CONSEJO
DE RECURSOS
MINERALES

SECRETARÍA DE ECONOMÍA | SE

CONSEJO DE RECURSOS MINERALES

C A R T A M A G N É T I C A

"CHIHUAHUA" H13-10

ESTADO DE CHIHUAHUA

ESCALA 1:250 000

TEXTO GUÍA

POR: **Ings. Ramón Mérida Montiel**
Raucel Pascacio Toledo
Israel Hernández Pérez

MÉXICO, 1998

SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL
COORDINACIÓN GENERAL DE MINERÍA

Í N D I C E

RESUMEN

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES

I.1.- INTRODUCCIÓN
I.2.- FUENTES DE INFORMACIÓN
I.3.- PARÁMETROS Y EQUIPO UTILIZADO EN EL LEVANTAMIENTO
I.4.- PROCESAMIENTO DE DATOS
I.5.- CARACTERÍSTICAS DE LA CARTA

CAPÍTULO II.- CONTEXTO GEOLÓGICO

CAPÍTULO III.- DISCUSIÓN DE LA INTERPRETACIÓN REGIONAL

ÍNDICE DE FIGURAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RESUMEN

El Consejo de Recursos Minerales realiza actualmente 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 investigar las condiciones geológicas y estructurales del subsuelo que junto con la información geológico minera existente, nos permita seleccionar áreas prospectivas que conduzcan al descubrimiento de nuevos depósitos minerales.

Dentro de este programa se llevó a cabo el levantamiento aeromagnético de la Carta Chihuahua H13-10, a escala 1:250,000 con formato cartográfico de INEGI, la cual se ubica en la porción centro occidental del estado de Chihuahua y comprende una superficie de 21,705 Km^2.

El levantamiento magnético se realizó con avión a una altura de 300 m sobre la superficie del terreno, con líneas de vuelo de rumbo N-S y separación de 1,000 m. Los datos geofísicos se presentan como curvas de contorno de campo magnético total indicando su intensidad con contrastes de color; se indica la interpretación litológica y estructural en la carta y los resultados se explican en el presente texto guía.

Geológicamente la región de la carta forma parte del margen sur del Cratón de Norteamérica constituido por rocas precámbricas de edad Grenviliana que afloran como pequeñas ventanas tectónicas en la Sierra del Cuervo, donde están cubiertas por sedimentos paleozoicos tipo flysch que fueron deformados y metamorfoseados durante la colisión de Norteamérica con Sudamérica en el Paleozoico Tardío (Orogenia Ouachita).

Existen varios afloramientos pequeños de rocas mesozoicas principalmente cretácicas, que se depositaron en el extremo occidental de la Cuenca de Chihuahua.

Las rocas sedimentarias cretácicas están cubiertas discordantemente por un grueso paquete de rocas volcánicas félsicas e intermedias del Cretácico Superior que afloran solamente en el sector nororiente de la carta y están intrusionadas por troncos graníticos.

Las rocas volcánicas terciarias están ampliamente distribuidas y su edad varía del Paleoceno al Oligoceno, siendo estas últimas las de mayor distribución superficial, fueron emitidas a través de grandes estructuras de caldera, varias de las cuales han sido identificadas dentro de la carta (calderas de Tomochic, San Marcos, Pastorías y Nuevo). Estas rocas volcánicas oligocénicas están asociadas a cuerpos ígneos hipabisales en forma de tronco con mineralización relacionada en forma de vetas epitermales dentro de las rocas volcánicas.

Las rocas cretácicas están afectadas por intrusivos del Paleoceno asociados a mineralización tipo skarn con Ag, Pb, Zn, Cu, Fe y Au.

Las rocas están afectadas por fallas y fracturas de rumbo NW-SE, NE-SW, N-S y E-W, siendo el más importante el sistema NW-SE, el que al parecer controló el emplazamiento de los intrusivos graníticos y ha sido reactivado en diferentes épocas durante el Cenozoico controlando el volcanismo oligocénico y es el responsable de la actual morfología de la región.

Los yacimientos más importantes de la carta corresponden a las vetas epitermales emplazadas en tobas riolíticas del distrito minero de Cusihuiriachi y la zona mineralizada de Milpillas.

Los yacimientos polimetálicos tipo skarn más importantes son los de Calera, Terrazas, Sierra Magistral y la zona mineralizada La Descubridora.

La interpretación cualitativa regional permitió identificar la presencia de 5 unidades litomagnéticas que indican la distribución superficial y oculta de las principales unidades geológicas.

También se interpretaron lineamientos y curvolineamientos magnéticos probablemente asociados a fallas y calderas.

Como resultado de ésta interpretación y sobre la base del marco geológico regional y los modelos de mineralización presentes dentro de la carta, se seleccionaron zonas con características geológico-geofísicas y mineras favorables para ser prospectadas por metales base y preciosos, asociadas a los dominios magnéticos A_1 y A_2. Las zonas prospectivas más importantes son:

El dominio A_2 de la región de Calera, donde se detectó una extensión hacia el surponiente del afloramiento del cuerpo granítico relacionado con mineralización, está cubierto por depósitos aluviales recientes.

El sector nororiente de la carta constituye una zona altamente prospectiva donde se ubican varios dominios A_1 y A_2, cada uno con condiciones favorables para contener mineralización; como el dominio A_2 del Cerro El Chilicote, interpretado como un cuerpo intrusivo a profundidad cubierto por calizas cretácicas y rocas volcánicas terciarias, marco geológico similar al cercano distrito minero de Santa Eulalia.

El dominio A_1 de Punta de Agua, define la continuación de un cuerpo intrusivo hacia el norponiente, el cual está asociado a mineralización metasomática de Ag, Pb y Zn.

Los dominios A_1 de La Tinaja y La Cruz al noreste, se ubican en el margen estructural oriente de la Caldera de San Marcos y están relacionados en superficie con mineralización de metales preciosos.

Otros dominios magnéticos A_2 se asocian a afloramientos de intrusivos mineralizados, pero su extensión superficial está restringida al afloramiento, teniendo una mayor extensión a profundidad, lo que aumenta su potencial como en Sierra Magistral y Terrazas al suroriente y nororiente de la carta respectivamente.

La zona de lineamientos magnéticos NW-SE de 100 Km de longitud y 60 Km de ancho que cruza diagonalmente la parte central define una zona de cizalla que estructuralmente es favorable para el emplazamiento de cuerpos ígneos plutónicos y subvolcánicos con hidrotermalismo asociado que podría generar mineralización epitermal en las rocas volcánicas félsicas terciarias y de tipo skarn en el contacto con las calizas cretácicas.

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES

I.1.- INTRODUCCIÓN

Sin duda la dificultad cada vez mayor a la que se enfrenta el explorador, para la localización de los yacimientos minerales, ha originado la necesidad de auxiliarse de otras técnicas indirectas de exploración como son geofísica, geoquímica e imágenes de satélite, que como herramientas valiosas deben utilizarse conjuntamente para lograr el éxito que conduzca a encontrar yacimientos minerales susceptibles de ser explotados.

El Consejo de Recursos Minerales lleva a cabo el programa de elaboración de cartas geofísicas magnéticas, las cuales tienen el propósito de cubrir las áreas con mayor potencial minero en el territorio nacional, basándose en la compilación de trabajos anteriores, así como a levantamientos aeromagnéticos sistemáticos actuales. La Carta Magnética Chihuahua, H13-10, escala 1:250,000 forma parte de las publicaciones de este programa, aportando información básica que permitirá fundamentar futuras exploraciones.

La Carta Magnética Chihuahua corresponde a un mapa de intensidad magnética total corregida por IGRF, obtenido a partir del levantamiento aeromagnético realizado durante el año de 1997. Esta carta se localiza en la porción centro-occidental del estado de Chihuahua (Figura 1).

I.2.- FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la elaboración de la presente carta, los datos fueron obtenidos de los levantamientos aeromagnéticos realizados por el Consejo de Recursos Minerales en el año de 1997. Esta información 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.3.- PARÁMETROS Y EQUIPO UTILIZADO EN EL LEVANTAMIENTO.

Durante 1997 se realizó el levantamiento aeromagnético, siguiendo vuelos de contorno con altura promedio de vuelo de 300 m sobre la superficie del terreno, líneas de rumbo N-S, con separación de 1,000 metros y 11 líneas de control separadas a cada 10 Km.

El levantamiento se realizó en un avión bimotor Islander BN-B27, utilizando un sensor magnético de vapor de Cesio marca Scintrex CS-2, un magnetómetro con resolución de 0.001 nT (nanoteslas) con sensor fijo y un sistema de adquisición de datos, marca Picodas p101, el control de las trayectorias de vuelo se realizó mediante el sistema de navegación por satélite (GPS).

I. 4.- PROCESAMIENTO DE DATOS

Para la integración de los datos y la generación de los mapas. Se realizaron las siguientes etapas:

a). - Adquisición de datos aeromagnéticos.
La información aeromagnética recabada en forma digital se exportó a la estación de trabajo Sun Sparc 10 para su procesamiento e integración mediante el software Terratools, generándose archivos X, Y, y Z por líneas de vuelo y rejilla de 500 x 500 m. En la etapa previa se validó la información en campo revisándose línea por línea, así como el registro de la estación base monitora.

b). - Obtención de datos corregidos por el campo geomagnético.

Según los datos del observatorio de Teoloyucan, Mex., obtenidos para el período de 1923 a 1987, el campo geomagnético en la República Mexicana ha decrecido 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. Para el caso de la carta Chihuahua, a los datos aeromagnéticos se les sustrajo el valor del campo geomagnético tomando en cuenta la posición geográfica de la carta, las fechas del levantamiento y altura de vuelo.

Esta corrección se realizó utilizando el valor de IGRF90 (International Geomagnetic Reference Field) adoptado por la Asociación Internacional de Aeronomía y Geomagnétismo (IAGA, División V. Working Group 8, 1992).

Se aplicaron también correcciones por variación diurna, tie line y finalmente micronivelación.

Para que los datos fueran correctos, la revisión de los datos procesados se realizó mediante desplegados gráficos del mapa.

c). - Generación del mapa.

Para llegar a la obtención del mapa escala 1:250,000 los datos magnéticos se integraron en un archivo de coordenadas X, Y, Z, y se utilizó el algoritmo de interpolación por mínima curvatura (Briggs, 1974) para la generación de curvas de contorno cada 5 nT. El equipo utilizado fue una estación de trabajo Sun Sparc 10 con disco duro de 8.3 GB, 128 MB de RAM y velocidad de 51 Mhz.

d). - Graficación.

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

I. 5. - Características de la carta

La edición cartográfica se efectuó con el paquete ARC-INFO. Los intervalos de las curvas isomagnéticas se configuraron a cada 50 nT y los intervalos de color a cada 100 nT, indicando los altos magnéticos en tonos de rojo y los bajos en azules, con el propósito de visualizar fácilmente las anomalías dipolares, monopolares y los gradientes magnéticos.

