de rumbo NW-SE. Las dimensiones de la franja son de 100 Km de longitud y 40 Km de ancho. El fallamiento regional NW-SE controla el emplazamiento de los cuerpos intrusivos aflorantes y sepultados.

En la región minera de Pánfilo Natera, se detectó un amplio monopolo magnético de rumbo N-S con dimensiones de 13 Km de longitud y 10 Km de ancho, está cubierto por aluvión y se correlaciona hacia el poniente con rocas graníticas no magnéticas. Se recomienda la exploración geofísica y geoquímica de la proyección superficial del contacto marginal del intrusivo interpretado.

Hacia su porción sur en el poblado de San Pablo, afloran rocas intrusivas subvolcánicas y volcanosedimentarias del Terreno Guerrero.

En la región minera de Tepezalá-Real de Asientos se definieron 2 zonas magnéticas anómalas en forma de dipolos localizadas en los poblados de Carrillo Puerto y Los Gorriones.

Con base en la continuación ascendente del campo magnético a 2000 m s.n.t. se interpretan a profundidad dos altos del basamento magnético en forma de pilar tectónico con orientación norte-sur. Es de interés su exploración ya que están relacionados al gran pilar tectónico de Tepezalá, donde existen afloramientos del Terreno Guerrero así como mineralización polimetálica.

En el distrito minero de Francisco I. Madero se presenta un amplio monopolo magnético de rumbo N-S con dimensiones de 10 Km de longitud y 8 Km de ancho. Se correlaciona al poniente con un pequeño afloramiento de diorita de hornblenda, el monopolo magnético se encuentra mayormente cubierto por rocas sedimentarias y volcanosedimentarias mesozoicas que constituyen una estructura anticlinal. Se recomienda la exploración sistemática de toda la superficie de 100 Km^2 que cubre la zona magnética anómala.

Al extremo nororiente, en los alrededores del poblado de Sauz de Calera se presentan dos dominios magnéticos A_1, están cubiertos por sedimentos clásticos recientes y delimitados por lineamientos magnéticos con rumbo NW-SE, se considera una zona de interés exploratorio por la presencia de mineralización polimetálica, además de la presencia de las rocas volcanosedimentarias del Terreno Guerrero.

En el extremo norte de la carta, se localiza el prospecto de Santa Rosa con mineralización polimetálica emplazada en rocas volcanosedimentarias del Terreno Guerrero interpretado como dominio magnético B_1; además de la mineralización polimetálica reconocida en los Mimbres, al norte de Calera San Miguel, en Chiquihuitillo y al norte de la población de Morelos. Es conveniente explorar esta amplia zona, ya que se interpreta que la cubierta volcánica terciaria es de poco espesor, lo cual aumenta las posibilidades de localizar mineralización polimetálica del tipo VMS en las rocas volcanosedimentarias del Terreno Guerrero.

En la porción centro poniente, al nororiente de la población de Minillas se presentan 6 manifestaciones de mineralización polimetálica relacionadas a un dipolo magnético incluido

dentro de un dominio magnético B_2, atribuible a rocas volcánicas máficas, las evidencias más profundas del Gran Graben de Mezquitic; por lo que resulta de interés investigar la posibilidad de que existan estructuras mineralizadas dentro de la secuencia volcánica inferior de la provincia de la Sierra Madre Occidental donde es más común encontrar depósitos minerales de rendimiento económico.

En la porción centro-oriente de la carta, al poniente de Ojo Caliente, Zac. se intersectan tres lineamientos magnéticos con rumbos NW-SE, NE-SW y N-S, constituyendo una amplia zona de intenso fallamiento relacionada a una depresión magnética, existen rocas volcanosedimentarias y mineralización polimetálica. Es conveniente realizar estudios detallados para definir el potencial minero de esta zona.

Al norponiente del distrito minero de Zacatecas, en las inmediaciones de la población de Sauceda de la Borda, dentro de una zona de graben, se detectó un amplio monopolo magnético atribuible a un intrusivo magnético sepultado por sedimentos clásticos recientes. Esta estructura podría estar relacionada con los depósitos minerales del distrito mencionado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, D.G.J., and Mc Dowell, F.W., 1991. The volcanic section at Nazas, Durango, Mexico, and the possibility of widespread Eocene volcanism within the Sierra Madre Occidental. Journal of Geophysical Research V. 96, No. 88, p. 13373 - 13388.

