



CONSEJO DE RECURSOS MINERALES

CARTA MAGNÉTICA CULIACÁN G13-10 ESTADOS DE SINALOA Y DURANGO ESCALA 1:250 000

TEXTO GUÍA

POR: Ings. César Alam Hernández Ramón Mérida Montiel Israel Hernández Pérez

MÉXICO, 1999.

SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL COORDINACIÓN GENERAL DE MINERÍA

*Editada por el Consejo de Recursos Minerales © Primera Edición 1999. Derechos Reservados

ÍNDICE

	_		
RI	=รเ	IM	FΝ

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES

- 1.1. INTRODUCCIÓN
- 1.2. FUENTES DE INFORMACIÓN
- 1.3. PARÁMETROS Y EQUIPO UTILIZADO EN LOS LEVANTAMIENTOS
- 1.4. PROCESAMIENTO DE DATOS
- 1.5. CARACTERÍSTICAS DE LA CARTA MAGNÉTICA

CAPÍTULO II.- SÍNTESIS GEOLÓGICA

CAPÍTULO III.- DISCUSIÓN DE LA INTERPRETACIÓN REGIONAL

ÍNDICE DE FIGURAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RESUMEN

El Consejo de Recursos Minerales realiza el Programa de Infraestructura Geológico-Minera dentro del cual se lleva a cabo el cubrimiento aeromagnético sistemático de las áreas con mayor potencial minero en el territorio nacional con el propósito de conocer las condiciones geológicas y estructurales del subsuelo que permitan descubrir yacimientos minerales ocultos.

Dentro de este programa se llevó a cabo el levantamiento aeromagnético de la hoja Culiacán G13-10 a escala 1:250,000 con formato cartográfico INEGI, la cual se localiza en la parte central del estado de Sinaloa y porción centro occidental del estado de Durango, con una superficie de 18,576 Km².

El levantamiento magnético se realizó con avión en dos etapas: la primera se llevó a cabo durante 1978 a una altura promedio de 300 m con líneas de rumbo N 11º E y separación de 1,000 m; la segunda etapa se efectuó en 1997 con los mismos parámetros excepto que las líneas de vuelo tuvieron una dirección N-S.

Los datos geofísicos se presentan (en la carta magnética) como curvas de contorno del campo magnético total a cada 20 nT indicando su intensidad con contrastes de color. La interpretación litológica y estructural de la carta magnética se explica en el presente texto guía.

Las rocas más antiguas de la región son metasedimentos precretácicos cubiertos discordantemente por una secuencia volcanosedimentaria y calizas arrecifales del Cretácico Inferior que a su vez están cubiertas por un Complejo Volcano-Plutónico de edad Cretácico Superior-Eoceno y una secuencia de rocas volcánicas félsicas oligocénicas, todas ellas afectadas por intrusiones graníticas de diferentes edades que constituyen el Batolito de Sinaloa.

Los sistemas de fallas más importantes tienen una dirección NE-SW y NW-SE; el primero controló el emplazamiento de las andesitas eocénicas e intrusivos asociados y el segundo controló la emisión del volcanismo félsico oligocénico y la extensión Cuencas y Sierras, ambos sistemas influyeron en el emplazamiento de las estructuras vetiformes epitermales.

Los yacimientos minerales de la región están íntimamente relacionados a las diferentes intrusiones graníticas terciarias y al volcanismo félsico oligocénico y sus calderas asociadas. Los de mayor volumen son los tipo skarn aunque los distritos mineros de vetas epitermales de Ag y Au son más numerosos y de mayor distribución.

La interpretación cualitativa regional de la carta define 5 dominios magnéticos (A₁, A₂, B₁, B₂ y C), que indican la distribución superficial y a profundidad de las principales unidades geológicas así como varios lineamientos magnéticos indicativos de fallas profundas y un curvolineamiento que indica un posible centro volcánico o domo intrusivo.

La identificación de los diferentes rasgos magnéticos junto con el marco geológico-estructural y los modelos de mineralización regional de la carta permitieron seleccionar 6 zonas prospectivas con características geológico-geofísicas y mineras favorables para contener yacimientos polimetálicos asociados a los dominios A₂ y A₁, así como a lineamientos magnéticos.

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La dificultad cada vez mayor para la localización de vacimientos minerales ocultos en el subsuelo, hace necesario el empleo de técnicas indirectas de exploración, como son: geofísica. geoquímica e imágenes de satélite, las cuales representan valiosas herramientas, que deben utilizarse en conjunto para lograr exitosas campañas de exploración encontrar vacimientos conduzcan а minerales de rendimiento económico.

El Consejo de Recursos Minerales tiene, entre sus funciones, la misión de elaborar cartas geofísicas aeromagnéticas de las zonas con mayor potencial minero en el territorio nacional. La carta magnética Culiacán G13-10, escala 1:250,000, forma parte de una serie de publicaciones dentro de este programa, las cuales aportan información básica que permite fundamentar futuras exploraciones.

En la interpretación cualitativa de la presente carta se lograron definir, a nivel regional, las expresiones magnéticas más evidentes como son: la distribución y configuración de las rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias, así como contactos litológicos ocultos y zonas de falla profundas.

1.2 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 de 1978 y 1997. Los datos del primer levantamiento se compilaron mediante un proceso analógico para generar mapas aeromagnéticos de

intensidad total a escala 1:50,000. La información obtenida en el año de 1997, se procesó directamente de la grabación digital del equipo aerogeofísico.

La información cartográfica básica se digitalizó a partir de distintas cartas temáticas de INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1985).

1.3 PARÁMETROS Y EQUIPO UTILIZADO EN LOS LEVANTAMIENTOS

Con objetivos mineros, durante 1978 se efectuaron levantamientos aeromagnéticos de contorno, con una altura promedio sobre el terreno de 300 m, en líneas de rumbo N 11º E y separación de 1,000 m. La identificación de las trayectorias de vuelo se llevó a cabo mediante el sistema de navegación visual.

En esta primera etapa se empleó un avión Islander BN-2B, con un magnetómetro de protón marca Geometrics G-803 con sensibilidad de 0.25 nT (nanoteslas).

En los vuelos realizados en 1997, se utilizaron los mismos parámetros a excepción del rumbo de las líneas de exploración que fue N-S. En este caso, el posicionamiento de las trayectorias de vuelo se llevó a cabo mediante el sistema de navegación por satélite (GPS), utilizando el módulo PNAV 2001 y procesador Novatel.

Este levantamiento se realizó con un avión bimotor Islander BN-2B, utilizando un sensor magnético fijo de vapor de Cesio marca Scintrex CS-2 con sensibilidad de 0.001 nT.

1

1.4 PROCESAMIENTO DE DATOS

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

a) Integración de la información aeromagnética

Los datos de los mapas aeromagnéticos digitalizados y los datos de los vuelos recientes se procesaron e integraron mediante el software Geosoft, generándose una rejilla de datos con un tamaño de celda de 500 x 500 m. El equipo utilizado fue una estación de trabajo Sun Ultrasparc II, con disco duro de 4.2 Gb, 262 Mb de RAM y velocidad de 300 Mhz.

b) Obtención de datos corregidos por el campo geomagnético

Según los datos del observatorio de Teoloyucan, México, obtenidos para el período de 1923 a 1987, el campo geomagnético de 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 el caso de la carta Culiacán G13-10, a los datos aeromagnéticos se les sustrajo el valor del campo geomagnético, tomando en cuenta la posición geográfica del área, las fechas de levantamiento y la altura de vuelo. Esta corrección se realizó utilizando el valor de IGRF 95 (Campo Geomagnético de Referencia Internacional) adoptado por la Asociación Internacional de Aeronomía y Geomagnetismo (IAGA, División V, Working Group 8, 1992).

c) Generación del Mapa

Con la finalidad de obtener el mapa a escala 1:250,000 los datos de la carta magnética se integraron en un archivo de coordenadas x,y,z, empleándose el algoritmo de interpolación de mínima curvatura (Briggs, 1974); para la generación de curvas de contorno cada 20 nT, se utilizó el software Arc-Info.

d) Graficación

El desplegado gráfico se realizó en un graficador de inyección de tinta a color marca Hewlett Packard 755CM. Este mapa preliminar se utilizó para la interpretación y revisión de los valores magnetométricos previos a la edición e impresión final.

1.5 CARACTERÍSTICAS DE LA CARTA MAGNÉTICA

La información magnética contenida en la carta Culiacán G13-10, escala 1:250,000 con formato cartográfico INEGI, comprende una superficie de 18,576 Km² y cubre la porción central del estado de Sinaloa y centro-occidental del estado de Durango (Figura 1).

La edición cartográfica se efectuó con el software Arc-Info. Los intervalos de color de las curvas isomagnéticas se seleccionaron a cada 80 nT, indicando los bajos magnéticos en tonos de azul y verde y los altos en tonos rojos como se indica en el espectro de valores de la carta; con la finalidad de visualizar fácilmente las anomalías dipolares, monopolares y los gradientes magnéticos,

las curvas de contorno se graficaron a cada 20 nT.

En la base cartográfica se indican las principales carreteras, ríos y ciudades. La carta está referida al sistema de coordenadas geográficas y a la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM).

CAPÍTULO II.- SÍNTESIS GEOLÓGICA

La carta Culiacán G13-10 se ubica en la parte central del estado de Sinaloa y en una parte del extremo occidental de Durango (Figura 1).

Fisiográficamente la mitad occidental de la carta pertenece a la provincia Llanura Costera y Delta de Sonora y Sinaloa en la porción norponiente y Llanura Costera de Mazatlán hacia el centro sur.

La mitad oriental comprende la provincia de la Sierra Madre Occidental que se divide en las subprovincias Pie de la Sierra, que constituye una franja de 50 Km de ancho paralela a la planicie costera, Gran Meseta y Cañones Duranguenses y por otra parte las Mesetas y Cañadas del Sur que comprende el extremo suroriente de la carta (Escamilla et al., 1997).