En la interpretación cualitativa a nivel regional se indica con línea punteada los límites de los dominios litomagnéticos y con línea interrumpida los lineamientos magnéticos asociados a fallas y fracturas. (figura 2)

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

CAPÍTULO II.- CONTEXTO GEOLÓGICO

La Carta Magnética Chihuahua H13-10 comprende una superficie de 21,705 Km^2 y se ubica en la porción centro-occidental del estado de Chihuahua.

Fisiograficamente, queda comprendida, en su mayor parte, dentro de la provincia de la Sierra Madre Occidental, la que a su vez se divide en las Subprovincias de Altas Llanuras que comprende la parte central y la Subprovincia de La Mesa que abarca la porción surponiente. La región se caracteriza por sierras y mesetas de origen volcánico dispuestas en bloques

escalonados separados por amplios valles orientados al NW-SE.

Los extremos oriental y nororiental pertenecen a la Provincia de Cuencas y Sierras que se extiende desde Texas hacia el sur y se caracteriza por sierras alargadas de rocas precenozoicas y cenozoicas limitadas por fallas normales separadas por amplios valles (CRM, 1994).

La edad de las rocas que afloran dentro de la superficie de la carta varía desde el Proterozoico Medio hasta el Holoceno con un claro predominio de las rocas volcánicas félsicas y clásticas continentales del Terciario.

Estratigrafía

ERA PRECÁMBRICA

Las rocas más antiguas, que constituyen el basamento de la región, consisten de un complejo de rocas metamórficas cristalinas constituidas por gneises de la facies anfibolita (Blount, et al., 1988; Ortega, et al., 1992), cuarcitas y metagranitos que afloran en bloques limitados por fallas incluidos dentro de un flysh pérmico al que cabalgan mediante falla inversa de alto ángulo (CRM, 1997); Los gneises están intrusionados por diques anfibolíticos y pegmatíticos que afloran en las cercanías del rancho Los Filtros en la Sierra del Cuervo, ubicada en el extremo nororiente de la carta (Mauger, et al., 1983).

Los afloramientos son de pequeñas dimensiones y por su edad de 1.3 Ga (Blount, et al., 1988) se correlacionan con las rocas Grenvilianas del oeste y centro de Texas (James y Henry, 1993) y con los del Cerro Carrizalillo hacia el oriente, fuera de la carta (Quintero y Guerrero, 1985).

Estas rocas probablemente subyacen la mayor parte del subsuelo de la región y el norte y oriente del estado de Chihuahua como lo indican varios estudios isotópicos (Ruiz, et al., 1988; Nimz, et al. , 1986; Rudnick y Cameron, 1991).

ERA PALEOZOICA

Los afloramientos de rocas paleozoicas en el norte de México son escasos y generalmente están cubiertos por rocas mesozoicas.

Las rocas paleozoicas dentro de la carta están representadas por una gruesa secuencia de limolitas, lutitas y areniscas con lentes de calizas que contienen fusulínidos del Pérmico Inferior (Bridges, 1965). Su único afloramiento se ubica en la Sierra del Cuervo al extremo nororiente de la carta, en el núcleo de una estructura anticlinal. Se desconoce su espesor ya que no aflora su base; la secuencia está bastante deformada y localmente presenta discordancias angulares (Bridges, op cit.). Su contacto con las rocas proterozoicas autóctonas debe ser discordante y están cubiertas discordantemente por calizas cretácicas (CRM, 1994). Por su edad se correlacionan con la Formación Rara (Ramírez y Acevedo, 1957). Las rocas proterozoicas y paleozoicas no dan respuestas magnéticas características.

ERA MESOZOICA

Los afloramientos de rocas mesozoicas dentro de la carta son escasos, de poca extensión superficial y están representados principalmente por rocas cretácicas que afloran en la mitad oriental de la carta. Es notable la ausencia de rocas triásicas y jurásicas.

Sistema Cretácico Inferior

Este sistema está representado por 6 unidades litoestratigráficas que son de la más antigua a la más reciente, las siguientes:

Formación Navarrete.- Es la unidad mesozoica más antigua que aflora dentro de la superficie de la carta, está constituida por una secuencia de areniscas, lutitas y argilitas en capas delgadas con escasos horizontes de calizas y evaporitas, aflora únicamente en la Sierra Magistral donde alcanza un espesor mínimo de 600 m ya que no aflora su base.

Está cubierta concordantemente por la Formación Las Vigas e intrusionada por un cuerpo granodiorítico, su edad es del Berriasiano-Valanginiano (CRM,1997).

Formación Las Vigas.- Secuencia clástica constituida por areniscas, lutitas y limolitas de estratificación cruzada con restos de madera petrificada que aflora en la Sierra del Cuervo cubierta discordantemente por el Grupo Cuchillo. Su edad es del Valanginiano-Barremiano Inferior y se depositó en un ambiente continental mixto de mares someros.

Grupo Cuchillo.- Agrupa a las formaciones La Virgen, Cupido y La Peña que consisten de anhidritas, calizas masivas, calizas y lutitas delgadas hacia la cima, afloran en la Sierra Magistral donde alcanzan más de 580 m de espesor (CRM, 1997) y en las sierras del Cuervo, Chaconeña, Sacramento y Sierra Azul. La edad de éstas rocas es del Barremiano Inferior-Aptiano Tardío y están cubiertas concordantemente por el Grupo Aurora.

Grupo Aurora.- Agrupa a las formaciones Aurora, Tamaulipas Superior, Glen Rose, Walnut y Edwards, constituidas principalmente por calizas masivas, en estratos delgados a gruesos y hacia la cima una alternancia de calizas, calizas arcillosas, margas y lutitas depositadas en ambiente de plataforma nerítica. Es la unidad mesozoica de mayor distribución superficial siendo sus principales afloramientos los de la Sierra del Cuervo, donde alcanza más de 1,300 m de espesor (CRM,1997). Este grupo cubre concordantemente al Grupo Cuchillo y está cubierto discordantemente por un conglomerado. Su edad comprende un intervalo del Albiano Inferior al Albiano Medio.

Conglomerado Sacramento.- Conglomerado oligomíctico constituido por fragmentos de calizas principalmente de la Formación Tamaulipas Superior, mal clasificado y con buena estratificación que aflora al nororiente de Sacramento donde alcanza un espesor de 200 m. Cubre discordantemente a la Formación Glen Rose del Grupo Aurora y está cubierto discordantemente por rocas volcánicas terciarias. Por sus relaciones estratigráficas su edad se considera del Albiano Medio hasta el Maestrichtiano. Esta unidad marca el levantamiento de la porción nororiente de la carta y el inicio de un ciclo continental. Hacia la parte sureste la sedimentación marina es continua.

Grupo Washita.- Comprende las formaciones Kiamichi, Loma de Plata, Del Río y Buda constituidas por calizas, lutitas, bandas de pedernal, lutitas y calizas arcillosas; hacia la cima calizas de aguas profundas que afloran en la Sierra del Cuervo, donde alcanza un espesor de más de 300 m. En la Sierra Azul, Chaconeña y Magistral, cubre concordantemente al Grupo Aurora y está cubierto concordantemente por la Formación Ojinaga . Su edad es del Albiano Medio-Cenomaniano Temprano.

Sistema Cretácico Superior

Este sistema está representado por la Formación Ojinaga constituida de calizas arcillosas con intercalaciones de lutitas en estratos medianos a gruesos y la

Formación San Carlos constituida por una secuencia tipo flysch de areniscas y lutitas; ambas formaciones afloran solamente en el extremo suroriente de la carta en las sierras Magistral y Chaconeña (CRM, 1997). Cubriendo discordantemente a las formaciones anteriores, a finales del Cretácico, se deposita una serie de rocas volcánicas continentales constituidas por derrames y tobas andesíticas, brechas, flujos de lodo, cantidades menores de tobas riolíticas que forman el Grupo Volcánico Peñas Azules de por lo menos 3,000 m de espesor, con echados casi verticales y una edad de 68 a 62 Ma. (Cretácico Superior-Paleoceno). Estas rocas volcánicas representan la actividad magmática más antigua en toda la carta (McDowell y Mauger, 1994).

Las rocas volcánicas afloran al nororiente del Cañón de Majalca que se ubica hacia el noroeste de la Ciudad de Chihuahua. Constituyen las rocas precaldera de la caldera de San Marcos (Ferriz, 1981). Todas estas rocas están intensamente deformadas y propilitizadas; se interpretan como derivadas de un estratovolcán andesítico y por su edad se correlacionan con el Complejo Volcánico Inferior (McDowell y Keizer, 1977), se encuentran plegadas y algunas están afectadas por troncos graníticos del Cretácico Superior y Terciario, algunos asociados a mineralización polimetálica.

ERA CENOZOICA

Sistema Terciario

Este sistema está representado fundamentalmente por rocas volcánicas félsicas e intermedias predominando las tobas riolíticas, troncos plutónicos, cuerpos hipabisales graníticos asociados al volcanismo félsico y sedimentos clásticos continentales.

Las rocas volcánicas terciarias más antiguas consisten de una secuencia de depósitos piroclásticos silícicos, derrames andesíticos y riolíticos intensamente alterados y deformados que afloran a todo lo largo de la Sierra de Sacramento, al noroeste de Chihuahua, donde cubren discordantemente a calizas cretácicas subhorizontales. La edad de estas rocas abarca un intervalo de 62 a 55.6 Ma (McDowell y Mauger, 1994).

En la Sierra de Calera, porción centroponiente de la carta, también aflora un pequeño remanente de rocas paleocénicas que cubren a calizas cretácicas.

En la porción central de la Sierra de Sacramento las rocas paleocénicas están cubiertas discordantemente por andesitas no alteradas ni deformadas de 56 Ma (Eoceno Temprano) estas rocas se consideran postorogénicas derivadas de estratovolcanes y representan el límite superior de la Orogenia Laramide (McDowell y Mauger, op cit.).

En la región de Majalca las rocas volcánicas del Grupo Peñas Azules están cortadas y cubiertas por una secuencia subhorizontal constituida por una unidad clástica basal y varios horizontes de tobas riolíticas que comprenden un intervalo de 45 a 40.5 Ma (Eoceno Medio), pertenecen a la Caldera de Majalca-San Marcos, (Mauger, 1983), la cual ha sido intensamente erosionada conservando solo su porción norponiente (Ferriz, 1981) de donde se deduce un diámetro de 20 Km con un hundimiento mínimo de 250 m. Esta estructura resurgente tiene evidencias de mineralización de metales preciosos y uranio.

En la Sierra El Alamo Mocho al SE de Cusihuiriachi aflora una secuencia de tobas riolíticas de 900 m. de espesor con edad de 43 Ma. (Eoceno Medio) que encajona

vetas epitermales de Ag y Pb. Estas mismas rocas en la localidad de Buenos Aires, están afectadas por un cuerpo subvolcánico de 37.2 Ma (McDowell y Mauger, 1994).