Albinson, T., 1995. Bosquejo de evolución estructual e hidrotermal del distrito de Zacatecas XXI Conv. Nac. AIMMGM, A.C. 9p.

Aranda, G.J.J., 1989. Geología preliminar del Graben de Aguascalientes. UNAM. Inst. de Geol. Revista V.8-1, p. 22-32.

Aranda, G.J.J., Aranda, G.J.M. y Nieto, S.A.F., 1989. Consideraciones acerca de la evolución tectónica durante el Cenozoico de la Sierra de Guanajuato y la parte meridional de la Mesa Central. UNAM. Inst. de Geol. Revista V.8, No. 1, p. 33-46.

Aranda, G.J.J., Luhr, J.F. y Pier, J.G., 1993. Geología de los volcanes cuaternarios portadores de xenolitos del manto y de la base de la corteza en el estado de San Luis Potosí, México. UNAM. Inst. de Geología. Boletín 106, parte 1, p. 1-22.

Araujo, M.J. y Arenas, P.R., 1986. Estudio tectónico-sedimentario, en el Mar Mexicano estados de Chihuahua y Durango. Bol. Soc. Geol. Mexicana. Tomo 47, Vol. 2, p. 43-87.

Briggs, I.C., 1974. Machine contouring using mínimum curvature (spline). Geophysics. Vol. 39 No. 1. p. 34-42.

Burckhardt, C., and Scalia, S., 1906. Geologie des environs de Zacatecas. Inst. Geol. Cong. X, Mexico. Guide Exc. No. 16, 25 p.

Campa, M.F. and Coney, P.J., 1983. Tectono-stratigraphic terranes and mineral resources distributions in Mexico. Canadian Journal of Earth Sciences V. 26, p. 1040-1051.

Cantú Ch., C.M., 1974. Una nueva localidad del Cretácico Inferior en México. Rev. Inst. Mexicano del Petróleo. Vol. VI, No. 4, p. 51-55.

Carrillo, B.J., 1971. La Platafoma Valles-San Luis Potosí. Bol. Asoc. mex. de Geólogos Petroleros, V. 23, No.s 1-6, p. 1-112.

Centeno, G.E., Ruíz, J., Coney, P.J., Patchett, P.J. and Ortega, G.F., 1993.Guerrero Terrane of Mexico, its role in the southern Cordillera from new geochemical data. Geology V. 21, p. 419-422.

Centeno, G.E., y Silva, R.G., 1993b. Geology of the San Luis Potosí-Zacatecas región, northeasten limit of the Guerrero Terrane. In Pre-Mesozoic basament of NE Mexico, lower crust and the northern Guerrero Terrane, Guidebook of Field tipo A. p. 59-65. UANM. Inst. Geol. First Circum Pacific and Circum Atlantic Terrane Conference, Guanajuato, Mexico.

Chávez, P.H., Espinoza, A.E., y Arredondo, C.F., 1995. Geología y Yacimientos minerales del distrito Real de Asientos, estado de Aguascalientes, XXI Conv. Nac. AIMMGM, A.C. 21 p

Clark, K.F., Foster, C.T., and Damon, P.E., 1982. Cenozoic mineral deposits and subduction-related magmatic arcs in Mexico. Geol. Soc. of America Bull., V 93, p. 533-544.

Consejo de Recursos Minerales, 1991. Monografía geológico-minera del estado de Zacatecas. SEMIP Publicación M-2e. 154 p.

Consejo de Recursos Minerales, 1997. Carta Geológico-Minera Hoja Zacatecas F13-6, escala 1:250 000. SECOFI. 1a. Impresión.

Cumming, G.L., Kesler, S.E., and Krstic, D., 1979. Isotopic composition of lead in Mexican mineral deposits. Economic Geology, V. 74, p. 1395-1407.

Dávial, A.V.M., Martínez, R.J. y Mitre, S.L.M., 1989. Las rocas pre-cretácicas del estado de Aguascalientes y su entorno estratigráfico. UNAM. Inst. de Geología. Tercer Simposio Sobre Geología Regional de México. Memoria p. 20-23.

Davison, I., 1994. Linked fault system; extensional, strike-slip and contractional in Continental Deformation. Ed. Hancock, P.L. Pergamon Press. p.121-142.