La edad de las rocas que afloran dentro de la superficie de la carta varía desde el Paleozoico Superior (?) hasta el Holoceno predominando las rocas graníticas del Batolito de Sinaloa (Henry, 1975), las volcánicas félsicas oligocénicas y los sedimentos clásticos continentales del Terciario Superior y Cuaternario (Escamilla et al., op. cit).

Estratigrafía

Paleozoico Superior (?) Jurásico (?)

La unidad más antigua dentro de la carta es una secuencia de metasedimentos constituida por areniscas, lutitas y areniscas calcáreas con metamorfismo de bajo grado que las ha transformado en filitas y pizarras negras, esquistos de sericita y cuarcitas con algunos horizontes conglomeráticos y de rocas metavolcánicas de composición intermedia (Henry, 1975; Henry y Fredrikson, 1987; Escamilla et al., 1997).

Estos metasedimentos afloran al oriente de Culiacán formando parte de bloques levantados limitados por fallas NW-SE y en el sector nororiente de la carta a todo lo largo del Río San Lorenzo, constituyen la principal roca encajonante de las vetas epitermales en los distritos mineros de San Miguel del Cantil, San Andrés de la Sierra y Montoros; al surponiente de Jocuixtita afloran pequeñas ventanas de esta unidad.

Se desconoce su espesor ya que no aflora su base y están afectados por intrusivos graníticos del Batolito de Sinaloa y cuerpos subvolcánicos postbatolito; están cubiertos discordantemente por andesitas y calizas cretácicas y rocas volcánicas terciarias.

La edad de esta unidad aún no ha sido bien definida, ya que no se han identificado fósiles; algunos autores la consideran del Paleozoico Superior por su semejanza litológica con las rocas sedimentarias de San José de Gracia que contienen fósiles del Carbonífero (Malpica, 1972).

Otros autores consideran que estas rocas son de edad Jurásico Medio a Tardío ya que cubren discordantemente a un gneis cuarzodiorítico al norte de Mazatlán y están intrusionadas por rocas máficas y ultramáficas de 139 y 134 Ma (Henry y Fredrikson 1987); esta secuencia se depositó en un ambiente de arco volcánico al surponiente del Cratón de Norteamérica, del cual se derivaron (Sedlock et al., 1993).

Sistema Cretácico

Está representado por una secuencia volcanosedimentaria constituida por sedimentos clásticos calcáreos, derrames y tobas andesíticas con metamorfismo de bajo grado que afloran en la parte central, al nororiente de Cosalá, Sin. y al oriente de la Presa El Comedero.

Estas rocas cubren discordantemente a los metasedimentos precretácicos y están cubiertas por calizas arrecifales del Albiano por lo que su edad se considera del Cretácico Inferior.

Una secuencia de calizas arrecifales con cantidades menores de lutitas y areniscas aflora en la parte centro poniente de la carta en Santa Cruz de Alayá, Veinte Onzas y en los alrededores de Cosalá, Sin. Otros afloramientos aislados ocurren al nororiente de Culiacán y en el extremo centro oriental de la carta.

Las calizas cubren discordantemente a la secuencia volcanosedimentaria y constituyen los remanentes de erosión de una cuenca sedimentaria que forma un bloque levantado, con dirección NE-SW, por la intrusión del Batolito de Sinaloa; fuera de este bloque, los afloramientos de calizas arrecifales son muy raros ya que están cubiertos por rocas volcánicas terciarias; la edad de las calizas ha sido definida por fósiles del Albiano al Cenomaniano Temprano (Bonneau, 1969; Holguin, 1978).

Estas calizas son importantes ya que están afectadas por intrusiones graníticas asociadas a mineralización metasomática de Ag, Pb, Zn, Cu, en la región de Cosalá (Escamilla et al., 1997).

Dentro de la carta no se conocen rocas sedimentarias marinas de la parte final del Cretácico Superior ya que la región fue levantada y se considera que nunca se depositaron y en su lugar se emplazaron rocas volcánicas andesíticas de carácter continental.

Sistema Terciario

Está representado por rocas volcánicas félsicas a máficas, intrusiones plutónicas y subvolcánicas graníticas y sedimentos clásticos continentales siendo las de mayor distribución las rocas volcánicas félsicas oligocénicas.

Las rocas más antiguas del sistema Terciario consisten de una gruesa secuencia de derrames, brechas y tobas andesíticas con cantidades menores de riolitas e ignimbritas y troncos subvolcánicos asociados que en conjunto están fuertemente alteradas (propilitización) y falladas.

Esta secuencia aflora en toda la carta, principalmente en el sector suroriente donde alcanza su mayor espesor, superior a 1,500 m, en los alrededores de Tayoltita, Dgo., y constituyen la principal roca encajonante de la mineralización epitermal en los distritos mineros de Guadalupe de Los Reyes, Chacala, Montoros, San Diego de Tezáens, Santa Cruz, Jocuixtita y Campanillas (Escamilla et al., 1997).

Cubre discordantemente a los metasedimentos y rocas cretácicas y está afectada por el Batolito de Sinaloa constituyendo en varias localidades remanentes de erosión sobre el batolito.

La edad de esta secuencia comprende un amplio período de actividad volcánica que se inicia desde fines del Cretácico Superior, ya que algunos derrames andesíticos alternan con sedimentos marinos en algunas localidades, fuera de la carta (Henry, 1975), y alcanza su clímax durante el Eoceno.

Esta serie volcánica fue denominada como Grupo Volcánico Inferior (McDowell y Clabaugh, 1981) y recientemente se ha reconocido como parte de un extenso vulcanismo que se extendió por todo el noroeste de México alcanzando su máximo durante el período de 53 a 41 Ma, en la región de Durango, inmediatamente al oriente de la carta (Aguirre y McDowell, 1991).

Las andesitas eocénicas están cubiertas por rocas epiclásticas, areniscas, limolitas y conglomerados finos de color rojizo que evidencian un período de intenso fallamiento y erosión (Henry y Fredrikson, 1987) ya que se depositan en fosas tectónicas limitadas por fallas NW-SE a lo largo de la subprovincia Pie de la Sierra, en la parte central de la carta.

Cubriendo discordantemente a todas las rocas anteriores y al batolito de Sinaloa se tiene una potente serie volcánica constituida por tobas y derrames riolíticos, ignimbritas, flujos piroclásticos, localmente lechos rojos y hacia la cima horizontes de andesitas basálticas cogenéticas. Todo el conjunto alcanza espesores de hasta 1,500 m y está afectado por diques, pequeños troncos y cuerpos subvolcánicos graníticos andesíticos que constituyen el Supergrupo Volcánico Superior cuya edad comprende un intervalo de 32 a 23 Ma (McDowell y Keizer, 1977).

Esta unidad forma extensas mesetas y generalmente corona las partes topográficas más altas de la Sierra Madre Occidental; es la de mayor distribución dentro de la carta y contiene mineralización epitermal en su

base en los distritos mineros de San Diego Tezáens, Santa María de Otáez, San Juan de Camarones, Guadalupe de los Reyes, Sierra de Alapa y El Tambor (Escamilla et al., 1997).

En la parte central de la carta se tienen depósitos clásticos continentales constituidos por conglomerados derivados de las rocas volcánicas félsicas que rellenan fosas tectónicas producto del fallamiento normal NW-SE de la tectónica extensional Cuencas y Sierras de 13 a 12 Ma (Henry y Aranda, 1992).

Los principales afloramientos se ubican al poniente de Guadalupe de los Reyes y en la región Portezuelo-Conitaca al centro-sur de la carta.

En la Huerta de Alayá, parte central de la carta, afloran andesitas basálticas que corresponden a un bloque hundido limitado por fallas NW-SE posiblemente asociadas a la apertura del moderno Golfo de California (Lyle y Ness, 1991).

Sistema Cuaternario

En el margen poniente de la Sierra, donde se inicia la Planicie Costera, afloran extensos derrames de basaltos cuaternarios (?) emitidos a través de aparatos volcánicos, controlados por fallas NW-SE que representan la ultima actividad magmática de la región.

Una serie de sedimentos clásticos constituidos por arenas, gravas, arcillas y limos se depositan en fosas intermontanas, valles fluviales y alcanzan su mayor distribución en la parte poniente de la carta donde forman la Planicie Costera, una franja de hasta 50 Km de ancho que se extiende hacia la costa y está en proceso de crecimiento como lo indica la morfología cambiante de barras, bahías y ensenadas que caracterizan a este sector de la costa.

Rocas Ígneas Intrusivas

Estas rocas tienen una amplia distribución dentro de la carta y consisten de batolitos, troncos, cuerpos subvolcánicos y diques cuya composición varía desde granito a pórfidos andesíticos, predominando las granodioritas y en conjunto constituyen el llamado Batolito de Sinaloa (Henry, 1975).

Las rocas intrusivas afloran principalmente hacia la costa, en la subprovincia Pie de la Sierra como producto del levantamiento e intensa erosión que ha sufrido esta región; hacia el oriente están cubiertas por rocas volcánicas terciarias, aflorando esporádicamente en el fondo de las barrancas como ventanas de erosión.

En el sector nororiente los afloramientos de rocas intrusivas son escasos a pesar de ser un bloque levantado, donde afloran las rocas basales de la región (metasedimentos), de acuerdo a la magnetometría casi están ausentes o emplazadas a gran profundidad y en general tienen una tendencia NE-SW (Figura 2).

En la actualidad los afloramientos de estas rocas están controlados por fallas NW-SE que delimitan bloques levantados en la subprovincia Pie de la Sierra en la parte central de la carta.

Los batolitos y troncos graníticos cortan a los metasedimentos, rocas cretácicas y andesiticas eocénicas. La base de la secuencia volcánica félsica está afectada por cuerpos subvolcánicos y diques relacionados genéticamente al vulcanismo oligocénico, pero están cubiertos por las ignimbritas más jóvenes de 23 Ma (McDowell y Keizer, 1977).