En el flanco sureste de la Sierra Azul afloran tobas riolíticas silicificadas de 43 Ma que cubren discordantemente a calizas cretácicas y a su vez están cubiertas por andesitas de 42 a 40 Ma. (Eoceno Medio) que se extienden hacia el sur hasta el flanco norte de la Sierra Magistral en el extremo suroriente de la carta (CRM, 1997).

En la Sierra de Sacramento una secuencia de tobas riolíticas de 45 a 40.5 Ma (Eoceno Medio) cubren a andesitas paleocénicas y calizas cretácicas.

Cubriendo a las rocas eocénicas se tienen enormes afloramientos de tobas riolíticas oligocénicas tanto calcoalcalinas como peralcalinas con interdigitaciones de andesitas basálticas hacia la cima. Alcanzan espesores locales de hasta 3,000 m y están asociadas a estructuras de caldera, (Swanson y McDowell, 1984). Afloran prácticamente en toda la superficie de la carta y en general aumentan de espesor hacia la Sierra Madre Occidental. Representan el Supergrupo Volcánico Superior (McDowell y Clabaugh, 1979).

En la Sierra de Pastorías, extremo oriental de la carta, aflora una gruesa secuencia de tobas riolíticas de más de 3,000 m. de espesor relacionada a la caldera de Pastorías que se desarrolló durante el intervalo de 35 a 33 Ma. (Megaw, 1981). Estas tobas están cubiertas por andesitas basálticas de 33 a 30.5 Ma.

Las tobas de Pastorías también afloran en La Sierra Azul y Magistral donde cubren a las rocas eocénicas y están cubiertas por una toba peralcalina de 27.5 Ma (McDowell y Mauger., 1994) que constituye la roca volcánica más joven de la región y aflora en la parte central de la carta.

Hacia el norponiente de Tutuaca, en la Sierra del Alamo Mocho, aflora una secuencia de tobas riolíticas, derrames riolíticos, andesíticos y sedimentos volcanoclásticos de 800 m. de espesor, de afinidad calcoalcalina, con edades de 32.6 a 29.7 Ma. (McDowell y Mauger 1994).

Las tobas riolíticas oligocénicas anteriores están cubiertas por andesitas basálticas medianamente alcalinas de 27.5 a 27 Ma. (Oligoceno Tardío) que constituyen las rocas volcánicas más jóvenes junto con las tobas riolíticas peralcalinas.

En el Terciario Superior (Mioceno-Plioceno) se formaron extensos depósitos continentales que rellenaron fosas, depresiones y valles intermontanos, estos depósitos están constituidos por fragmentos clásticos de rocas volcánicas, conglomerados, gravas, arenas y arcillas mal consolidadas con espesores de más de 300 m que están mejor expuestos en la sección de Barrancas en la parte occidental de la carta. Estos depósitos continentales se formaron a consecuencia del fallamiento extensional de Cuencas y Sierras y comprenden un intervalo de 23 a 10 Ma, y son equivalentes a la Formación Baucarit del noroeste de México (Bartolini, et al., 1994). Los valles y llanuras están cubiertos por arenas y arcillas que constituyen el aluvión moderno.

Rocas ígneas intrusivas

Los afloramientos de este tipo de rocas son escasos ya que el área está cubierta en su mayor parte por rocas volcánicas terciarias y los pocos que existen se ubican principalmente en la parte oriental de la carta y consisten de cuerpos en forma de troncos y diques que afectan a las rocas

mesozoicas y a las volcánicas cenozoicas; algunos están asociados con mineralización polimetálica.

Los cuerpos intrusivos más importantes son los siguientes:

La Granodiorita El Magistral aflora como tronco de casi 3 Km de diámetro afectando a calizas cretácicas con diques félsicos asociados en la Sierra Magistral, al sureste de la carta. Su edad es de 59.3 Ma (Paleoceno Tardío) y está asociada a mineralización polimetálica tipo skarn de Cu, Fe y Au (McDowell y Mauger, 1994). Este cuerpo está asociado a un pequeño dipolo magnético (dominio A_1).

En el Rancho Los Filtros, extremo noreste de la carta, aflora un apófisis de granodiorita muy intemperizado que afecta a las calizas mesozoicas y a los sedimentos pérmicos con mineralización de Pb, Zn asociada, tiene una edad de 57.8 Ma. (McDowell y Mauger, 1994). No presenta respuesta magnética.

En el área de Punta de Agua, al noreste aflora un tronco cuarzomonzonítico con facies graníticas de hasta 4 Km de diámetro que afecta a calizas del Cretácico Inferior desarrollando horizontes de mármol con mineralización de Ag, Pb, Zn; tiene una edad de 57 Ma (Mauger, 1983). Hacia el noreste de Punta de Agua, en el distrito minero de Terrazas afloran apófisis de un intrusivo granodiorítico afectando a calizas con mineralización polimetálica, no se conoce su edad pero se considera similar al intrusivo de Punta de Agua. Estos dos cuerpos intrusivos están asociados a anomalías magnéticas A_1.

En la Sierra de Calera, en la porción centroponiente aflora un tronco granítico asociado a diques riolíticos y monzoníticos que intrusionan a calizas cretácicas y rocas volcánicas paleocénicas; está relacionado con mineralización tipo skarn de Ag, Pb y Zn. No se conoce su edad aunque se considera del Paleoceno similar al intrusivo de Terrazas. Su respuesta magnética es indicativa de un cuerpo de mayores dimensiones a profundidad extendiéndose hacia el surponiente bajo la cubierta de aluvión (dominio A_2).

En el extremo norponiente de la Sierra El Alamo Mocho, en la localidad de Buenos Aires, afloran dos troncos monzoníticos hipabisales posiblemente conectados a profundidad, que afectan a andesitas eocénicas y parecen estar asociados a mineralización epitermal en las rocas eocénicas y oligocénicas. Su edad es de 37.2 Ma, Eoceno Tardío (McDowell y Mauger 1994). Están asociados a un gran cuerpo magnético sepultado hacia el sur, bajo la Sierra El Durazno (dominio A_1).
En la localidad El Aguaje, en la porción sureste en el Cerro Grande, aflora un tronco granodiorítico de forma alargada con dirección NW-SE, de 8 Km de longitud, que afecta a calizas y areniscas cretácicas y rocas volcánicas oligocénicas con mineralización de Fe, Mn y Au asociada. La edad de este cuerpo es de 31.7 Ma. (McDowell y Mauger 1994). Está asociado a un monopolo magnético (dominio A_1).

Al sureste de Quevedo, en la porción centro-oriente afloran varios apófisis de granodiorita que afectan a rocas félsicas del Oligoceno Temprano, asociados a zonas de silicificación y vetas de cuarzo amatista. Se desconoce su edad pero se correlaciona con la granodiorita El Aguaje (CRM, 1997). Se correlaciona espacialmente con una zona de alta intensidad magnética (dominio B_2).

En el poblado de Santa Rosa, en la porción centro norte aflora un tronco subvolcánico de composición tonalítica y forma alargada con dirección NW-SE muy alterado. Sus relaciones de campo no están bien

definidas pero se considera asociado a las rocas volcánicas oligocénicas. (CRM, 1997). No da respuesta magnética característica.

Geología Estructural

El marco estructural de la carta es producto del evento comprensivo de la orogenia Laramide y del evento extensional de Cuencas y Sierras que controla la morfología actual de toda la región.

No se tienen datos de los indicadores cinemáticos de las rocas precámbricas y paleozoicas debido a lo reducido de sus afloramientos y a su grado de erosión, solo se infiere que la Orogenia Ouachitana les produjo un metamorfismo térmico de bajo grado con edades de enfriamiento del Paleozoico Tardío (Denison, et al., 1971).

Las calizas cretácicas presentan plegamiento con dirección NW-SE en las sierras El Magistral, Azul y la región de Calera. (CRM, 1997)

Las rocas volcánicas cretácicas y paleocénicas presentan una intensa deformación y alteración propilítica (McDowell y Mauger, 1994; Ferriz, 1981). Las rocas volcánicas eocénicas y oligocénicas solo están afectadas por fallamiento normal.

Los rasgos estructurales más notables dentro de la carta son fallas de rumbo N10-50°W que limitan bloques levantados y amplios valles paralelos.

En la parte central una serie de fallas de este sistema, estrechamente separadas, definen una zona de cizalla , que controló el emplazamiento de los cuerpos graníticos terciarios de Calera, Quevedo, El Aguaje y Magistral, esta zona de fallamiento transcurrente es paralela a la Megacizalla Mojave-Sonora (Anderson y Silver, 1979).

Hacia la parte oriental de la carta las fallas son casi N-S, más jóvenes e íntimamente relacionadas a la tectónica de Cuencas y Sierras. Un segundo sistema consiste en fracturas conjugadas N 50°-30° E que interrumpe la continuidad de las sierras, sobre todo en la parte central de la carta y al parecer controla la formación de las lagunas Los Mexicanos y Bustillos.

No se conoce el desplazamiento vertical de las fallas NW-SE pero en algunos lugares es de más de 100 m, como en la Sierra de Pastorías (Megaw, 1981). La traza de varias de estas fallas está oculta por el material aluvial que rellena los bolsones, pero son evidentes en los lineamientos magnéticos interpretados.

Otros rasgos estructurales lo constituyen la presencia de grandes estructuras de calderas resurgentes asociadas al volcanismo félsico del Eoceno y Oligoceno. Las más notables son el Complejo de las calderas de Las Varas y Tomochic de aproximadamente 20 Km de diámetro en el sector surponiente de la carta y la Caldera de Corralitos de 25 Km de diámetro al noreste de la de Tomochic (Swanson y McDowell, 1984 y 1985).

En el extremo noreste se ubica la caldera de San Marcos o de Majalca, de 20 Km de diámetro, de la cual solo aflora una parte y al parecer corresponde a una estructura compleja de calderas anidadas (Megaw, 1981; Ferriz, 1981).

En el límite oriental de la carta se ubica la caldera de Pastorías de 20 Km de diámetro y al sureste de ésta la caldera Nuevo de tipo resurgente con 10 Km de diámetro y un paquete de tobas riolíticas de 800 m de espesor, que forman el domo resurgente (Megaw, 1981).

Estas estructuras volcanotectónicas jugaron un papel importante en la metalogénesis de la región, como lo

demuestra el distrito minero de Santa Eulalia. (Megaw, 1990).Existen otros curvolineamientos dentro de la carta pero no se ha definido con trabajos de campo si se trata de verdaderas calderas.

Evolución Tectónica

Toda la región de la Carta Chihuahua, al igual que la porción centro y norte del estado, forman parte del Cratón de Norteamérica (Campa y Coney, 1983; Sedlock, et al., 1993; Handschy, et al., 1987; Stewart, 1988), el cual tiene una evolución tectónica muy compleja, aún con puntos oscuros por definir debido a la escasez de afloramientos de rocas proterozoicas.