De Cserna, Z., 1976. Geology of the Fresnillo, Zac., Mexico. Geol. Soc. America Bull. V. 87, p. 1191-1199.

Ferrusquía, V.I., 1987. Reubicación geocronológica del conglomerado Guanajuato basada en nuevos mamíferos. UNAM. Inst. de Geología. Simposio sobre la geología de la región de la Sierra de Guanajuato, Guanajuato, Gto. Programa, resumen y guía de excursión p. 21-23.

Grajales, N.M., Terrell, D.J., and Damon, P.E., 1992. Evidencias de la prolongación del Arco Magmático Cordillerano del Triásico Tardío-Jurásico en Chihuahua, Durango y Coahuila. Bol. Asoc. Mex. Geol. Petroleros. Vol . 42, No. 2, p.1-18.

Gutiérrez, A.M., 1908. Las capas cárnicas de Zacatecas. Bol. Soc. Geol. Mexicana. Tomo IV, p. 29-35.

Henry, C.D. and Aranda, G.J.J., 1992. The real Southern Basin and Range: Mid-to late Cenozoic extensión in Mexico. Geology, V. 20, p. 701-704.

Huspeni, J.R., Kesler, S.E., Ruíz, J., Tuta, Z., Sutter, J.F. and Jones, L.M., 1984. Petrology and geochemistry of rhyolites associated with tin mineralization in northern Mexico. Economic Geology, V. 79, p. 87-105.

IAGA, Division V, Working Group 8 (R.A. Langel, Chairman), 1992. International Geomagnetic Reference Field. Revision 1991. Geophysics. Vol. 57. num 57, p. 956-959.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1987. CartaTopográfica Zacatecas F13-6, esc. 1:250 000. 2a. Impresión.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1982. Carta Geológica Zacatecas F13-6, esc. 1:250 000. 1a. Impresión.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI) 1995. Espacio mapa Zacatecas Hoja F13-6, escala 1:250 000. 1a. Impresión.

Lapierre, H., Ortíz, H.E., Abouchami, W., Monod, O., Coulon, C., and Zimmermann, J.L., 1992. A crustal section of an intra-oceanic island arc: The late Jurassic-Early Cretaceous Guanajuato magmatic sequence, central Mexico. Earth and Planetary Science Letters. V. 108, p. 61-77.

López, I.M., 1986. Estudio petrogenético de las rocas ígneas en las formaciones Huizachal y Nazas. Bol. Soc. Geol. Mexicana. T. 47, V. 2, p. 1-42.

Maldonado, K.M., 1948. Nuevos datos geológicos y paleontológicos sobre el Triásico de Zacatecas. Anales de la Esc. Nac. de Ciencias Biol. V. 5, p. 291-396.

Mapes, V.E., 1949. Los criaderos minerales de "El Bote", Zacatecas, Zac. México. Inst. Nac. Inv. Rec. Minerales. Bol. 24, 39 p.

Mc Dowell, F.W. and Keizer, R.P., 1977. Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango City and Mazatlan, Mexico. Geol. Soc. of America. Bull. V.88, p. 1479-1487.

Mc Dowell, F.W. and Clabaugh., S.E., 1979. Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico. Geol. Soc. America. Special Paper 180. p. 113-124.

McGehee, R.V., 1976. Las rocas metamórficas del arroyo de la Pimienta, Zacatecas, Zac. Bol. Soc. Geol. Mexicana 37 (1), p. 1-10.

Miranda, G.M.A., 1995. The volcanogenic massive sulfide and sedimentary exhalative deposits of the Guerrero Terrane, Mexico. Ph. D. Thesis. The University of Arizona. Unpubl.

Mitre, S.L.M., Dávila, A.V.M., y Martínez, R.J., 1989. Relaciones estructurales de la megafalla "Aguascalientes-León" con las fosas tectónicas de Calvillo y Tabasco,estados de Aguascalientes y Zacatecas. UNAM. Inst. de Geol. Tercer Simposio sobre Geología Regional de México. Memoria p. 86-87.

Monod, O., and Calvet, P., 1992. Structural and stratigraphic reinterpretation of the Triassic units near Zacatecas (Zac.), Central Mexico: Evidence of a Laramide nappepile Zbl. Geol. Paläont. Teil I, h-6, p. 1533-1344.