La edad de estas rocas ha sido extensamente estudiada por Henry (1975), en el sur de Sinaloa quien de acuerdo a su edad de emplazamiento y deformación las divide en intrusivos sintectónicos,

emplazados durante la deformación Laramídica e intrusivos postectónicos emplazados posteriormente al evento compresivo.

Rocas sintectónicas no han sido identificadas dentro de la carta (Escamilla et al., 1997) pero existen algunos afloramientos aislados al sur, en la región de Mazatlán (Henry, 1975), por lo que no se descarta su presencia en pequeños afloramientos, cerca de la Planicie Costera, en el distrito de Las Varas.

Prácticamente todas las rocas intrusivas que afloran dentro de la carta son postectónicas y varían en edad de 64 a 20 Ma; en general son más silícicas que las sintectónicas y contienen menos minerales máficos (Henry, 1975).

Se reconocen hasta 6 tipos de intrusivos postectónicos (Henry y Fredrikson, 1987), pero los más comunes son los tipo Candelero de 54 a 46 Ma; que afloran en la parte centro sur y suroriente de la carta.

Un intrusivo importante es la granodiorita de Cosalá de 58.5 ± 1.2 Ma (Clark et al. , 1979) que aflora en la parte centro oriental de la carta y está asociada a mineralización metasomática de interés económico (Escamilla et al., 1997).

En la parte centro norte de la carta aflora la granodiorita de Tamazula, de 59.2 Ma (Clark et al., op. cit.) con evidencias de mineralización tipo pórfido cuprifero en Tamazula y Chacala.

Al norte de Ajoya, una granodiorita dio una edad de 28.5 Ma (Henry, 1975) posiblemente relacionada genéticamente al vulcanismo riolítico oligocénico.

El intrusivo más joven dentro de la carta parece ser la granodiorita Los Vasitos de 25 Ma (Clark et al., 1979) que aflora en la parte central y está relacionada a mineralización de Fe importante. Otro tipo de intrusivos lo constituyen diques félsicos y pórfidos graníticos a dioríticos que cortan la base de la secuencia riolítica oligocénica y están asociados a mineralización epitermal en los distritos de Santa Cruz, Santa María de Otáez, San Juan de Camarones y Rancho Campanilla (Escamilla et al., 1997), su edad varía de 28 a 23 Ma (Henry, 1975).

Respecto a su forma de emplazamiento parece ser que fue en forma de diapiros a lo largo de fracturas NE-SW (Henry y Fredrikson, 1987) como lo indican diques con esta dirección y la alineación de los dominios magnéticos A₁ y A₂ relacionados a estas rocas intrusivas.

Petrológicamente parecen estar zonificadas, ya que son granodioritas máficas cerca de la costa y se hacen más silícicas y más jóvenes hacia el NE (Henry, 1975), sin embargo, la composición puede estar afectada por el nivel de erosión ya que hacia la costa ésta ha sido más intensa exponiendo las partes más profundas de los cuerpos intrusivos.

Estas rocas son de gran importancia económica-minera por su gran variedad en composición y edad así como el tipo de rocas que afecta, lo que explica la gran cantidad de manifestaciones de mineralización puesto que existen varios eventos metalogenéticos, tanto metasomáticos como hidrotermales, relacionados al emplazamiento de estas rocas.

Geología Estructural

El patrón estructural de la carta es producto de los esfuerzos compresivos durante la orogenia Laramide y la tectónica extensional de Cuencas y Sierras (Henry, 1989; Henry y Aranda, 1992) que dio como resultado la apertura del Golfo de California (Lyle y Ness, 1991).

El principal sistema de fallamiento de la carta consiste de fallas normales con rumbo N 15-50° W que delimitan bloques levantados y hundidos en la parte central formando una franja de hasta 50 Km de ancho, paralela a la planicie costera (Subprovincia Pie de la Sierra).

Algunas de estas fallas tienen un componente de movimiento lateral cerca de Guadalupe de los Reyes (Escamilla et al., 1997).

En la parte oriental de la carta se define un sistema de fallas N30-80° E que afecta principalmente a los metasedimentos y controló el emplazamiento del Batolito de Sinaloa y la mineralización epitermal eocénica (Tayoltita).

Se desconoce la edad de estos sistemas de fallas que han sido activados en diferentes épocas, la ultima relacionada a la apertura del Golfo de California en el Mioceno (Lyle y Ness, 1991).

El emplazamiento del Batolito de Sinaloa produjo un intenso fallamiento que produjo bloques levantados y hundidos. Los afloramientos de rocas graníticas al NE de Cosalá, Sin., (Coacoyole y San Diego del Rancho) constituyen un bloque tectónico levantado con dirección NE-SW donde las rocas suprayacentes han sido casi totalmente erosionadas.

Las calizas y rocas volcanosedimentarias cretácicas de la región de Santa Cruz de Alayá y Cosalá afloran como remanentes de una cuenca sedimentaria constituyendo un bloque tectónico hundido.

En la imagen de satélite (INEGI, 1995) se identifican algunos curvolineamientos de pequeñas dimensiones en la cubierta de

rocas volcánicas riolíticas que pueden estar asociados a pequeños troncos o cuerpos subvolcánicos que las afectan y a estructuras de caldera como en Santa María de Otáez (Escamilla et al., 1997) y San José de las Cañas.

Yacimientos Minerales

Dentro de la carta existen numerosas manifestaciones de mineralización que se agrupan en 22 distritos mineros (Escamilla et al., 1997) siendo las más abundantes las vetas hidrotermales de tipo epitermal y mesotermal con mineralización de Au, Ag y Ag, Pb, Zn, Cu, Au emplazada en toda la columna incluyendo la base de la secuencia riolítica oligocénica.

La dirección de las vetas hidrotermales en su mayoría es NW-SE pero también existen con dirección NE-SW, principalmente en los metasedimentos precretácicos.

También existen yacimientos metasomáticos en la región de Cosalá, Sin., relacionados genéticamente a una granodiorita de 58.5 Ma (Clark et al., 1979) que afecta a calizas cretácicas. Estos yacimientos son importantes por su mayor volumen de producción.

En la región de Chacala y Tamazula, porción centro norte de la carta, existen evidencias de mineralización tipo Pórfido Cuprífero, representadas por brechas hidrotermales de cuarzo-turmalina asociadas a una granodiorita de 59.2 Ma (Clark et al., 1979).

Debido a la gran cantidad de distritos mineros que existen dentro de la carta para su descripción general se han agrupado en regiones.

La región nororiente de la carta comprende los distritos de San Juan de Camarones, San Miguel del Cantil, San Andrés de la Sierra, Montoros, San Diego de Tezáens, Santa Cruz y Santa María de Otáez donde se tienen fundamentalmente vetas auroargentíferas emplazadas en metasedimentos, andesitas eocénicas, granodiorita y riolitas oligocénicas.

Esta mineralización epitermal parece estar relacionada a cuerpos subvolcánicos dioríticos asociados a probables estructuras de caldera, principalmente en Santa María de Otáez y San Diego de Tezáens (Escamilla et al., 1997).

En la región suroriente se ubican los distritos de Jocuixtita, Guadalupe de los Reyes, El Tambor, San Agustín, Ajoya y San Antonio que consisten en vetas epitermales de Au, Ag, Pb y Zn emplazadas en andesitas eocénicas y riolitas oligocénicas.

De estos distritos el más importante, por su producción, es Guadalupe de los Reyes que produjo más de 400,000 Ton en 20 años (Mina La Estaca).

En el Tambor se explotaron vetas auríferas de alta ley asociadas a una falla con rumbo N 30° W (La Colorada).

En San Agustín y San Antonio se tienen vetas epitermales emplazadas en andesitas eocénicas similares a las del cercano distrito aurífero de Tayoltita.

En la región centro norte de la carta se ubican los distritos de Matavacas con vetas epitermales de Au, Ag, Zn relacionadas a cuerpos subvolcánicos que afectan a las riolitas oligocénicas y los distritos de Chacala y Tamazula donde se tienen brechas hidrotermales de cuarzo-turmalina con trazas de Au en el contacto granodiorita-andesitas eocénicas así como también vetas de Au, Cu y Bi en la granodiorita de 58.5 Ma (Clark et al., 1979).

En la región central de ubica el distrito minero de Cosalá, el más importante de la carta por el volumen de su producción pasada y sobre todo por su potencial a futuro. En este distrito se tienen cuerpos metasomáticos en forma de chimenea con mineralización Ag, Pb, Zn, Cu y Au emplazados en la zona de contacto de una granodiorita de 58.5 Ma (Clark et al., 1979) con calizas arrecifales que han dado origen a yacimientos importantes (Nuestra Señora, La Estrella y La Verde), con gran producción recientes. adicionalmente. épocas también se tienen vetas epitermales emplazadas en las calizas y el propio intrusivo.

En esta misma región se ubica el distrito minero de Santa Cruz de Alayá donde se tiene una serie de vetas de Ag y Au en calizas afectadas por troncos y "sills" granodioríticos.

Al nororiente de Cosalá, Sin., se ubica el distrito Sierra de Alapa, que consiste en vetas epitermales de Au y Ag emplazadas en granodiorita, andesitas eocénicas y riolitas oligocénicas.

Otra región minera poco conocida y menos desarrollada está constituida por los distritos mineros de Culiacán, Las Varas, Veinte Onzas y Campanillas (Escamilla et al., op. cit.), que se ubican a lo largo de una franja definida por bloques fallados NW-SE que forman un sistema de fosas y pilares paralelo a la planicie costera.

Estos distritos contienen mineralización epitermal de Au y Ag como en El Escobal y Cerro Colorado al nororiente de Culiacán y Mina San Pedro en Las Varas que produjo más de 25,000 Ton de mineral en 5 años (Escamilla et al., 1997).

En Veinte Onzas se tienen vetas de Au, Ag, Pb y Zn emplazadas en rocas volcanosedimentarias y calizas cretácicas; hacia el norte de este distrito se ubica el yacimiento férrifero Los Vasitos con más de 20 millones de Ton, relacionado genéticamente a una granodiorita de 25 Ma (Clark et al., 1979).