La historia magmática de las rocas cratónicas proterozoicas del norte de México es similar a la del suroeste de los Estados Unidos (Denison, et al., 1971; James y Henry, 1993).

La evolución tectónica de la región se inicia con la formación y deformación del basamento proterozoico autóctono (de 1,600 a 1,500 Ma), hacia el sur y sureste se une con un cinturón de rocas ígneas y sedimentarias cuyas edades varían de 1,300 a 1,000 Ma que vienen desde Texas y pasan por la parte norte de la carta bajo la Sierra del Cuervo y del Nido. Estas rocas fueron deformadas, metamorfoseadas y acrecionadas al Cratón de Norteamérica durante la Orogenia Grenviliana (de 1,200 a 1,100 Ma) formando una compleja faja estructural con dirección E-W con vergencia hacia el norte (Bickford, 1988).

Aunque dentro de la carta las rocas grenvilianas están limitadas por fallas (Blount, et al., 1988) se consideran autóctonas con respecto al cinturón principal grenviliano y probablemente subyacen la región norte y oriente de Chihuahua, como lo indican diversos estudios isotópicos (Nimz, et al., 1986; Roberts y Ruiz, 1989; Cameron, et al., 1992; James y Henry, 1993).

Del Proterozoico Tardío al Cámbrico (Stewart, 1976), el Cratón de Norteamérica sufrió un complejo rompimiento continental que formó el margen sur pasivo del cratón y produjo bloques microcontinentales que derivaron en el océano Iapetus, alejándose del cratón. Algunos de estos bloques autóctonos después de sufrir una compleja historia de transporte tectónico constituyen el basamento grenviliano del centro y sur de México (Sedlock, et al., 1993). El margen sur del cratón el Proterozoico de Norteamérica queda definido hacia el sur por la traza de la Megacizalla Mojave-Sonora que se extiende hacia el norponiente hasta Sonora (Anderson y Silver, 1979). Durante la mayor parte del Paleozoico la región estuvo emergida y sometida a una intensa erosión. A finales del Paleozoico la región noreste de la carta es afectada por una subsidencia cratónica que forma parte de la continuación hacia el sur de la Cuenca Pedregosa, formada posiblemente en respuesta al levantamiento del basamento con la formación de cuencas asociadas (Handschy, et al., 1987).

En esta cuenca intracratónica se depositan, sobre la plataforma continental, sedimentos turbidíticos y deltaicos de la Formación Rara o Villa Aldama (Ramírez y Acevedo, 1957). Estos sedimentos fueron deformados a consecuencia de la Orogenia Ouachita que alcanza su clímax en el Paleozoico Tardío (Ross, 1979) y está representada por la faja orogénica Ouachita que cabalga al Cratón de Norteamérica en la porción oriental de Chihuahua, fuera de la carta (Handschy, et al., op cit.).

A consecuencia del levantamiento regional producido por la Orogenia Ouachita, la región queda como elemento positivo formando parte de la Península de Aldama

y sujeta a intensa erosión durante el Triásico y Jurásico.

A fines del Jurásico Superior la región es afectada por una tectónica transpresiva iniciada desde el Triásico con la separación de Norteamérica, Sudamérica y Africa, que se manifiesta a gran escala al noroeste de la región con el desarrollo del sistema de fallas Mojave-Sonora con movimiento siniestro (Silver y Anderson, 1979; Stevens, et al., 1992). Dentro de la carta ésta tectónica está representada por el hundimiento gradual de una cuenca intracratónica, Cuenca de Chihuahua, que generó una serie de fallas laterales de rumbo NW-SE (Henry y Price, 1986), y estuvo ligada a la apertura del Golfo de México. Esta cuenca estaba limitada por bloques positivos hacia el nororiente (Plataforma del Diablo), surponiente (Plataforma de Aldama) y norponiente (Plataforma Florida-Moyotes); es invadida por las aguas marinas desde el suroriente desde el ancestral Golfo de México (Handschy, et, al., 1987; Dyer, et al., 1988).

La interacción entre estos elementos paleogeográficos controlaron la sedimentación mesozoica en toda la región y provocaron fases transgresivas y regresivas evidentes en el registro estratigráfico por la presencia de capas rojas, evaporitas, sedimentos mixtos y carbonatos de plataforma que en conjunto alcanzan un espesor de más de 5,000 m.

En el Albiano Medio, la porción nororiente de la carta es levantada y sometida a intensa erosión formándose el Conglomerado Sacramento, mientras que en el resto de la carta permanecen las mismas condiciones marinas.

A finales del Cretácico Superior, en el Maestrichtiano, se inician las primeras manifestaciones de un arco magmático continental en el centro de Chihuahua con la emisión de rocas volcánicas calcoalcalinas, félsicas a intermedias, asociadas a pequeños troncos intrusivos representados por el Complejo Volcánico Majalca y las andesitas de Peñas Azules, equivalentes al grupo Volcánico Inferior de la Sierra Madre Occidental (McDowell y Keizer, 1977).

Este evento coincide con el inicio de la Orogenia Laramide debido al incremento en la tasa de convergencia de la placa Farallón bajo la placa de Norteamérica en el norponiente de México (Atwater, 1970; Coney, 1978). A consecuencia de este evento compresivo se inicia el levantamiento de toda la región principalmente la zona nororiente de la carta que da origen al depósito de sedimentos clásticos en varios lugares, así como el plegamiento asimétrico de las rocas de la Cuenca de Chihuahua que se deslizan hacia el oriente y nororiente sobre depósitos evaporíticos que sirvieron como superficies de “decollement”.

Los pliegues y cabalgaduras así producidos forman la Faja Tectónica de Chihuahua con plegamientos asimétricos y fallas inversas de desplazamiento al nororiente con un acortamiento del 25 % (Dyer, et al., 1988).

En el Paleoceno el magmatismo es más discreto y está representado por el emplazamiento de troncos graníticos y derrames andesíticos a riolíticos que cubren una topografía muy abrupta.

En el Eoceno Temprano, derrames andesíticos no deformados de 56 Ma (McDowell y Mauger, 1994) marcan el fin de la Orogenia Laramide en la región.

En el Eoceno Medio se inicia una intensa actividad volcánica que abarca un intervalo de 46 a 39 Ma dominado por tobas riolíticas y lavas andesíticas que en la parte nororiente de la carta están asociadas a la Caldera San Marcos (Ferriz, 1981). Estas

rocas forman parte de un vulcanismo eocénico muy difundido a todo lo largo del norponiente de México (Aguirre y McDowell, 1991) probablemente debido a una reorganización en la geometría de las placas en el Pacífico oriental por disminución en la tasa de convergencia entre las placas Farallón y Norteamérica (Coney, 1978).

En el Oligoceno, durante el intervalo de 36 a 27 Ma se produce un nuevo evento volcánico calcoalcalino durante el cual se produce la gran erupción ignimbrítica que da origen a la Sierra Madre Occidental (McDowell, et al., 1990).

Este volcanismo es el más voluminoso y de mayor distribución dentro de la carta y estuvo asociado a grandes complejos de caldera (Calderas de Tomochic, Corralitos, San Marcos, Pastorías y Nuevo), que emitieron espesores de hasta 1,000 m. de tobas riolíticas (Swanson y McDowell, 1984 y 1985).En el Oligoceno Medio, de 33 a 27 Ma., se produce un vulcanismo de andesitas basálticas medianamente alcalinas distribuido en toda la carta que cubre a las rocas calcoalcalinas y es cubierto por riolitas peralcalinas de 27 Ma.

A los 31 Ma la actividad calcoalcalina disminuye significativamente debido al choque de la dorsal con la trinchera y marca el inicio de la extensión. La extensión inicial fue pequeña y se produjo a lo largo de fallas lístricas y fue contemporánea con las últimas fases del volcanismo calcoalcalino (Henry y Price, 1986; Price y Henry, 1984).

Las riolitas y tobas riolíticas peralcalinas de 27.5 a 27 Ma. constituyen las rocas volcánicas mas jóvenes de la carta y marcan el fin de la subducción por consumo de la Placa Tectónica Farallón (Coney, 1978; McDowell y Mauger, 1994).

En la región de Trans-Pecos, Texas, fuera de la carta, hasta los 32 Ma los esfuerzos fueron compresivos con dirección NNE, después los esfuerzos cambiaron a extensionales con dirección ENE (Price y Henry, 1984). Aunque dentro de la carta no existe registro geológico, se considera que el fallamiento normal en el centro de Chihuahua no apareció antes de 24 Ma y fue similar a gran parte de la Cordillera Sur (Henry y Price, 1986; Henry y Aranda, 1992).

El fallamiento normal fue posterior a todo el volcanismo oligocénico y comprendió un período de 24 a 17 Ma. y estuvo acompañado por un vulcanismo alcalino al oriente de la región, fuera de la carta (Henry y Price, 1986). Este fallamiento normal extensional produjo sierras alargadas limitadas por fallas cuyo levantamiento y erosión produjeron extensos depósitos clásticos que rellenaron los amplios valles (bolsones) dejados por los bloques hundidos.

El mayor desplazamiento de las fallas fue normal y en parte deslizamiento oblicuo lateral derecho sobre fallas preexistentes NW-SE del Basamento Precámbrico-Paleozoico (Stevens, et al., 1992). Este fallamiento es el responsable de la morfología actual de la región.

Hace 10 Ma los esfuerzos cambian nuevamente a una dirección extensional NNW que es la que rige hasta la actualidad (Henry y Price, 1986).

Actualmente dentro de la superficie de la carta no se han detectado evidencias de actividad tectónica ni magmática reciente, dominando la erosión y sedimentación continental, principalmente en la parte poniente.

Yacimientos Minerales

Las principales evidencias de mineralización económica dentro de la carta se ubican en la porción oriental donde sobresalen por su producción los distritos mineros de Cusihuiriachi, Calera y Terrazas, así como las zonas mineralizadas de Minillas, La Descubridora y Milpillas. Actualmente todos estos distritos y zonas mineralizadas están inactivos (CRM, 1994).

Los tipos de yacimientos que se presentan dentro de la superficie de la carta son los hidrotermales de tipo epitermal, en forma de vetas con mineralización de sulfuros polimetálicos y los yacimientos de metasomatismo de contacto (tipo skarn) en forma de mantos, chimeneas, cuerpos de reemplazamiento irregulares y relleno de cavidades cársticas asociados a troncos graníticos terciarios.

El distrito minero más importante, por el volumen de su producción, es el de Cusihuiriachi que se localiza en el sector centro-sur de la carta y consiste de una serie de vetas epitermales de rumbo NE y en menor grado NNW con una longitud de hasta 2 Km y espesores de 0.3 a 2.0 m. con un máximo de 10 m, estas estructuras contienen mineralización de Ag, Au, Pb, Zn.