Monod, O., 1993. Pre-eocene tectonics in the Zacatecas area-An imbrication of Triassic and Cretaceous units. In Pre-Mesozoic basement of NE Mexico. Lower crust and mantle xenolits of central Mexico and the Northern Guerrero Terrane. Guidebook of field Trip A. p. 67-73. UNAM. Inst. de Geol. First Circum Pacific and Circum Atlantic Terrane Conference, Guanajuato, Mexico.

Mooser, O., 1959. La fauna "Cedazo" del Pleistoceno en Aguascalientes. UNAM. Inst. de Biología. Anales v. 29, p. 409-452.

Ortíz, H.E., Yta, M., Talavera O., Lapierre, H., Monod, O. and Tardy M., 1991. Origine intra-oceanique des formations volcanoplutoniques d´arc du Jurassique superieur Cretace inferior du Mexique centro-meridional. Paris, Comptes Rendus, L´Acodémie des Sciences, Serie II, V. 312, p. 399-406.

Ponce, B.F.; 1985. Caldera development and economic mineralization in the Zacatecas Mining. District, Zacatecas, Mexico. Thesis Master of Science in Geology The University of Texas a El Paso. 267 p. Unpubl.

Pérez, M.J.J., Mapes, V.E., Pesquera, V.R., 1961. Bosquejo Geológico del Distrito Minero de Zacatecas. CRNNR. Bol. 52. 40 p.

Raiz, E., 1964. Landforms of Mexico. Cambridge, Mass., U.S. Office of Naval Research, Geography Branch, Map and text. scale 1:3,000.000. 2nd. Edition.

Ranson, W.A., 1975. Geology and petrology of portions of the Zacatecas and Guadalupe Quadrangles, Zacatecas, Mexico. M.S. Thesis, Univ. New Orleans. 83 p. Unpubl.

Roesler, T.A., Fernández, L.A. and Enciso de la V.S., 1994. Geology and stratigraphy of the Tepechitlan area, Zacatecas, Mexico. Bol. Depto. Geol. Uni-Son. Vol. 11, No. 1, p. 31-62.

Ruíz, J., Patchett, P.J. and Ortega, G.F., 1988. Proterozoic and Phanerozoic basement terranes of Mexico from Nd isotopic studies. Geol. Soc. of America Bull. V 100, p. 274-281.

Sedlock, R.L., Ortega., G.F. and Speed, R.C., 1993. Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. Geol. Soc. of America. Special Paper 278, 153 p.

Servais, M., Cuevas, P.E. ando Monod, O., 1986. Une section de Sinaloa a San Luis Potosí: nouvelle approche de L´evolution du Mexique nordoccidental. Bulletin de la Societe Geologique de France, Serie 8, V.2, p. 1033-1047.

Silva, R.G., Arellano, G.J. y Mendoza, R.C.C., 1993. El papel de la secuencia marina triásica en la evolución Jurásica del norte de México. In proceedings of the first Circum Pacific Terrane Conference. Ed. Ortega, G.F., et. al., UNAM. Inst. de Geol. p. 139-143.

Tardy, M. and Maury, R., 1973. Sobre la presencia de elementos de orígen volcánico en las areniscas de los flyschs de edad Cretácica Superior de los estados de Coahuila y Zacatecas. Soc. Geol. Mexicana. Bol. 34 1 y 2 p. 5-12.

Torres, H.J.R. y Tristán, G.M., 1994. La estratigrafía de la parte oriental del Altiplano Mexicano; el registro sedimentario de una margen pasiva (divergente) durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior. XXII Conv. Geol. Nacional. Soc. Geol. Mexicana. Resumenes. p. 186.

Urrutia, F.J. and Campos, E.J.Q., 1993. Geomagnetic secular variation central Mexico since 1923 AD and comparision with 1945-1990 IGRF models, Journal Gomag. Geoelect., 45. p. 1-7.

Wark, D.A., 1991. Oligocene ash flow volcanism, northern Sierra Madre Occidental: role of mafic and intermediate-composition magmas in rhyolite genesis. Jour. of Geoph. Research V. 96. No. B8. p. 13389-13411.

Webber, K.L., Fernández, L.A. and Simmons, W.B., 1994. Geochemistry and mineralogy of the Eocene-Oligocene volcanic sequence, southern Sierra Madre Occidental, Juchipila, Zacatecas, Mexico. Geofísica Internacional. V. 33. p. 77-89.