Finalmente, en Campanillas o Mineral de Zamora, en la porción centro sur de la carta, se tienen vetas epitermales con Au y Ag emplazadas en andesitas y tobas riolíticas eocénicas.

No se tienen datos isotópicos suficientes acerca de la edad de la mineralización, sin embargo, en base a sus relaciones estratigráficas y estructurales se puede decir que existen por lo menos dos eventos de mineralización epitermal: uno eocénico de 40 Ma (Henry, 1975) y otro relacionado a los cuerpos subvolcánicos de 28.5 Ma que afectan a las ignimbritas oligocénicas y posiblemente son cogenéticos con ellas. Clark et al., (1979) definieron un intervalo de mineralización epitermal de 46 a 28 Ma.

La edad de la mineralización metasomática, tipo skarn, esta asociada a la edad de los diferentes cuerpos intrusivos que la producen como el de Cosalá de 58.5 Ma, el de Tamazula-Chacala de 59.2 Ma y el de los Vasitos de 25 Ma (Clark et al., 1979).

Evolución Tectónica

La región de la carta, para algunos autores, forma parte del terreno Guerrero (Campa y Coney, constituido por varias 1983), secuencias volcanosedimentarias Jurásico Superior al Cretácico Temprano que representan la evolución de arcos intraoceánicos desarrollados en diferentes épocas durante el Cretácico (Rangin, 1981; Servais et al., 1982; Sedlock et al., 1993, Tardy et al., 1994, Freydier et al., 1996). Otros autores consideran que la región pertenece al terreno Tahue (Sedlock et al., op. cit.)e incluye partes del terreno Guerrero.

Aunque se han dado varias interpretaciones acerca de la evolución tectónica de la región, mucha de su historia aún es poco conocida ya que no se conoce la verdadera edad de algunas secuencias de metasedimentos, infiriéndose solo por sus relaciones estratigráficas y estructurales.

La evolución de la región se inicia prácticamente con el depósito de sedimentos clásticos de edad desconocida sobre un basamento de rocas graníticas y metamórficas paleozoicas derivadas probablemente del cratón de Norteamérica.

Hacia el final del Jurásico estos sedimentos fueron deformados y metamorfoseados por la orogenia Nevadiana, como se aprecia en el norte de Sinaloa (Mullan, 1978). Después de un período de erosión la región es invadida por las aguas marinas y se deposita una secuencia clástica asociada a un vulcanismo calcoalcalino de arco continental.

A fines del Cretácico temprano (Aptiano) esta secuencia es acrecionada y metamorfoseada por un evento compresivo (Rangin, 1981) y sometida a un período de erosión. Un poco más tarde, en el Albiano-Cenomaniano, la región es invadida nuevamente por aguas marinas someras donde se depositan principalmente calizas arrecifales con algunos horizontes clásticos.

A finales del Albiano se inician los primeros compresivos de pulsos la orogenia Laramide, por subducción oblicua de la placa Farallón, que produce pliegues con dirección ENE en los metasedimentos y rocas cretácicas así como un metamorfismo incipiente de bajo grado (Henry, 1986; Henry y Fredrikson, 1987). En esta época se emplazan los intrusivos sintectónicos (de 102 a 86 Ma)., provocando el levantamiento y emersión de toda la región para formar el Arco Tarahumara (Araujo y Arenas, 1986)

cuya erosión da origen a las secuencias clásticas progradantes que se depositan en el centro y norte de México.

Durante las fases declinantes de este evento compresivo, a fines del Paleoceno y principios del Eoceno, se inicia un intenso magmatismo calcoalcalino que migra lentamente hacia el oriente (Clark et al., 1982), dando origen a un arco andesítico continental que cubrió todo el noroeste de México (Aguirre У McDowell, 1991) representado en la región de la carta por el Grupo Volcánico Inferior (McDowell y Keizer, 1977).

Este evento estuvo acompañado por el emplazamiento de intrusivos graníticos de 64 a 40 Ma que dieron origen al Batolito de (Henry, 1975) relacionado Sinaloa genéticamente a mineralización tipo Pórfido (Tamazula Cuprífero Chacala), У metasomática (Cosalá) epitermal У (Tayoltita, San Agustín y Santa Cruz de Alayá).

De los 40 a 32 Ma la región sufrió un hiatus magmático (Aguirre y McDowell, 1991) durante el cual se produce un evento de relajamiento con fallamiento normal que da origen a pequeñas fosas tectónicas donde se depositan sedimentos volcanoclásticos y capas rojas.

En el Oligoceno Medio (32 Ma) se inicia la gran erupción ignimbrítica relacionada a grandes estructuras de caldera con sus intrusivos graníticos subvolcánicos andesitas basálticas relacionadas genéticamente (Clark et al., 1979; Swanson y McDowell, 1984), que da origen al Supergrupo Volcánico Superior que constituve la Sierra Madre Occidental (McDowell y Keizer, 1977).

Este evento estuvo acompañado de mineralización hidrotermal vetiforme en varias localidades y se considera producto del cambio de un régimen compresivo a uno extensivo intraplaca (Henry y Aranda, 1992).

El vulcanismo riolítico continuó intermitentemente hasta los 23.5 Ma (McDowell y Keizer, 1977), aunque en Sinaloa continua hasta los 17 Ma (Henry, 1975).

Entre los 16 y 14 Ma se produce un intenso fallamiento normal con dirección NW-SE asociado a la apertura del Protogolfo de California (Lyle y Ness, 1991) que forma una serie de pilares y fosas tectónicas donde se depositan sedimentos volcaniclásticos y conglomerados.

En el Plioceno-Cuaternario se produce el último evento volcánico de la región asociado a una reactivación de las fallas NW-SE, posiblemente debido a la apertura del moderno Golfo de California y al inicio de la expansión del fondo marino (Gastil et al., 1979).

Actualmente continua la intensa erosión de toda la Sierra Madre Occidental y el depósito de material clástico en valles intermontanos, principalmente a lo largo de la planicie costera.

Zonas con potencial geológico para exploración minera

La mineralización dentro de la carta está genéticamente relacionada al emplazamiento de cuerpos intrusivos del Batolito Sinaloa y a los cuerpos subvolcánicos relacionados genéticamente al vulcanismo félsico oligocénico.

En conjunto estos intrusivos produjeron mineralización tipo pórfido cuprífero, metasomática (emplazada en calizas) y grandes sistemas geotermales que dieron origen a la mineralización epitermal y mesotermal que se emplazó prácticamente

en toda la columna geológica, incluyendo la base de la secuencia ignimbrítica oligocénica y los propios intrusivos graníticos.

De acuerdo a lo anterior se considera que las zonas de mayor potencial para mineralización metasomática son las zonas de contacto de intrusivos postectónicos con calizas arrecifales cretácicas que afloran únicamente en la parte central de la carta (Santa Cruz de Alayá y Cosalá).

Otras zonas favorables son las fallas NW-SE que han estado activas en diferentes épocas del Terciario controlando la emisión del vulcanismo riolítico oligocénico el emplazamiento de cuerpos subvolcánicos cogenéticos con la mineralización epitermal asociada. Estas fallas se reactivaron durante la extensión de Cuencas y Sierras en el Mioceno que dieron como resultado la Golfo de apertura del California están activas actualmente en varias localidades alrededor del Golfo (Lyle y Ness, 1991).

Las fallas NE-SW fueron importantes ya que controlaron el emplazamiento de los intrusivos postectónicos de 64 a 40 Ma (Henry, 1975), como lo ratifica la respuesta aeromagnética (Figura 2), y la mineralización epitermal eocénica tipo Tayoltita.

La intersección de estos sistemas de fallas se consideran zonas altamente prospectivas sobre todo si están asociadas a intrusivos sepultados (dominios A_1) o aflorantes (dominios A_2) y con alteración hidrotermal superficial.

Otros elementos estructurales favorables para mineralización epitermal son los curvolineamientos asociados a la secuencia ignimbrítica oligocénica, indicativos de probables estructuras de calderas o domos intrusivos cogenéticos como en los distritos mineros de Santa Cruz, Sierra de Alapa y en la región de San José de las Cañas adyacente a San Miguel del Cantil.

La subprovincia Pie de la Sierra también constituye una zona altamente prospectiva va que está afectada por una serie de fallas normales paralelas con dirección NW-SE. algunas con movimiento lateral, constituyen una zona estructuralmente favorable para el emplazamiento yacimientos epitermales de Au y Ag como lo distritos mineros demuestran los Guadalupe de los Reyes, El Tambor. Las Varas, Culiacán y Campanillas (Escamilla et al., 1997).

La zona anterior constituye el límite poniente de la poco extendida Sierra Madre Occidental y ha sufrido reactivación reciente debido a los esfuerzos transtensionales que provocaron la apertura del Golfo de California. La influencia de este evento en los procesos de mineralización epitermal de la región es poco conocida a pesar del alto flujo de calor que liberó a nivel cortical.

Localmente, los distritos mineros de la región nororiente de la carta, emplazados en metasedimentos precretácicos, tienen posibilidades de contener mineralización en stockwork y diseminada, similar a la del prospecto Metates del distrito San Juan de Camarones (Escamilla et al., 1997).

La presencia de secuencias volcanosedimentarias cretácicas, en la parte centro oriental de la carta, abre las posibilidades para la existencia de yacimientos volcanogénicos de sulfuros masivos en esta zona.

El análisis de información sobre las características de todos los distritos mineros de vetas epitermales indica que la mayoría fueron trabajados a nivel de gambusinaje, superficialmente, y otros poco trabajados, por lo que en muchos de ellos aún no se conoce el verdadero potencial de las

estructuras mineralizadas a rumbo y profundidad.

Aunque por el tipo de estructuras (vetas angostas) no exista un gran volumen para la gran minería, no se descarta la existencia de nuevas estructuras con clavos de alta ley, stockworks y diseminados que den un nuevo auge a algunos de estos viejos distritos mineros.