Las vetas están emplazadas en tobas riolíticas del Eoceno, de facies intracaldera, afectadas por pequeños troncos y diques graníticos (CRM, 1994).

Este distrito produjo más de 1´500, 000 ton. de mineral en el pasado y se considera que aún tiene potencial a profundidad y lateralmente hacia el NE, buscando la continuidad de las vetas a profundidad en un bloque hundido.

El distrito minero de Calera se ubica en el sector centro-poniente y consiste de un cuerpo de reemplazamiento en forma de chimenea (La Prieta) emplazado dentro de calizas cretácicas afectadas por un tronco granítico.

Esta chimenea produjo más de 600,000 ton. de mineral de Ag, Pb y principalmente Zn. El distrito tiene condiciones estructurales favorables a profundidad para contener cuerpos mineralizados ocultos ya que el intrusivo granítico se extiende a profundidad hacia el surponiente, bajo la cubierta de material de relleno como lo indica la respuesta magnética asociada a este distrito (dominio A_2).

Otro distrito importante es el de Terrazas, ubicado en el extremo nororiente donde se explotaron cuerpos de skarn con mineralización de Au, Ag, Pb y Cu emplazados en la zona de contacto de la Caliza Aurora con un intrusivo granodiorítico terciario.

Este distrito produjo más de 150,000 ton. de mineral de las cuales el 5% fue Cu. (CRM, 1994). Actualmente su actividad se restringe al gambusinaje, sin embargo se considera que tiene potencial de exploración en los bordes del intrusivo granodiorítico (dominio A_1).

La zona mineralizada de Milpillas se ubica en el extremo centro-sur de la carta, al sur del distrito minero de Cusihuiriachi y consiste de una serie de vetas de cuarzo epitermales con mineralización de Ag, Pb, y Zn con rumbo N45-60°W y N10°E que alcanzan longitudes de 1,200 m. y espesores de 0.7 a 1.2 m (CRM, 1994).

Las vetas están emplazadas en tobas y derrames andesíticos y riolíticos oligocénicos afectados por troncos graníticos y han producido más de 80,000 ton. de mineral. La zona se correlaciona con un cuerpo magnético oculto que puede ser el basamento o un intrusivo de dimensiones batolíticas a profundidad (dominio A_1).

A 17 Km al norponiente de la Ciudad de Chihuahua se ubica la zona mineralizada de Minillas en donde se explotaron cuerpos de reemplazamiento en forma de mantos y bolsadas irregulares con mineralización de Au, Ag, Pb y Zn emplazados en calizas cretácicas. Se desconoce su producción aunque siempre se explotó a baja escala.

Esta zona tiene un gran potencial a profundidad para contener cuerpos similares a los de Santa Eulalia, sobre todo que se ubica en el margen suroriente de la Caldera de Majalca, o San Marcos, donde las calizas corresponden a las rocas precaldera; la zona se correlaciona con un intrusivo interpretado a profundidad (dominio A_1).

La zona mineralizada La Descubridora se localiza inmediatamente al norte de la Ciudad de Chihuahua donde se explotaron mantos de reemplazamiento y cuerpos irregulares de relleno de cavidades con mineralización de Au, Ag, Pb, Fe y Mn, dentro de calizas cretácicas. Esta zona tiene un alto potencial a profundidad ya que se ubica en el borde sur de un probable intrusivo a profundidad bajo la Sierra de Sacramento, como lo indica la magnetometría (dominio A_2).

Existen otras evidencias de mineralización dentro de la carta como vetas epitermales de Ag, y Au en el borde norte de la Caldera de Tomochic y vetas epitermales en ignimbritas eocénicas de la facie intracaldera de la Caldera de Majalca con mineralización subeconómica de U y Au (Ferriz, 1981). En el flanco poniente de la Sierra de Pastorías existen varias manifestaciones de Ag, Au y Mn en forma de vetas, asociadas a las calderas de Pastorías y Nuevo (CRM, 1994).

Otras evidencias de mineralización incluyen intensa alteración hidrotermal (oxidación y silicificación) acompañada por vetas epitermales de Au y Ag dentro de tobas riolíticas, al suroriente de Pedernales, suroriente de Alvaro Obregón (Los Gavilanes), Sierra El Comanche, al sur de la Sierra el Tambor y en Punta de Agua, donde además de vetas existen zonas de skarn asociadas a un intrusivo cuarzomonzonítico.

En la Sierra Magistral, al suroriente de la carta, existen manifestaciones de mineralización metasomática de Ag, Pb, Zn, Cu y Fe asociadas a un tronco granodiorítico que afecta a calizas cretácicas (CRM, 1997).

En la zona de El Aguaje aflora un skarn tabular de rumbo NW-SE con mineralización de Fe y Au en la zona de contacto de la caliza cretácica y la granodiorita oligocénica.

Con respecto a la edad de mineralización no existe información de detalle al respecto, sin embargo, se puede decir que existen prácticamente dos eventos principales de emplazamiento de cuerpos intrusivos: uno en el Paleoceno (60-57 Ma) y otro oligocénico (37 a 32 Ma) cada uno de los cuales produjo mineralización metasomática e hidrotermal asociada (McDowell y Mauger, 1994).

El emplazamiento de la mineralización epitermal también se produjo por lo menos en dos eventos, uno en el Eoceno que no afectó a las rocas oligocénicas y otro evento en el Oligoceno posiblemente asociado al volcanismo riolítico y a la formación de grandes estructuras de caldera resurgentes que fueron el foco de gran actividad magmática con hidrotermalismo asociado que dio origen a yacimientos como los de Santa Eulalia (Megaw, 1990).

Áreas con potencial geológico para exploración minera

La región de la carta Chihuahua, como parte del Cratón de Norteamérica, ha sufrido una compleja evolución tectónica que involucra una colisión continental a fines del Paleozoico, un proceso de "rifting", evolución y desarrollo de una Cuenca Sedimentaria en el Mesozoico, intenso plegamiento desde finales del Cretácico hasta el Terciario Inferior acompañado de un magmatismo que se prolonga hasta el Oligoceno, debido a la migración del arco magmático hacia el oriente (Clark, et al., 1982) y finalmente una tectónica distensiva al cesar la subducción (Henry y Aranda, 1992).

Las manifestaciones de mineralización más importantes de la región están ligadas genéticamente al emplazamiento de intrusivos graníticos terciarios que produjeron mineralización de metasomatismo de contacto en calizas cretácicas y vetas epitermales en las rocas volcánicas afectadas.

El volcanismo félsico del Eoceno-Oligoceno, asociado a la formación de calderas resurgentes, también produjo mineralización epitermal de metales preciosos en las rocas precaldera (Caldera de Tomochic) y en las facies de intracaldera (Caldera de Majalca).

De acuerdo a lo anterior, se considera que las zonas más favorables para la exploración minera son las zonas donde afloran los intrusivos graníticos afectando a calizas cretácicas, fundamentalmente a lo largo de una zona fracturada y cizallada con dirección N45°-50°W de 60 Km de ancho que cruza diagonalmente la parte central, en una extensión de 100 Km constituyendo una zona de debilidad cortical por donde ascendieron varios cuerpos intrusivos en forma de tronco como los de Calera, Magistral, El Aguaje, Quevedo y Buenos Aires; la mayoría asociados a mineralización metasomática polimetálica con vetas hidrotermales secundarias.

Dentro de esta misma zona también se ubican las principales manifestaciones de vetas epitermales de la carta, el distrito minero de Cusihuiriachi y la zona mineralizada de Milpillas. En esta última localidad con magnetometría se detectó un cuerpo magnético a profundidad que se interpreta como un intrusivo de dimensiones batolíticas, probablemente asociado con la mineralización epitermal de la zona; otra explicación alterna es que, por su profundidad, la anomalía podría corresponder al basamento magnético de la región.

La zona de Calera constituye una localidad favorable para la exploración minera, hacia donde se detectó la continuación a profundidad del intrusivo granodiorítico bajo la cubierta de material de relleno.

El sector nororiente también tiene condiciones geológicas favorables para la exploración en la zona de afloramiento de los intrusivos de Terrazas y Punta de Agua. Bajo la Sierra de Sacramento (Cerro Chilicote) con magnetometría se detectó la presencia de un probable cuerpo intrusivo a profundidad, el cual no tiene expresión superficial. La anomalía está asociada a mineralización en la zona La Descubridora, similar a la del distrito minero de Santa Eulalia.

La presencia de varias estructuras de caldera, tipo resurgente, relacionadas al vocanismo félsico de la región, constituye un marco estructural favorable para la presencia de mineralización epitermal asociada a la actividad magmática e hidrotermal producida durante la etapa de resurgencia.

En este aspecto, el nivel de erosión de la caldera juega un papel importante donde

las zonas más favorables son las rocas precaldera y los niveles inferiores de las facies intracaldera, como es el caso de las calderas de Tomochic y Majalca respectivamente, sobre todo ésta última que presenta un intenso fracturamiento con mineralización asociada (zona de Minillas).

CAPÍTULO III.- DISCUSIÓN DE LA INTERPRETACIÓN REGIONAL

La información aeromagnética contenida en la Carta Chihuahua H13-10 tiene alcance de carácter regional, por la escala del mapa, en el cual se interpretan indirectamente rasgos geológicos del subsuelo, infiriendo la distribución y naturaleza de las rocas ocultas como: intrusivos, rocas sedimentarias y metamórficas, rocas volcánicas, fallas profundas y controles estructurales favorables para la presencia de depósitos minerales; rasgos que se obtienen en base al contraste de susceptibilidad magnética de los materiales del subsuelo, originado por la composición mineralógica de las rocas.

En la presente carta se realizó una interpretación cualitativa de carácter regional indicándose los rasgos magnéticos principales, estos resultados están sujetos a discusión y se proporcionan como una base para análisis más profundos, dependiendo de los objetivos y uso de la información.

Para obtener una información con más detalle en áreas específicas de interés, se requiere llevar a cabo una interpretación cuantitativa, basada en cálculos y modelados que proporcionen datos de profundidad a la cima de los cuerpos magnéticos y espesores de las unidades sobreyacentes, 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.

Dominios Magnéticos

Se identificaron 5 dominios magnéticos indicados con las letras A_1, A_2, B_1, B_2 y C los cuales se diferencian de acuerdo a su intensidad de magnetización, gradiente magnético y amplitud dipolar (Figura 2).

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 -100 a + 250 nT, su expresión magnética es de anomalías de bajo gradiente y forma regular, la mayoría de las veces la respuesta está distorsionada por el efecto de las rocas volcánicas superficiales.

Dentro de la superficie de la carta se presentan 14 dominios magnéticos A_1; se ubican en ambiente de rocas volcánicas y sedimentarias de las provincias Sierra Madre Occidental y Cuencas y Sierras del Norte de México.