Yta, M., Lapierre, H., Monod, O., and De Wever, P., 1991. Magmatic and structural characteristics of the lower Cretaceous arc-volcanosedimentary sequences of Saucito-Zacatecas-Fresnillo (Central Mexico): Abstracts, 12th Geowissenschaftliches-lateinamerika-kolloquium, Ludwig Maximilians Universität, Munich.

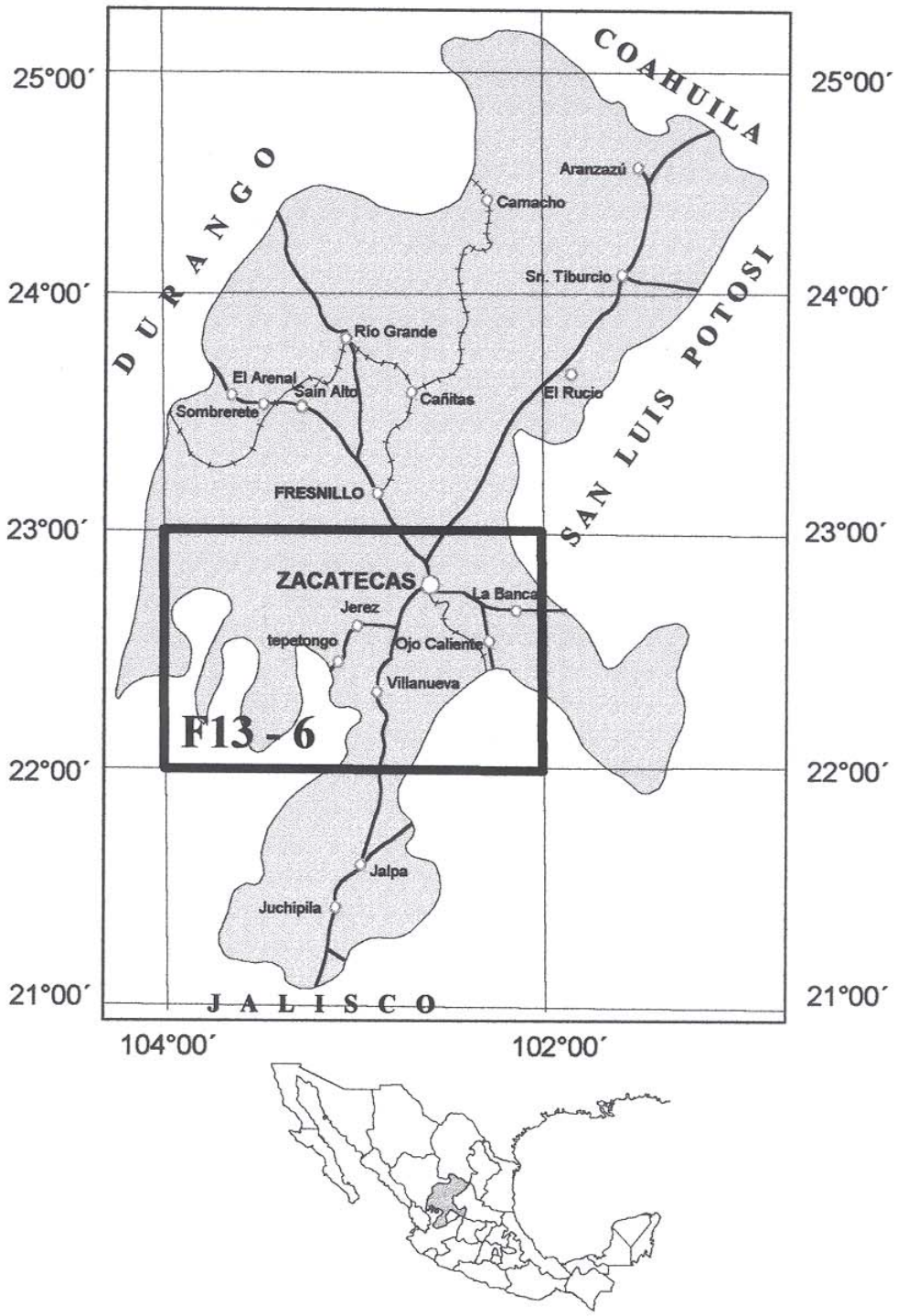


FIGURA 1.- MAPA DE LOCALIZACIÓN

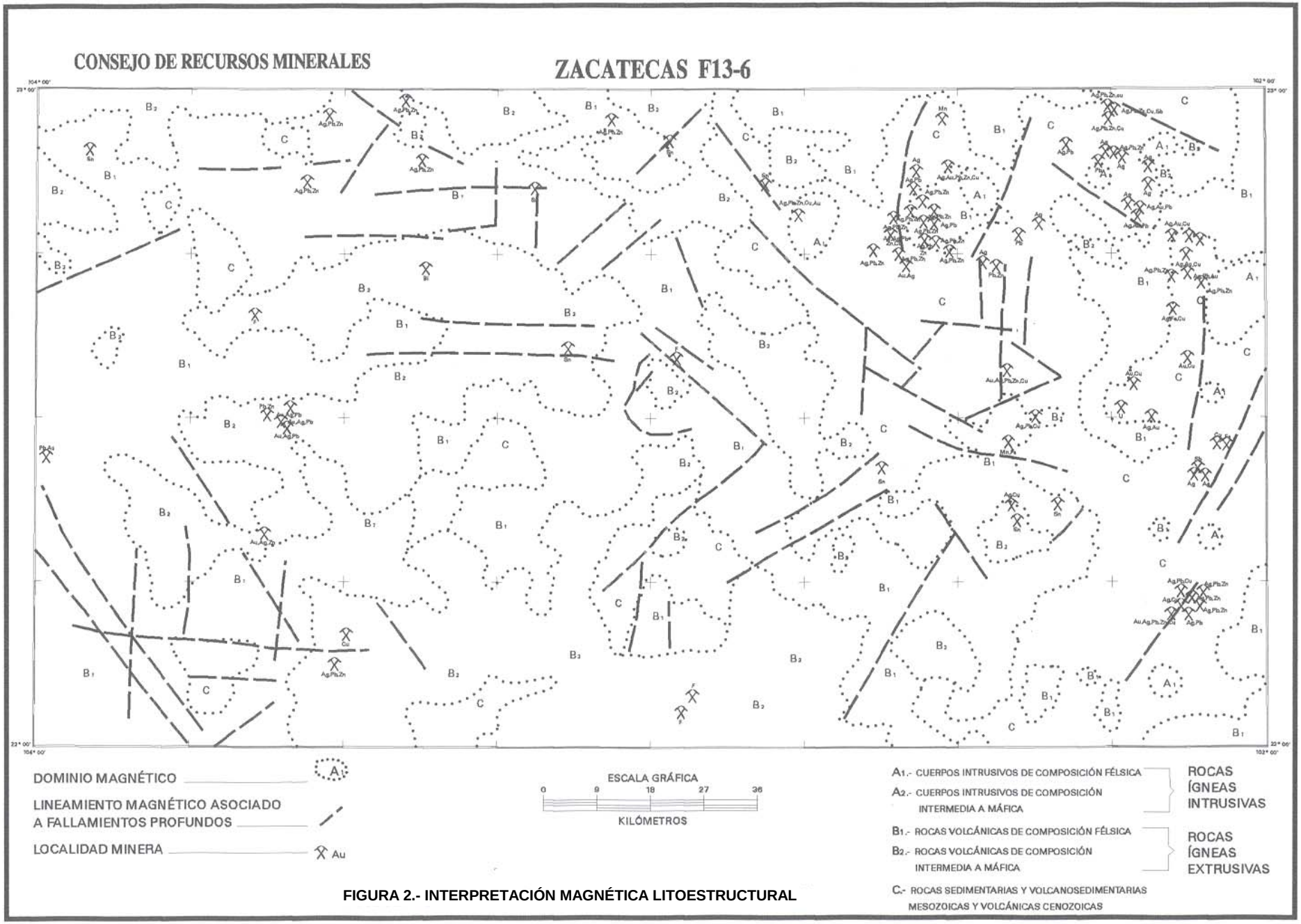
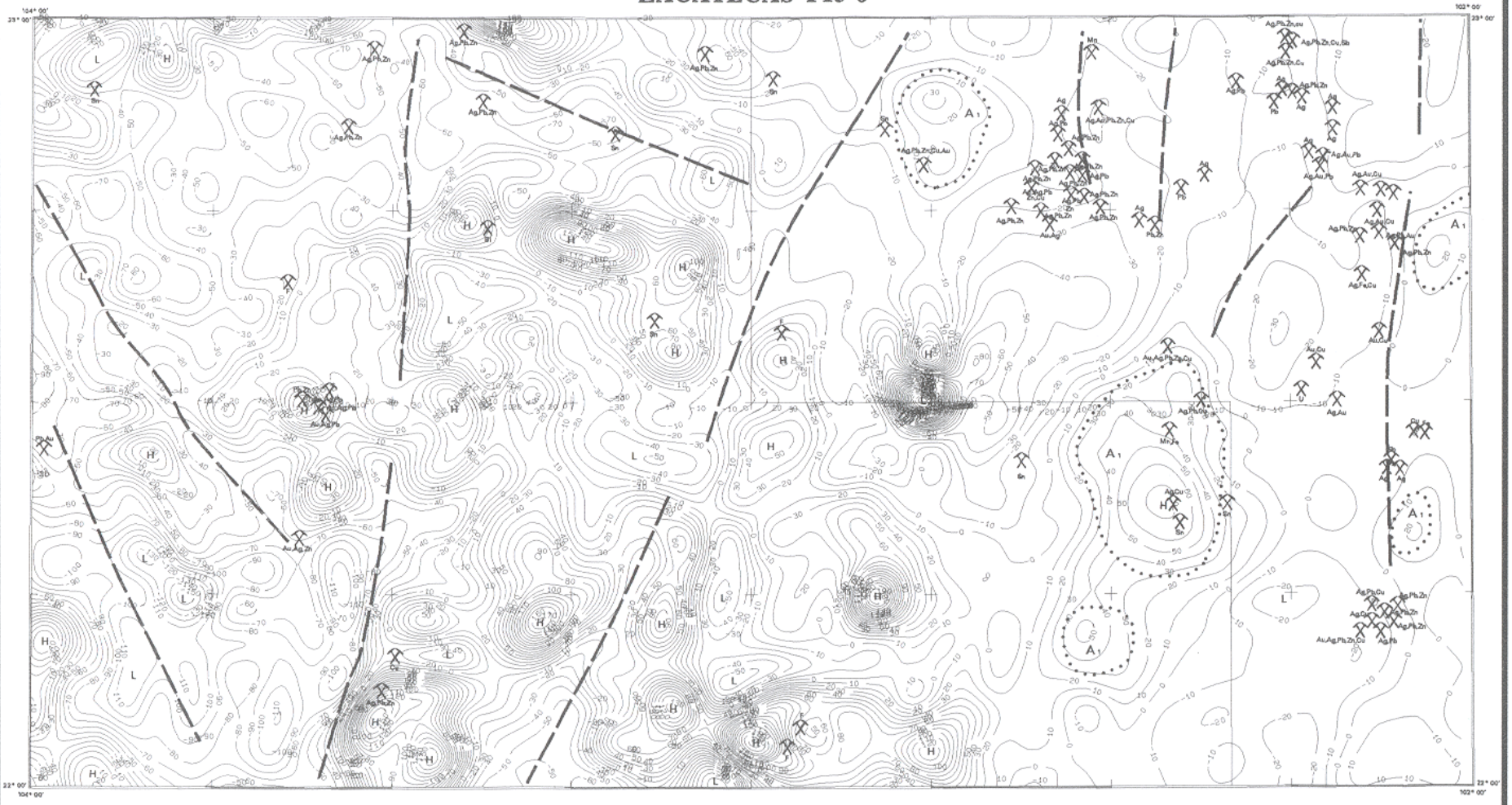


FIGURA 2.- INTERPRETACIÓN MAGNÉTICA LITOESTRUCTURAL

CONSEJO DE RECURSOS MINERALES

ZACATECAS F13-6



INTRUSIVO OCULTO ____ A1

LINEAMIENTO MAGNÉTICO PROFUNDO ____ — — — —

ESCALA GRÁFICA

0 9 18 27 36

KILÓMETROS

CURVAS DE CONTORNO CADA 10 nT.

ALTO MAGNÉTICO ____ H

BAJO MAGNÉTICO ____ L

LOCALIDAD MINERA ____ Au,Ag

FIGURA 3.- REDUCCIÓN AL POLO Y CONTINUACIÓN ASCENDENTE DEL CAMPO MAGNÉTICO A 2000 m. SOBRE EL NIVEL DEL TERRENO