La exploración y evaluación del verdadero potencial de estos distritos constituye un reto que debe enfrentarse con técnicas modernas de exploración y sobre todo con conceptos actuales de mineralización hidrotermal en arcos volcánicos.

CAPÍTULO III.- DISCUSIÓN DE LA INTERPRETACIÓN REGIONAL

La información aeromagnética contenida en la carta Culiacán G13-10, tiene un alcance de tipo regional debido a la escala del mapa. en donde se interpretaron indirectamente rasgos geológicos del subsuelo, infiriendo la distribución y naturaleza de las rocas tales intrusivos, como ocultas. rocas sedimentarias, rocas volcánicas. fallas controles profundas estructurales favorables para la presencia de depósitos minerales; rasgos obtenidos en base al contraste de susceptibilidad magnética de los materiales del subsuelo, originado éste por la presencia de óxidos y/o sulfuros de fierro dispersos en la matriz 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 sujetos a discusión y se proporcionan como una base para análisis más profundos, de acuerdo con el objetivo y el uso de la información.

Para obtener una información con más detalle de áreas específicas de interés seleccionadas de esta carta, resulta necesario llevar a cabo una interpretación cuantitativa, realizando cálculos y modelados que proporcionen datos de profundidad a la cima de los cuerpos magnéticos y espesores de las unidades más importantes, para seleccionar áreas de interés más reducidas en las cuales habrá que realizar trabajos de campo geológicos, geoquímicos y geofísicos a detalle.

Dominios Magnéticos

Se identificaron cinco dominios magnéticos indicados con las letras A₁, A₂, B₁, B₂ y C, diferenciados de acuerdo a su intensidad de magnetización, gradiente magnético y amplitud dipolar (Figura 2).

Dominio Magnético A₁

El dominio A_1 se atribuye a rocas intrusivas de composición félsica a intermedia, se caracteriza por una respuesta con monopolos y dipolos magnéticos en un gradiente suave, presentando intensidades que varían de 0 a +240 nT (nanoteslas).

Este dominio magnético se detectó en 12 localidades, distribuidas en toda la carta, las cuales se describen a continuación:

En el extremo nororiente, el dominio A₁ detectado presenta una forma semicircular y se correlaciona en superficie con la zona mineralizada de Montoros, en donde se tiene reconocido un cuerpo hipabisal clasificado como un pórfido cuarzodiorítico (C.R.M., 1993), dicho cuerpo afecta la secuencia metamórfica y a las rocas volcánicas andesíticas terciarias; la respuesta magnética se interpreta como la extensión a profundidad de un cuerpo intrusivo.

Al norte de la Presa Sanalona se detectó otro dominio A₁ de forma circular, el cual se correlaciona superficialmente con la unidad de riolitas e ignimbritas terciarias, asociado a

este dominio magnético se presenta una estructura dómica (Escamilla et al., 1997), por lo que se interpreta la presencia de un cuerpo intrusivo a profundidad; en el contacto marginal de dicho cuerpo, se tienen evidencias de mineralización de Au y Ag en Cerro Colorado.

Otro dominio A₁ asociado con mineralización se localiza aproximadamente a 15 Km al SE del poblado de Chacala, en superficie se correlaciona con la unidad de riolitas e ignimbritas del terciario, así como con la obra minera aurífera Las Coloradas (Escamilla et al., 1997). La respuesta magnética se interpreta que es debida a un cuerpo subvolcánico sepultado.

En la porción centro-norte. las en inmediaciones del poblado de Tamazula de Victoria, se definió otra unidad A₁, quedando abierta la respuesta obtenida hacia el norte. Este dominio se correlaciona parcialmente con el cuerpo batolítico granodiorítico, cubierto por la unidad de riolitas terciarias, en donde se tienen evidencias mineralización de Au y Ag (Escamilla et al., 1997), se considera que la respuesta magnética corresponde a un cuerpo intrusivo el cual puede ser contemporáneo con la unidad riolítica y estar asociado con la mineralización que ésta presenta tanto en el cuerpo granodiorítico como en las unidades volcánicas terciarias.

En la porción centro oriental se definieron dos dominios A₁, el primero de estos se localiza al norte del poblado de Cosalá y el segundo se ubica a 20 Km al NE de esta misma población, se correlacionan con las zonas mineras de Cosalá y Sierra de Alapa respectivamente, en donde se tiene una secuencia volcanosedimentaria y rocas sedimentarias de edad cretácica (C.R.M., 1991) las cuales fueron intrusionadas por cuerpos graníticos, de 58-60 Ma (Clark et al., 1979); sobreyaciendo a estas unidades se

presentan las secuencias volcánicas andesítica y riolítica del Eoceno y Oligoceno respectivamente.

La respuesta magnética de estos dominios A₁ se atribuye a la presencia de cuerpos intrusivos, aflorantes y sepultados los cuales se considera que pueden constituir parte de una fase intrusiva más joven equivalente al volcanismo Oligocénico que pudieron ser los causantes de la mineralización en los intrusivos de 58-60 Ma y en las riolitas Oligocénicas.

Hacia el extremo oriente aproximadamente a 15 Km al sur del poblado de San Pedro de Azafranes se detectó otro dominio A₁, con intensidad muy baja, sin embargo su respuesta dipolar esta bien definida. Se correlaciona en superficie con la región minera de Santa María de Otáez en donde se tienen reconocidos una serie de cuerpos intrusivos, tanto del batolito granodiorítico como cuerpos subvolcánicos terciarios (Escamilla et al., 1997), estos últimos con evidencias de mineralización de Au, Ag y Pb.

Esta respuesta magnética se interpreta como la extensión en el subsuelo un cuerpo intrusivo, el cual se refleja superficialmente por un curvolineamiento identificado con imágenes de satélite (Escamilla, op. cit.), así como por la distribución de los ríos El Presidio, Los Remedios y Santiago de Bosos, alrededor del cuerpo interpretado.

En la porción sur, se identificaron tres unidades magnéticas A_1 , las cuales representan la continuación de dominios más extensos, reconocidos en la carta magnética Mazatlán F13-1 (Mérida et al., 1997).

El dominio magnético localizado en las inmediaciones de las rancherías Los Brasiles y Tenchoquelite, se correlaciona en superficie con el cuerpo intrusivo batolítico, así como con la unidad de rocas andesíticas y riolíticas terciarias, no presenta evidencias

de mineralización dentro de esta hoja, sin embargo hacia el sur (carta magnética Mazatlán) se tienen obras con mineralización de Au y Ag en las andesitas. A partir de la respuesta magnética se definió la extensión del cuerpo intrusivo a profundidad, para el cual se ha determinado una edad de 46 Ma (Henry. 1975). lo aue lo haría contemporáneo con los troncos presentes en el distrito minero de Tayoltita, en donde la mineralización presenta cierto zoneamiento respecto a dichos troncos intrusivos (Smith et al., 1982).

Los otros dos dominios A₁, de menores dimensiones, se localizan en las inmediaciones de los poblados de Carrizo y San Agustín respectivamente, corresponden aparentemente a un solo cuerpo de dimensiones batolíticas (Mérida et al., 1997), el cual presenta su mayor extensión en la hoja Mazatlán donde incluye afloramientos aislados de cuerpos intrusivos con edades de 80 a 83 Ma (Henry, 1975).

Finalmente, se identificaron dos dominios magnéticos A₁, de grandes dimensiones, ubicados en la zona de la planicie costera, presentan características muy similares con la respuesta magnética del cuerpo batolítico citado anteriormente y reconocido en la hoja Mazatlán, lo que sugiere que se trata de cuerpos similares a este cubiertos por material aluvial que forma la planicie costera.

Otra interpretación alterna de estos dominios es que corresponde con derrames andesíticos del Complejo Volcánico Inferior y sus troncos intrusivos asociados.

Dominio Magnético A₂

El dominio magnético A₂, se atribuye a rocas intrusivas de composición intermedia a máfica y se caracteriza por presentar dipolos y monopolos bien definidos con intensidades magnéticas que varían de –280 a +480 nT.

En la presente carta se detectaron ocho dominios A_2 , los cuales se describen a continuación:

Aproximadamente a 20 Km al NE de la ciudad de Culiacán, se detectó un dominio A₂, monopolar de forma irregular, se correlaciona en superficie con el intrusivo batolítico el cual afectó а rocas sedimentarias cretácicas, así como a un paquete de rocas andesíticas (C.R.M., 1991); esta zona corresponde al distrito minero de Culiacán, con obras mineras trabajadas por Au y Ag. La respuesta magnética se interpreta como un cuerpo intrusivo más máfico que el batolito granodiorítico posiblemente cogenético con las rocas volcánicas oligocénicas y asociado a la mineralización, epitermal de Au y Ag.

En las inmediaciones del poblado de Chacala se observa otro dominio A₂, de forma alargada de aproximadamente 40 x 8 Km y con un rumbo NE-SW; en superficie se correlaciona con un intrusivo batolítico de composición diorítica a granodiorítica, así como con las unidades terciarias andesíticas y riolíticas.

Se interpreta que la respuesta magnética corresponde al cuerpo intrusivo de composición intermedia, el cual se emplazó en una zona de debilidad profunda de rumbo NE-SW, activada durante la etapa de compresión laramídica (Henry, 1986).

Existen en esta zona un gran número de estructuras mineralizadas que constituyen el distrito minero de Chacala (C.R.M., 1993).

En la porción sur se identificaron dos dominios magnéticos A₂, ambos de alta intensidad y de forma alargada, con un rumbo preferencial NE-SW, estos dominios se correlacionan con diques de composición andesítica de rumbo NE-SW localizados en el rancho Campanillas, los cuales fueron datados por Henry (1975) con el método K/Ar, revelando una edad de 28 Ma, por la

dirección de su emplazamiento podría considerarse que fue debido a una reactivación de fallamientos profundos, similar al descrito anteriormente, conformando a nivel regional un sistema paralelo al delimitado magnéticamente por el intrusivo Chacala.