En la porción surponiente de la carta se detectó un monopolo magnético (dominio A_1) con una intensidad de +150 nT, se interpreta como la respuesta de un cuerpo magnético situado en el borde norte de la caldera de Tomochic.

En el extremo centro-poniente se presenta una anomalía magnética monopolar A_1, ubicada en el poblado de Heredia y Anexas, esta anomalía se atribuye a la respuesta de un cuerpo intrusivo con intensidad magnética de +150 nT y de pequeñas dimensiones cubierto por rocas volcánicas.

El dominio magnético $A_{1,}$ que se localiza en la porción surponiente de la carta, al norte del rancho la Mesa, definido como una anomalía monopolar con intensidad de +200 nT, se atribuye a un cuerpo intrusivo sepultado por rocas volcánicas terciarias al sur de la caldera de Tomochic, con una orientación NW-SE.

El dominio magnético A_1, al norte-centro está por definir una anomalía monopolar con intensidad de –100 a +200 nT, ubicada en la Sierra Mezcalera, se interpreta como un cuerpo intrusivo sepultado.

El dominio magnético A_1 localizado al centro de la carta y al sur de la Sierra San Juan, se define como una anomalía monopolar de 150 nT de intensidad, se interpretó como la respuesta de un cuerpo intrusivo que se halla emplazado a profundidad, cubierto por rocas volcánicas presentando una orientación NW-SE.

El dominio A1, ubicado en el extremo centro sur, está definido por una anomalía monopolar de +25 nT. Se atribuye a un cuerpo magnético sepultado por la secuencia volcánica reiolítica, este cuerpo magnético sepultado se interpreta como un intrusivo de dimensiones batolíticas cuyos apófisis afloran en la zona de Milpilla y Buenos Aires. La interpretación también contempla un levantamiento del basamento metamórfico pre-Jurásico. En Milpillas existen vetas de sulfuros metálicos encajonados en las rocas volcánicas.

Los dominios magnéticos A_1 localizados en la porción nororiente están definidos como anomalías monopolares con intensidad de +150 nT, se ubican en Milpillas y Guerachic de Abajo y se interpretaron como cuerpos intrusivos sepultados, dentro de un ambiente volcánico en el margen poniente de la Caldera San Marcos (Ferriz,1981).

El dominio magnético A_1 localizado al suroriente en el Rancho Santa Gertrudis, tiene una intensidad de +150 nT, se presenta como una anomalía de bajo gradiente, esta anomalía se interpreta como un cuerpo intrusivo profundo, probablemente asociado a la Caldera de Pastorías.

El dominio magnético A_1 al suroriente de la carta está definido como una anomalía monopolar con intensidad de +300 nT y un diámetro de 3 Km se correlaciona con el afloramiento del Tronco granodiorítico de la Sierra Magistral, que intrusiona a rocas sedimentarias del Mesozoico (McDowell y Mauger, 1994).

Otro dominio magnético A_1, situado al suroriente está definido como una anomalía dipolar con intensidad de +200 nT, dicha respuesta se correlaciona parcialmente con un afloramiento granodiorítico en la localidad del Aguaje (McDowell y Mauger, op cit), donde se observa mineralización de Au y Fe tipo skarn en la zona de contacto intrusivo-caliza.

El dominio magnético A_1 localizado al nororiente está definido como una anomalía monopolar, con intensidad de +100 nT, se ubica en el rancho La Cruz al sur de la Sierra el Mogote, se atribuye a un cuerpo intrusivo cubierto por rocas volcánicas riolíticas y andesíticas, correlacionándose espacialmente con evidencias de mineralización en forma de vetas de Au, Ag, Pb y Zn (zona mineralizada de Minillas).

Los dos dominios magnéticos A_1, localizados en el nororiente están definidos como anomalías monopolares con intensidad de +150 y +250 nT, localizados sobre el distrito minero de Terrazas y Punta de Agua respectivamente, se correlacionan parcialmente con

afloramientos de cuarzomonzonita y granito emplazados en calizas mesozoicas.

Dominios Magnéticos A_2

Los dominios magnéticos A_2 se definen como anomalías magnéticas dipolares de alta y moderada intensidad cuyas respuestas se atribuyen a rocas intrusivas de composición intermedia a máfica, tienen intensidades de –400 a +700 nT; estas anomalías son escasas y se ubican principalmente en los extremos poniente y oriente de la carta.

Sobre el poblado de Ciudad Guerrero se definió una anomalía dipolar (dominio A_2), con intensidad de -150 a +400 nT, esta respuesta se atribuye a un cuerpo intrusivo cubierto por rocas volcánicas y material reciente. Parte de esta anomalía magnética se correlaciona con un afloramiento granodiorítico y una serie de diques riolíticos y monzoníticos que afectan ligeramente a los derrames y brechas de composición intermedia a máfica del Paleoceno (CRM, 1997).

El domino magnético A_2 localizado 6 Km al sur de Venustiano Carranza, se define como una anomalía dipolar de –400 a +400 nT, respuesta que se atribuye a un cuerpo intrusivo cubierto por tobas riolíticas y andesitas basálticas en la porción norponiente de la carta, éste cuerpo presenta una tendencia NW-SE y, junto con el intrusivo de la Sierra Mezcalera, parece estar relacionado a profundidad con el intrusivo granítico de Calera (Figura 3).

El dominio magnético A_2 localizado al norponiente en el poblado de Carichic, se define como una anomalía dipolar de alta intensidad con valores de –700 a +950 nT, por su forma se interpreta como un Tronco intrusivo de composición máfica cubierto por rocas volcánicas y material de relleno.

En la porción centro-sur de la carta se definió una anomalía dipolar (dominio magnético A_2), con intensidad de +400 nT, se localiza en el rancho Buena Vista, y se interpreta como la respuesta de un cuerpo intrusivo cubierto por rocas volcánicas terciarias y material reciente. Esta respuesta se halla dentro del amplio dominio de un alto magnético ubicado al sur de la carta, lo que sugiere que estas anomalías A_2 y A_1 ubicadas en esta región pueden corresponder a un mismo Tronco ígneo, teniéndose la anomalía A_2 más somera que la A_1.

En el extremo oriental, con centro en el Rancho La Noria al oriente de Palomas, se tiene una anomalía magnética dipolar (dominio A_2), cuya intensidad es de 300 nT; esta anomalía se interpreta como la respuesta de un cuerpo intrusivo sepultado bajo rocas volcánicas.

El dominio magnético A_2 localizado en el extremo nororiente en el Cerro El Chilicote, se define como una anomalía dipolar con intensidad de 600 nT, ésta respuesta magnética se atribuye a un cuerpo intrusivo cubierto por rocas volcánicas y sedimentos recientes.

Dominios Magnéticos B_1 y B_2

Los dominios magnéticos B_1 y B_2 se atribuyen a las rocas volcánicas producto del intenso vulcanismo de la Sierra Madre Occidental, constituidas por dos secuencias volcánicas calcoalcalinas: Secuencia Inferior compuesta por rocas volcánicas de composición intermedia y la Secuencia Superior constituida por ignimbritas y riolitas producto de grandes calderas de composición intermedia a máfica (McDowell, et al., 1990). Estos dominios magnéticos B_1 y B_2 se encuentran distribuidos en gran parte de la superficie que cubre la carta y se asocian al volcanismo terciario.

Los dominios magnéticos B_1 están representados por altos y bajos con tendencias magnéticas irregulares. Estos dominios están presentes en la mayor parte de la carta y se correlacionan con afloramientos de rocas volcánicas, tobas riolíticas, andesitas basálticas y conglomerados producto de la erosión que cubren a éstas rocas volcánicas.

La intensidad magnética de las unidades B_1 va de –300 a +100 nT, constituyendo el nivel de fondo en la mayor parte de la carta.

El dominio magnético B_1 localizado en el extremo poniente de la carta, es una respuesta magnética que se correlaciona con afloramientos de riolitas y andesitas basálticas ubicadas al norte de la caldera de Tomochic; el dominio positivo en esta localidad, por su tamaño e intensidad de 200 nT, aparenta formar parte de un dominio A_1 situado en el rancho El Pinito, de acuerdo al mapa de continuación de campo (Figura 3).

El dominio magnético B_1 localizado en el centro norte de la carta entre los poblados de Alvaro Obregón, Vista Hermosa y San Diego del Monte, es un dominio positivo el cual se correlaciona superficialmente con un conglomerado y material de relleno que cubre el cuerpo magnético principal el cual podría ser un intrusivo oculto situado al norponiente de la Laguna de Bustillos, según el mapa de continuación de campo ascendente a 4,000 m s.n.t. (Figura 3).

Los dominios magnéticos B_2 se detectan en toda la carta y se caracterizan por un agrupamiento de anomalías dipolares y monopolares de alta intensidad, que cubren amplias superficies de las partes altas y laderas. Estas respuestas se asocian a riolitas, traquitas y andesitas pero principalmente a los basaltos y andesitas basálticas, rocas más máficas expulsadas al final del volcanismo riolítico hace 30 Ma (McDowell y Mauger, 1994).

Los principales dominios magnéticos B_2 presentan intensidades que van de -1600 a +700 nT en el centro norte; de -550 a + 50 nT en Tomochic; -900 a 450 nT, alrededor de la Ciudad de Chihuahua; -1000 a +1200 nT entre el Aguaje y Anáhuac y, el menos intenso, de -100 a +200 nT ubicado al suroriente de la carta, en la Mesa El Tarangeño. Muchas de las rocas volcánicas que producen estas anomalías se hallan parcialmente cubiertas por material reciente.

Dominio Magnético C

El dominio magnético C se caracteriza por una respuesta magnética de bajo gradiente, no muy extensa, su intensidad va de –150 a –50 nT, su respuesta se atribuye a rocas sedimentarias que no se encuentran cubiertas por rocas volcánicas.

Se interpretaron 4 zonas de este tipo las cuales se ubican en la región de Matachic al extremo norponiente, oriente del Rancho Colorado, poblado de Domínguez al nororiente y la zona de la esquina nororiental de la carta (Figura 2).

Lineamientos y curvolineamientos magnéticos

Se interpretaron 2 sistemas de lineamientos magnéticos principales con rumbo NW-SE y NE-SW, los cuales se interpretan como las respuestas de fallas y fracturas profundas que no siempre se observan en superficie.

Los lineamientos magnéticos con rumbo NW-SE, se presentan ampliamente distribuidos en las porciones central, poniente, centro-norte y suroriente, siendo más escasos hacia el nororiente de la carta; tienen longitudes de hasta 40 Km y

se les atribuye a fallamiento regional profundo, formando franjas o bloques de 10 a 15 Km de ancho y en algunos casos controlan el emplazamiento de los cuerpos intrusivos graníticos. Los valles y partes bajas rellenos por material reciente también presentan este mismo rumbo NW-SE, producto de la Extensión post-laramídica.

Los lineamientos con rumbo NE-SW son más escasos y se localizan en las porciones centro-sur y centro-norte principalmente. Estos lineamientos parecen interrumpir a los lineamientos NW-SE.