Dos dominios A₂ de forma semicircular fueron detectados, uno de ellos se localiza a 10 Km al este del poblado de Abuya y el otro aproximadamente a 12 Km al NE de Guadalupe de los Reyes, en ambos casos las unidades que afloran corresponden a las rocas volcánicas terciarias. La respuesta magnética se interpreta que es debida a cuerpos subvolcánicos más máficos que el intrusivo batolítico y las unidades volcánicas.

Situado en las inmediaciones del poblado de La Llama, abarcando la porción poniente de la Presa José López Portillo (INEGI, 1995), se detectó otro dominio A₂, esta unidad magnética se correlaciona en superficie con el intrusivo batolítico, la unidad andesítica del Complejo Volcánico Inferior, así como con una secuencia sedimentaria de calizas y lutitas del Cretácico.

Este dominio se interpreta como la respuesta de un cuerpo subvolcánico el cual se emplazó bajo las unidades mencionadas anteriormente, aprovechando zonas de debilidad de rumbo NE-SW.

Finalmente, el domino magnético detectado en la zona de la planicie costera, presenta una clara respuesta dipolar, la cual corresponde a la expresión característica de cuerpos intrusivos de composición intermedia a máfica, sin embargo no se tienen evidencias geológicas ni morfológicas que apoyen esta interpretación, por lo que no se descarta la posibilidad de que este dominio corresponda a las andesitas eocénicas cubiertas por depósitos aluviales recientes.

Dominio Magnético B₁

El dominio B₁ está representado por altos, bajos y tendencias magnéticas irregulares, con intensidades que varían entre -240 a +120 nT, se atribuye a rocas volcánicas de composición félsica a intermedia.

La localidad de mayor extensión de este dominio se ubica en la porción oriente de la carta, en donde se localizan las regiones mineras de Sierra de Alapa y Santa María de Otáez, en donde se correlaciona con andesitas eocénicas y tobas riolíticas oligocénicas.

Otras localidades en donde se identificó esta unidad son: Adolfo López Mateos, Quila, Mecates y Santa Cruz.

Desde el punto de vista minero, ésta unidad presenta gran importancia dentro de esta carta ya que aloja un número considerable de estructuras mineralizadas.

Dominio Magnético B₂

El dominio magnético B₂ se atribuye a rocas volcánicas de composición intermedia a máfica y se caracteriza por presentar un alto gradiente magnético, así como por un agrupamiento de dipolos y monopolos distribuidos generalmente en forma caótica. Se presenta aleatoriamente distribuido en toda la hoja cubriendo grandes extensiones. La intensidad magnética que presenta varía de –800 a +700 nT.

En algunas localidades donde se interpreta este dominio, se define claramente una correlación con una unidad de andesitas basálticas del Terciario Superior (Escamilla et al., 1997), como ocurre al poniente del poblado de San Juan de Camarones y en los alrededores del rancho La Traspana en la porción sur oriental de la carta.

El dominio B₂ detectado en las inmediaciones de la ciudad de Culiacán, se correlaciona con unidades basálticas pliocuaternarias asociadas a fallamientos de rumbo NW-SE relacionados a la apertura del Golfo de California (Fredrikson, 1974).

Otras localidades en donde se interpreta el dominio magnético B₂ es en Las Tapias y El Limón de Teachi, en la porción centroponiente de la hoja y en Acatitán y El Sauz de Ajoya al sur-oriente de la hoja, sugiriendo en ambos casos una ligera tendencia NE-SW que podría relacionarse con el rumbo de los dominios magnéticos A2 interpretados en los poblados de Chacala y Campanilla, lo que lleva a considerar una reactivación de fallamientos profundos de orientación NE-SW fueron aue aprovechados para la efusión de rocas intermedias y máficas del Terciario.

Dominio Magnético C

El dominio magnético C se caracteriza por presentar zonas magnéticas de bajo gradiente, cubriendo grandes extensiones, su intensidad varía de –200 a +40 nT, predominando los valores negativos. Esta unidad se atribuye a rocas sedimentarias y metamórficas, así como a depósitos de material clástico que forman la planicie costera.

En la zona de la Planicie Costera, los dominios magnéticos C detectados, están controlados por lineamientos de dirección E-W, como se observa en las cercanías de los poblados de El Portugués y La Bandera.

Lineamientos y curvolineamientos magnéticos

En la carta magnética Culiacán G13-10 se definieron tres sistemas principales de lineamientos magnéticos, los cuales presentan rumbos generales NW-SE, NE-SW y E-W (con variaciones ENE). Algunos de ellos se interpretan como la respuesta de fallas de origen profundo, cuya manifestación superficial en muchos casos no es evidente.

Los lineamientos detectados con rumbo NE-SW, se presentan ampliamente distribuidos en la carta, definiéndose con una longitud máxima de 80 Km, parecen ser el sistema más antiguo de la región y representan el vector compresivo de la orogenia laramídica (Henry, 1986).

El sistema de lineamientos magnéticos de rumbo NW-SE representa el cambio de un régimen compresivo a un régimen distensivo, el cual se relaciona con la tectónica de Cuencas y Sierras. Este tipo de lineamientos se presentan con una gran longitud (120 Km) en la porción poniente de la carta, sirviendo de límite geomorfológico entre la provincia de la Planicie Costera y la Subprovincia de Pie de la Sierra.

Este tipo de fallamientos también ha servido de conducto para el emplazamiento de pequeños cuerpos intrusivos, del vulcanismo terciario andesítico y riolítico, así como de derrames basálticos cuaternarios (Escamilla et al., 1997).

Los lineamientos magnéticos de rumbo E-W se atribuye que se generaron como consecuencia de la apertura del golfo de California, produciendo fallamientos en dirección E-W y ENE por donde se facilitó la efusión de rocas volcánicas máficas.

Se considera que algunos de estos sistemas de fallamiento han sufrido reactivaciones, sirviendo de conducto para el emplazamiento de cuerpos ígneos (como en el caso de los intrusivos de Chacala y Campanillas), así como de unidades volcánicas intermedias a máficas. (dominio B₂) de la porción oriental de la carta.

Por otra parte, se definió un curvolineamiento magnético, el cual se localiza al oriente de la Ciudad de Culiacán y se correlaciona con rocas riolíticas e ignimbríticas terciarias. En las cercanías del poblado El Carrizalejo se han reportado manifestaciones geotérmicas (García et al., 1983) muy probablemente relacionadas a este curvolineamiento.

Procesos Analíticos Realizados

Con la finalidad de realzar la información contenida en el mapa de Campo Magnético Total (CMT), se aplicaron algunos procesos analíticos a los datos aeromagnéticos, estos procesos consistieron en: Reducción al polo, Aplicación de un filtro pasabajas y Primera derivada vertical; A partir de los cuales se generaron los siguientes mapas:

Mapa de Estructuras profundas

Se generó aplicando un filtro pasabajas al Campo Magnético Total (CMT) reducido al polo, considerando una frecuencia de corte de 0.4 ciclos/Km.

En este mapa se han eliminado las respuestas de alta frecuencia que son producidas fuentes magnéticas por superficiales, lo que permite visualizar la correspondiente las baias señal а frecuencias, que son típicamente atribuidas a estructuras y cuerpos intrusivos profundos; aue es posible. identificar levantamientos, depresiones y fallamientos del basamento magnético (Figura 3).

Mapa de Rasgos Superficiales

Se generó aplicando un filtro de primera derivada vertical al Campo Magnético Total (CMT) reducido al polo.

En este mapa se resaltan las altas frecuencias que son correlacionables con las fuentes magnéticas más someras, con lo que es posible definir los rasgos litoestructurales más superficiales (Figura 4).

Zonas Prospectivas

Las características geológico-estructurales de los diferentes yacimientos polimetálicos de la carta indican una relación genética con los intrusivos graníticos terciarios y con los procesos volcánicos oligocénicos (Figura 5).

La amplia gama en edades de los intrusivos terciarios proporciona un gran potencial para mineralización dependiendo de un marco geológico adecuado para la ocurrencia de mineralización metasomática y/o epitermal.

Se identificaron 6 zonas prospectivas dentro de la carta, definidas por la presencia de los dominios A₂ y A₁, asociados a lineamientos magnéticos NW-SE y NE-SW.

Al noreste de la Cd. de Culiacán, se identificó una zona prospectiva definida por un dominio magnético A_2 asociado a un intrusivo que afecta a calizas con evidencias de mineralización. Un poco más al oriente, se define otra pequeña zona prospectiva definida por un dominio A_1 que se interpreta como un domo intrusivo que afecta a las rocas riolíticas oligocénicas, posiblemente relacionado con la mineralización hidrotermal de Cerro Colorado.

En la parte sur de la carta, un dominio A₂ define otra zona prospectiva en Campanillas donde se interpreta un cuerpo subvolcánico asociado a un espesor anómalo de rocas

riolíticas y mineralización hidrotermal en las rocas volcánicas terciarias (Mineral de Zamora).

En la parte centro oriental de la carta se define una zona prospectiva principalmente por yacimientos metasomáticos, que comprende las regiones de Cosalá y Sierra de Alapa, donde se tienen dos dominios magnéticos A₁ que representan cuerpos intrusivos sepultados y aflorando, que afectan a calizas cretácicas.

Otra zona prospectiva importante se ubica en el extremo noreste de la carta y está definida por un pequeño dominio A₁ que se interpreta como un cuerpo subvolcánico posiblemente relacionado a la mineralización epitermal de los distritos mineros de Montoros y San Miguel del Cantil.

En el extremo centro oriental de la carta se ubica otra zona prospectiva definida por un dominio A₁, que se correlaciona con rocas volcánicas terciarias y un afloramiento batolito granodiorítico. parcial del considera que este dominio representa un cuerpo subvolcánico contemporáneo con las ignimbritas oligocénicas riolitas е posiblemente relacionado a la mineralización epitermal del distrito de Santa María de Otáez.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Mapa de localización

Figura 2.- Interpretación magnética litoestructural

Figura 3.- Mapa de estructuras profundas filtro Pasa-Bajas del C.M.T. reducido al polo

Figura 4.- Mapa de rasgos superficiales primera derivada vertical del C.M.T. reducido al polo

Figura 5.- Zonas prospectivas a partir de la interpretación magnética litoestructural

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, D. G. J. and McDowell, 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, p. 13373 - 13388.

Araujo, M. J. y Arenas, P. R., 1986. Estudio tectónico-sedimentario en el Mar Mexicano, estados de Chihuahua y Durango: Sociedad Geológica Mexicana, Boletín, v. 47 (2), p. 43-87.

Bonneau, M., 1969 (1970). Una nueva área cretácica fosilífera en el estado de Sinaloa. Sociedad Geológica Mexicana, Boletín, v. 32 No. 2, p. 159-167.

Briggs, Ian C., 1974. Machine contouring using minimum curvature (Spline): Geophisics, v. 39, No. 1, p. 39 - 42.

Campa, M. F. and Coney, P. J., 1983. Tectonostratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: Canadian Journal of Earth Sciences, v. 20, p. 1040 - 1051.

Clark, K. F., Dow, R. R. and Knowling, R. D., 1979. Fissure - vein deposits related to continental volcanic and subvolcanic terranes in Sierra Madre Occidental province, Mexico. Internat. Assoc. Genesis Ore Deps. Fifth Symp: Nevada, Bureau Mines Geol. Rept. 33., p. 189 -201.

Clark, K. F., Foster, C. T., and Damon, P. E., 1982. Cenozoic mineral deposits and subduction - related magmatic arcs in Mexico: Geological Society of American Bulletin, v. 93, p. 533 - 544.

Consejo de Recursos Minerales, 1991. Monografía Geológico - Minera del Estado de Sinaloa. SEMIP Publicación M-1e, 159 p.

Consejo de Recursos Minerales, 1993, Monografía geológico-minera del estado de Durango SEMIP. Publicación M-10e, 204 p.

Escamilla, T.T.R., Bátaz, M.G., Moreno, L.M.H., Nevárez, del C.L., López, O.J.A. y Rosario, L.J., 1997. Carta geológico-minera Culiacán G13-10 Sinaloa-Durango. SECOFI. Consejo de Recursos Minerales. 1ª Edición.

Escamilla, T.T.R., Bátaz, M.G., Moreno, L.M.H., Navarez, del C.L., López, O.J.A., y Rosario L. J., 1997, Informe de la carta geológico-minera y geoquímica Hoja Culiacán G13-10 escala 1:250,000 Estado de Sinaloa: SECOFI. Consejo de Recursos Minerales (Inédito).

Fredrikson, G., 1974. Geology of the Mazatlan area, Sinaloa, western Mexico. (Ph.D dissertation). The University of Texas at Austin, 209 p.

Freydier, C., Martínez, R. J., Lapierre, H. and Coulon, C., 1996, The early Cretaceous Arperos oceanic basin (Western-Mexico). Geochemical evidence for an aseismic ridge foremed near a spreading center: Tectonophysics 259, p. 343-367.

García, J., Fernández, R. y Vázquez, r., 1983, Estudio gravimétrico en la zona geotermica de la Presita, Culiacán, México: Geofísica Internacional v. 22-4 p.345-388.

Gastil, R. G., Krummenacher, D. and Minch, J., 1979. The record of Cenozoic volcanism around the gulf of California: Geological

Society of America Bulletin, v. 90, p. 839 - 857.

Henry, C. D., 1975. Geology and geochronology of the granitic batholithic complex, Sinaloa, Mexico. (Ph. D. dissertation). The University of Texas at Austin, 158 p.

Henry, C. D., 1986. East-northeast-trending structures in western Mexico: Evidence for oblique convergence in the late Mesozoic: Geology, v. 14, p. 314 - 317.

Henry, C. D. and Fredrikson, G., 1987. Geology of part of southern Sinaloa, Mexico adjacent to the Gulf of California: Geological Society of American Map and Chart Series MCHO63, scale 1: 250,000, 14 p.

Henry, C. D., 1989. Late Cenozoic Basin and Range structure in western Mexico adjacent to the Gulf of California: Geological Society of American Bulletin, v. 101, p.1147 - 1156.

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

Holguin, Q. N., 1978. Estudio estratigráfico del cretácico inferior en el norte de Sinaloa México: Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, v. 10 (1), p. 6 - 13.

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

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1992 Carta Topográfica Culiacán G13-10, escala 1:250,000 4ª Impresión.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1995, Espaciomapa

Culiacán Hoja G13-10 Escala 1:250,000, 1ª Impresión.

Lyle, M. and Ness, G.E., 1991. The opening of the southern Gulf of California: in Dauphin, J. P. and Simoneit., eds. The Gulf and Peninsular Province of the Californias. American Association of Petroleum Geologists Memoir 47, p. 403 - 423.

Malpica, C. R., 1972. Rocas marinas del Paleozoico Tardío en el área de San José de Gracia, Sinaloa: Sociedad Geológica Mexicana, II Convención Nacional, Libro de Resúmenes, p. 174 - 175.

McDowell, F. W. and Keizer, R. P., 1977. Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango city and Mazatlán, Mexico: Geological Society of America Bulletin, v. 88, p. 1479 - 1487.

McDowell, F.W., and Clabaugh, S.E., 1981. The igneous history of the Sierra Madre Occidental and its relation to the tectonic evolution of western Mexico: UNAM, Inst. Geología, Revista, v.5 No. 2, p. 195-206.

Mérida, M.R., Lara, S.F.J. y Hernández, P. I., 1997. Carta Magnética "Mazatlán" F13-1. Estado de Sinaloa Escala 1:250,000: Texto guía. SEMIP Consejo de Recursos Minerales.

Mullan, H. S., 1978. Evolution of part of the Nevadian orogen in northwestern Mexico: Geological Society of America Bulletin, v. 89, p. 1175 - 1188.

Rangin, C., 1981. Aspectos geodinámicos de la región noroccidental de México: UNAM, Instituto de Geología, Revista v. 5 No. 2, p. 186 - 194.

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

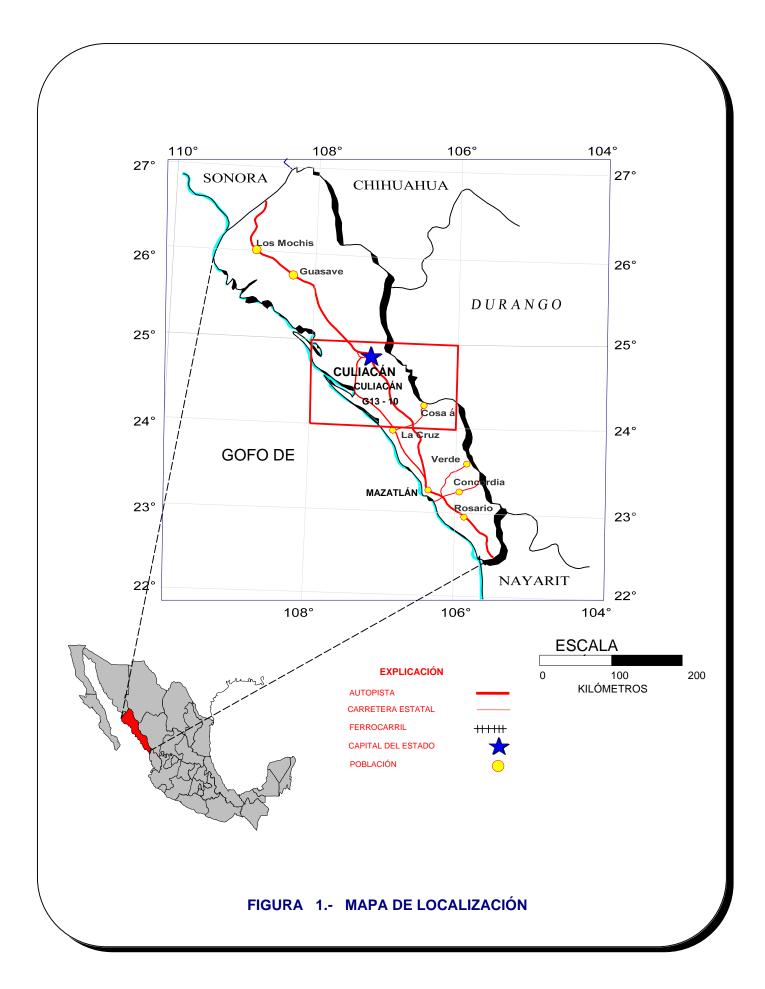
Servais, M., Rojo, Y. R. and Colorado, L. D., 1982. Estudio de las rocas básicas y ultrabásicas de Sinaloa y Guanajuato: Postulación de un Paleogolfo de Baja California y de una digitación Tethysiana en México central: Geomimet, v. 115, p. 53 - 71.

Smith, M.D., Albison, T. and Sawkins, J.F., 1982, Geologic and fluid inclusion studies of the Tayoltita Silver-Gold vein deposit, Durango, Mexico: Economic Geology, v. 77, p. 1120-1145.

Swanson, E.R. and McDowell, F.W., 1984, Calderas of the Sierra Madre Occidental volcanic field westerns Mexico: Journal Mexico: Journal of Geophysical Research, v. 89, p. 8787-8799.

Tardy, M., Lapierre, H., Freydier, C., Coulon, C., Gill, J. B., Mercier de Lepinay, B., Beck, C., Martinez, R. J., Talavera, O., Ortiz, H. E., Stein, G., Bourdier, J. L. and Yta, M., 1994. The Guerrero suspect terrane (western Mexico) and coaval arc terranes (the Greater Antilles and the Western Cordillera of Colombia): a late Mesozoic intra-oceanic arc accreted to cratonal America during the Cretaceous: Tectonophysics, v. 230, p. 49-73.