Se interpretaron 7 curvolineamientos los cuales se localizan al margen surponiente, centro-sur, nororiente y extremo oriental de la carta (Figura 2).

Algunos de estos curvolineamientos, de forma circular ó semicircular, se correlacionan con estructuras tipo caldera postulados por algunos investigadores, como es el caso de Tomochic, Majalca (San Marcos), Pastorías y Nuevo; mientras que otros, localizados en la porción surponiente de la carta no tienen expresión superficial y están relacionados a dominios magnéticos B_2 y a grandes espesores de rocas volcánicas terciarias.

Continuación ascendente a 4000m s.n.t. del campo magnético total (C.M.T.) reducido al polo

Con el propósito de resaltar la respuesta de estructuras y cuerpos magnéticos más profundos, se efectuó un proceso analítico de los datos magnetométricos conocido como continuación de campo ascendente a 4,000 m sobre el nivel del terreno (s.n.t.); este proceso consiste en filtrar del mapa magnético las altas frecuencias correspondientes a las unidades geológicas más superficiales realzando las respuestas magnéticas de baja frecuencia correlacionables con las estructuras geológicas profundas.

Este mapa permitió diferenciar las respuestas magnéticas a profundidad de los dominios magnéticos A_1 y A_2 producidos por cuerpos ígneos intrusivos (Figura 3).

Reducción al polo del campo magnético total

Para eliminar el efecto de la inclinación del campo magnético y determinar exactamente la posición de las estructuras magnéticas y contactos litomagnéticos, se aplicó el proceso de reducción al polo (Figura 4), mismo que sirvió de base para realizar la continuación de campo ascendente.

Primera derivada vertical del C.M.T. reducida al Polo

Este proceso tiene como finalidad resaltar las altas frecuencias que son correlacionables con las fuentes magnéticas más someras, permitiendo definir los rasgos litológicos y estructurales más superficiales (Figura 5).

Zonas prospectivas

Las principales zonas prospectivas para mineralización polimetálica, definidas a partir de la presente interpretación regional, se asocian con los dominios magnéticos A_1 y A_2 ubicados dentro de la carta. Se interpretaron como cuerpos intrusivos que afloran parcialmente y otras respuestas que fueron interpretadas como cuerpos intrusivos sepultados. Por la asociación de la mineralización económica con los cuerpos intrusivos, estos resultan ser de gran interés, principalmente la zona

marginal interpretada con geofísica. (Figura 6)

El cuerpo intrusivo interpretado (dominio A_2) en la región de Calera, presenta interés en la zona marginal interpretada, principalmente en el contacto con las rocas calcáreas donde se tienen yacimientos tipo skarn con sulfuros de Ag, Pb, Zn (C.R.M. 1997).

El dominio $A_{2,}$ ubicado en el Cerro Chilicote, es una zona altamente prospectable asociada a un intrusivo sepultado por calizas y rocas volcánicas con un marco geológico similar al del distrito minero de Santa Eulalia.

Otra anomalía de interés es el dominio magnético A_1, localizado al centro-sur de la carta, donde existe mineralización de Ag, Pb y Zn en la zona de Milpillas (CRM, 1997).

Una de las zonas más estudiadas dentro de la carta es la zona mineralizada de Minillas, que está asociada a un dominio A_1, donde existen estructuras mineralizadas de reemplazamiento de sulfuros de Ag, Pb, Zn y trazas de Au, en calizas (CRM, op.cit).

El dominio magnético A_1 localizado al nororiente se correlaciona al cuerpo intrusivo del distrito minero de Terrazas donde existe mineralización polimetálica en zonas de skarn.

El dominio magnético A_1 localizado en Punta de Agua, al nororiente se considera de interés sobre todo la extensión hacia el norponiente de la zona marginal interpretada en contacto con las calizas mesozoicas, ya que existe mineralización polimétalica de Au, Ag, Cu y Zn.

Otra zona de interés es el dominio magnético A_1 localizado en la región de Tomochic, en el extremo occidental de la carta (en El Pinito), donde existen evidencias de mineralización (vetas con Au y Ag de origen hidrotermal) asociadas a estructuras volcánicas tipo caldera (Swanson y McDowell, 1985).

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Mapa de localización

Figura 2.- Mapa de Interpretación magnética litoestructural

Figura 3.- Mapa de Continuación ascendente a 4000 m s.n.t. del C.M.T. reducido al polo

Figura 4.- Mapa de Reducción al polo del campo magnético total

Figura 5.- Mapa de Primera derivada vertical del C.M.T. reducido al polo

Figura 6.- Zonas prospectivas a partir de la interpretación magnética litoestructural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, D.G.I., 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.

Anderson, T.H. and Silver, L.T., 1979, The role of the Mojave-Sonora Megashear in the tectonic evolution of northern Sonora, in Geology of northern Sonora, eds. Anderson, T.H. and Roldan, Q.J. Geological Soc. of America, Field Trip Guidebook, p. 59-68.

Atwater, T., 1970, Implications of plate tectonics for the tectonic evolution of western North America, Geological Society of America, Bulletin, v. 81, p. 3513-3536.

Bartolini, C., Damon, P.E., Shafiqullah, M., and Morales, M.M., 1994, Geochronologic contributions to the Tertiary sedimentary-volcanic sequences (“Baucarit Formation”) in Sonora, Mexico, Geofísica Internacional v. 33 p. 67-77.

Bickford, M.E., 1988, The formation of continental crust: Part 1. A review of some principles; Part 2. An application to the Proterozoic evolution of sothern North America, Geological Society of America Bulletin, v. 100, p. 1375-1391

Blount, J.G., Walker, N.W., and Carlson, W.D., 1988, Geochemistry and U-Pb zircon ages of mid-Proterozoico meta-igneous rocks from Chihuahua, Mexico. Geol. Soc. of America, Abstracts with Programs, v. 20 No. 7, p. A205.

Bridges, L.W., 1965, Estudios geológicos en el estado de Chihuahua. Parte 1. Geología del área de Plomosas, Chihuahua, UNAM. Inst. de Geología, Boletin 74, 143 p.

Briggs, I.C., 1974, Machine contouring using minimun curvature (spline), Geophysics, v. 39 Núm. 1, p. 34-42.

Cameron, K.L., Robinson, JV., Niemeyer, S., Nimz, G.J., Kuentz, D.C., Harmon, R.S., Bohlen, S.R., and Collerson, K.D., 1992, Contrasting styles of pre-Cenozoic and mid-Tertiary crustal evoluction in northern Mexico: Evidence from deep crustal xenoliths from La Olivina, Jour. Geophys Research, v.97, p. 17353-17376.

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

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

Coney, P.J., 1978, Mesozoic-Cenozoic Cordilleran Plate Tectonics, Geological Society of America, Memoir 152, p. 33-50

Consejo de Recursos Minerales, 1994, Monografía Geológico-Minera del estado de Chihuahua, SEMIP, Publicación M-14e, 297 p.

Consejo de Recursos Minerales, 1997, Carta Geológico-Minera Chihuahua H13-10 escala 1:250,000 SECOFI, 1ª Edición.

Denison, R.E., Burke, W.H. Jr., Hetherington, E.A. Jr. and Otto, J.B., 1971, Basement rock framework of parts of Texas, southern New Mexico, and northern Mexico, in The geologic framework of the Chihuahua Tectonic Belt, Midland, Texas. West Texas Geological Society p. 1-14.

Detenal, 1980, Carta Topográfica Chihuahua H13-10 escala 1:250,000 SPP. 1ª Impresión.

Dyer, R., Chavez, Q.R., and Guthrie, R.S., 1988, Cordilleran orogenic belt of northern Chihuahua, Mexico, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 72, p. 99.

Ferriz, H., 1981, Geología de la Caldera de San Marcos, Chihuahua. UNAM, Inst. de Geología, Revista, v. 5 No. 1, p. 65-79.

Handschy, J.W., Keller, G.R., and Smith, K.J., 1987, The Ouachita system in northern Mexico, Tectonics, v. 6 p. 323-330.

Henry C.D., and Price, J.G. 1986, Early Basin and Range development in Trans-Pecos Texas and adjacent Chihuahua: Magmatism and orientation, timing, and style of extension, Journal of Geophysical Research, v. 91, p. 6213-6224.

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.

IAGA, División V, Working Group 8 (R.A. Langel, Chairman), 1992, International Geomagnetic Reference Field, Revisión 1991, Geophysics, vol. 57 Núm. 57, p. 956-959.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1995, Espaciomapa Chihuahua Hoja H13-10 escala 1:250,000 1ª Impresión.

James, E.W., and Henry, C.D., 1993, Southeastern extent of the North American Craton in Texas and northern Chihuahua as revealed by Pb isotopes, Geological Society of America Bulletin v. 105 p. 116-126.

Mauger, R.L. 1983, Geologic map of the Majalca-Punta de Agua area central Chihuahua, Mexico, in Geology and Mineral Resources of North-central Chihuahua, El Paso Geol. Soc. Guidebook, p. 169-174.

Mauger, R.L., McDowell, F.W., and Blount, J.G. 1983, Grenville-age Precambrian rocks of the Los Filtros area near Aldama, Chihuahua, Mexico, in Clark, K.F., and Goodell P.C., eds., Geology and mineral resources of north-central Chihuahua. El Paso Geological Society 1983 Field Conference, Guidebook, p. 165-168.

McDowell, F.W., and Keizer, R.P., 1977, Timing of mid-tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico, Geol. Soc. of America Bulletin, v. 88, p. 1479-1487.

McDowell, 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. 113-123.

McDowell, F.W., Wark, D.A., and Aguirre, D.G., 1990, The Tertiary ignimbrite flare-up in western Mexico, Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 22, no. 7, p. 66.

McDowell, F.W., and Mauger, R.L., 1994. K-Ar and U-Pb zircon chronology of Late Cretaceous and Tertiary magmatism in central Chihuahua state, Mexico, Geological Society of America Bulletin, v. 106, p. 118-132.

Megaw, P.K.M., 1981, Volcanic rocks of the Sierra Pastorias Caldera area, Chihuahua, Mexico, in Uranium in volcanic and volcaniclastic rocks. Eds. Goodell, P.C. and Waters, A.C. American Assoc. Pet. Geol., Studies in Geology No. 13 p. 189-203.

Megaw, P.K.M., 1990, Mineralization in the Santa Eulalia mining district, Chihuahua, Mexico in Mexican Silver Deposits, Guidebook Series Volume 6. Ed. Clark, K.F. Society of Economic Geologists. p. 27-39.

Nimz, G.I., Cameron, K.L., Cameron, M., and Morris, S.L., 1986, Petrology of the lower crust and upper mantle beneath southeastern Chihuahua, Mexico. Geofísica Internacional, v. 25, p. 85-116.