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



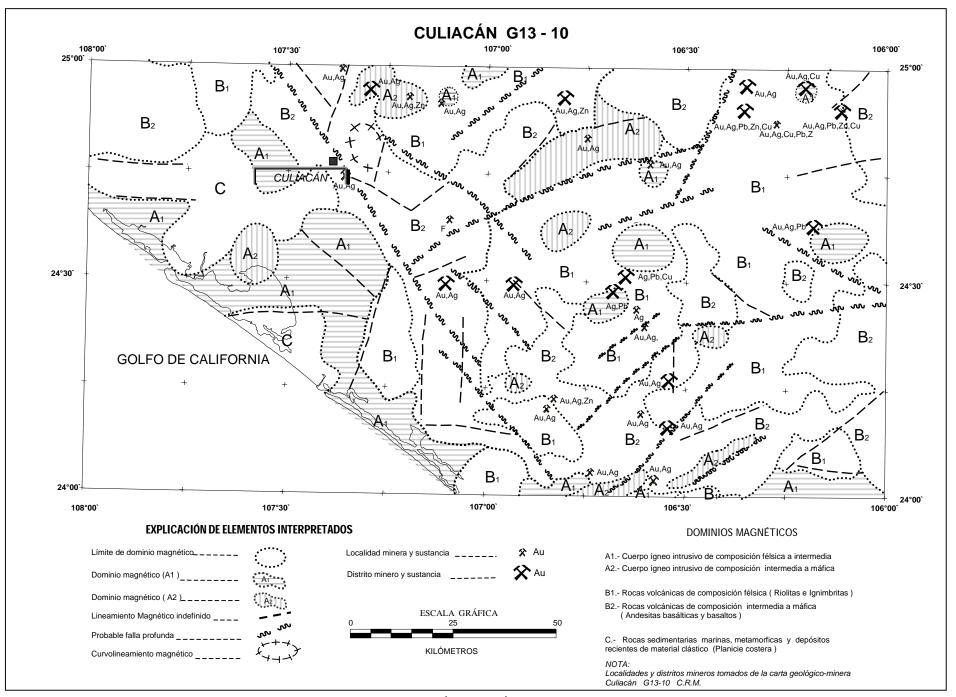
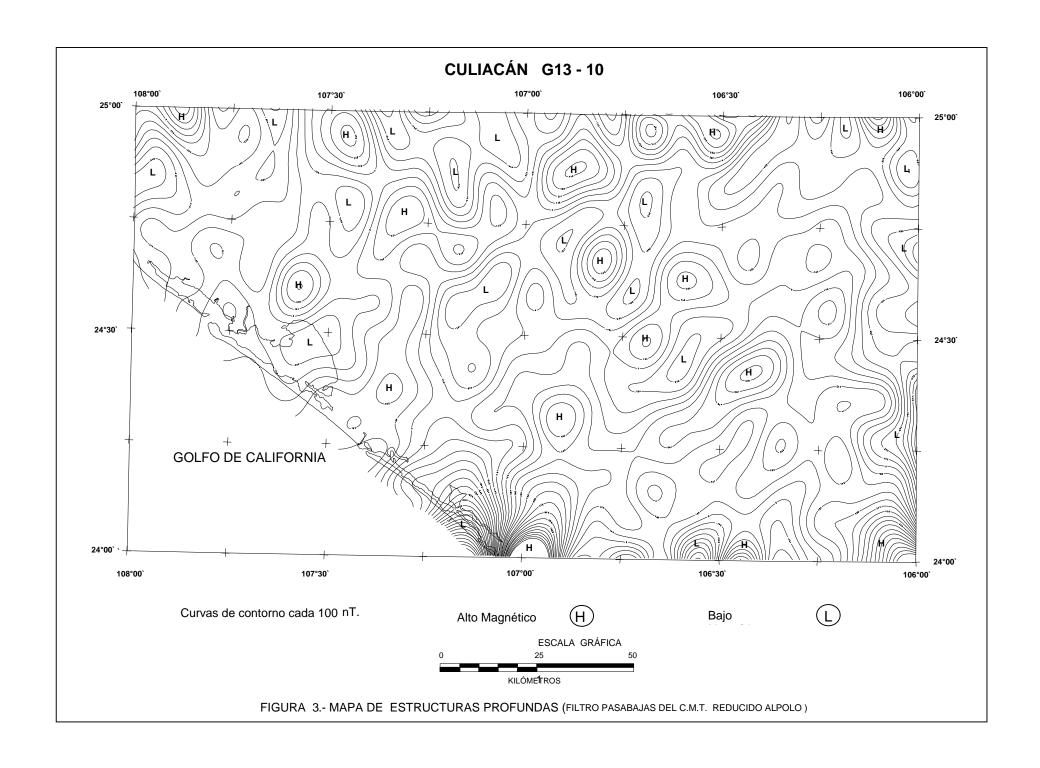
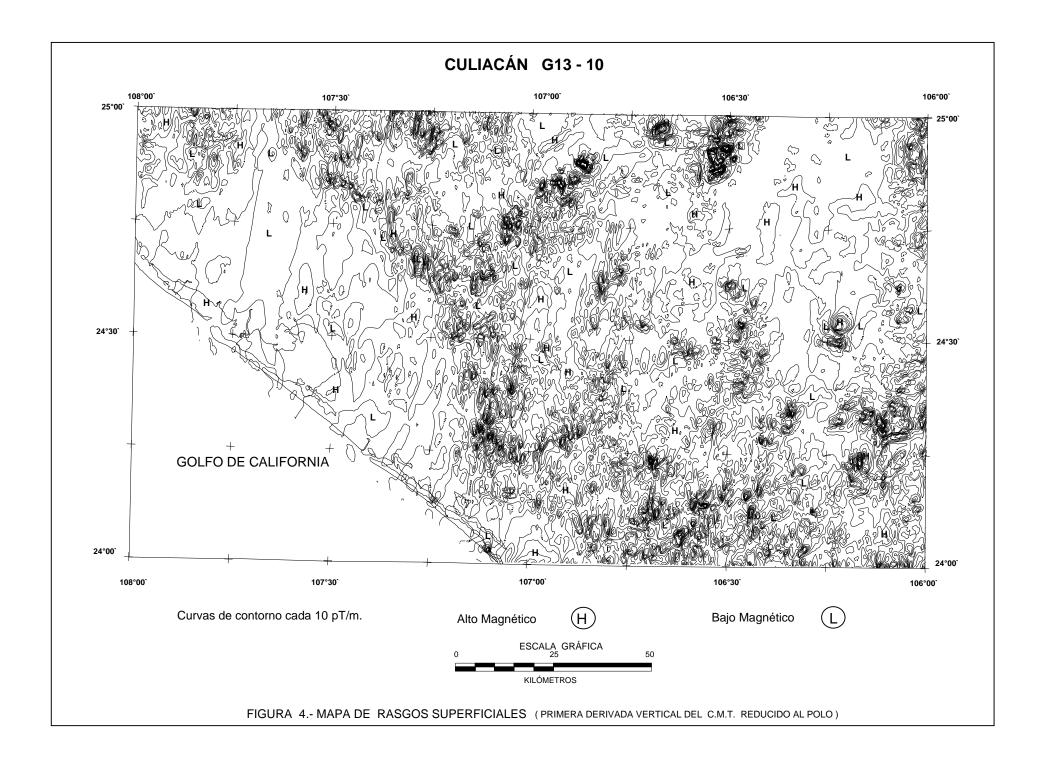


FIGURA 2.- INTERPRETACIÓN MAGNÉTICA LITOESTRUCTURAL





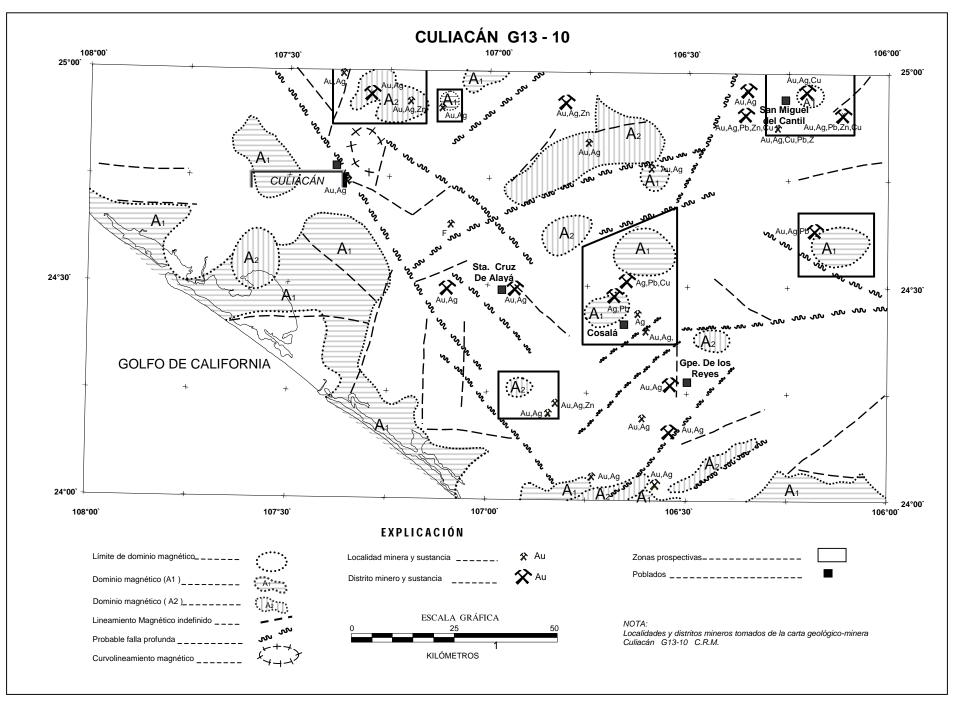


FIGURA 5.- ZONAS PROSPECTIVAS A PARTIR DE LA INTERPRETACIÓN MAGNÉTICA LITOESTRUCTURAL