Ortega, G.F., Mitre, S.L.M., Roldán, Q.J., Aranda, G.J.J., Morán, Z.D., Alaniz, A.S.A. y Nieto, S.A.F., 1992, Texto explicativo de la quinta edición de la Carta Geológica de la República Mexicana escala 1:2 000 000. UNAM, SEMIP, Instituto de Geología, Consejo de Recursos Minerales.

Price, J.G., and Henry, C.D., 1984. Stress orientations during Oligocene volcanism in Trans-Pecos Texas: Timing the transition from Laramide compresion to Basin and Range tension, Geology v. 12, p. 238-241.

Quintero, L.O., y Guerrero, J.C., 1985, Una nueva localidad del Basamento Precámbrico de Chihuahua en el área de Carrizalillo. UNAM, Inst. de Geología, Revista, v. 6, p. 98-99.

Ramírez, M. J. C., y Acevedo, C.F., 1957, Notas sobre la geología de Chihuahua, Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Boletín v.9, p. 583-770.

Roberts, S.J., and Ruiz, J., 1989., Geochemistry of exposed granulite facies terrains and lower crustal xenoliths in Mexico, Journal of Geophysical Research, v. 94, p. 7961-7974.

Ross, C.A., 1979. Late Paleozoic collision of North and South America Geology, v. 7, p. 41-44.

Rudnick, R.L., and Cameron, K.L., 1991. Age diversity of the deep crust in northern Mexico. Geology, v. 19, p. 1197-1200.

Ruiz, J., Patchett, P.J., and Arculus, R.J., 1988, Nd-Sr isotope composition of lower crustal xenoliths-Evidence for the origin of mid-tertiary felsic volcanics in Mexico, Contrib Mineral Petrol. v. 99, p. 36-43.

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, p. 153.

Stevens, C.H., Stone, P., and Kistler, R.W., 1992, A speculative reconstruction of the middle Paleozoic continental margin of southwestern North America, Tectonics, v. 11, p. 405-419.

Stewart, J.H., 1976, Late Precambrian evolution of North America: Plate tectonic implication, Geology, v. 4, p. 11-15.

Stewart, J.H., 1988, Latest Proterozoic and Paleozoic southern margin of North America and the accretion of Mexico. Geology, v. 16, p. 186-189.

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

Swanson, E.R., and McDowell, F.W., 1985, Geology and geochronology of the Tomochic Caldera, Chihuahua, Mexico, Geological Society of America Bulletin, v. 96, p. 1477-1482.

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

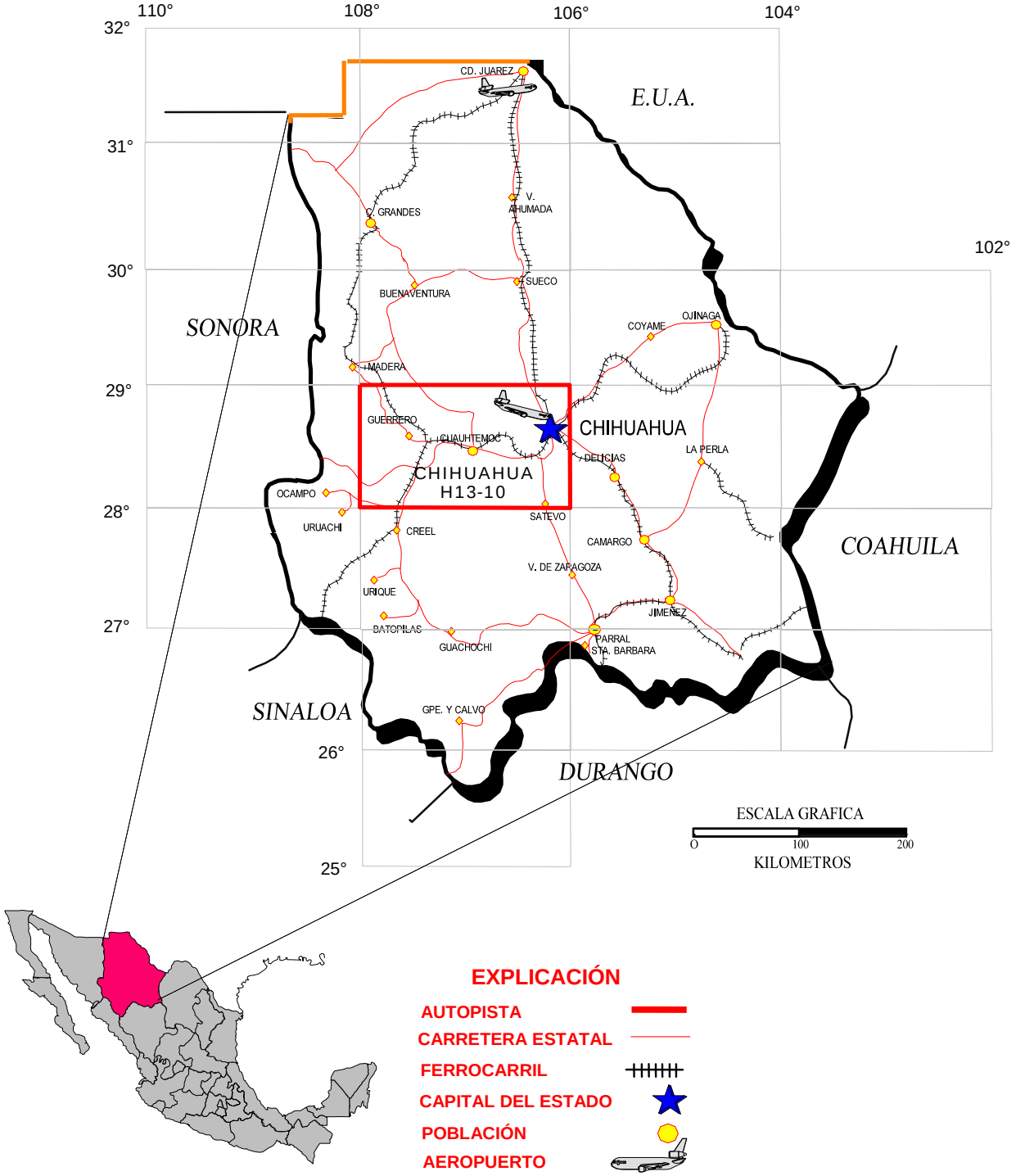
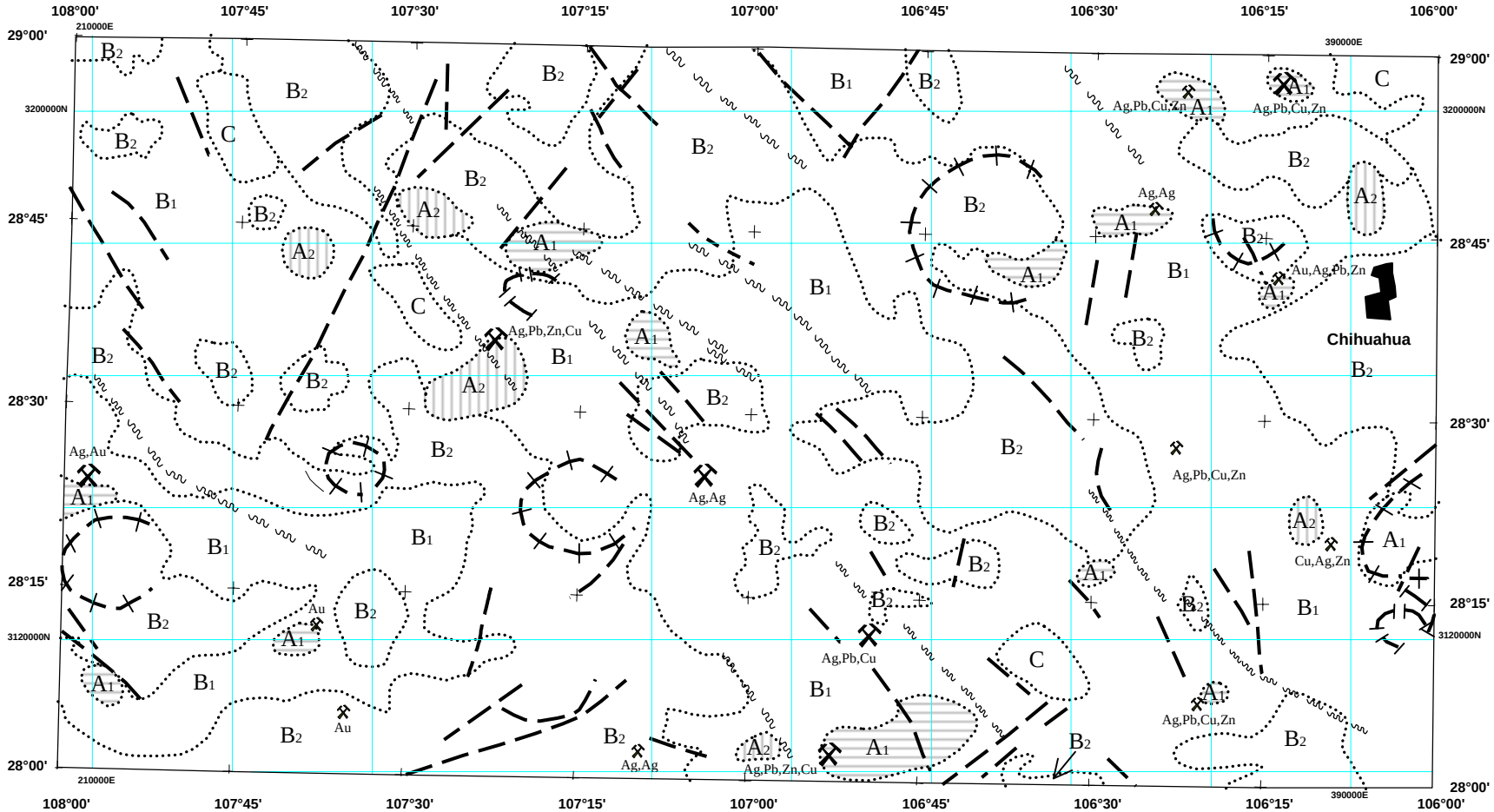


FIGURA No. 1 MAPA DE LOCALIZACIÓN

CHIHUAHUA H13 - 10



EXPLICACIÓN DE ELEMENTOS INTERPRETADOS

Límite de dominio magnético

Dominio magnético (A1)

Dominio magnético (A2)

Lineamiento Magnético indefinido

Probable falla profunda

Curvolineamiento magnético

Localidad minera y sustancia — Au

Distrito minero y sustancia — Au

ESCALA GRÁFICA

0 25 50

KILÓMETROS

DOMINIOS MAGNÉTICOS

A1.- Cuerpo ígneo intrusivo de composición félsica a intermedia

A2.- Cuerpo ígneo intrusivo de composición intermedia a máfica

B1.- Rocas volcánicas de composición félsica (Riolitas e Ignimbritas)

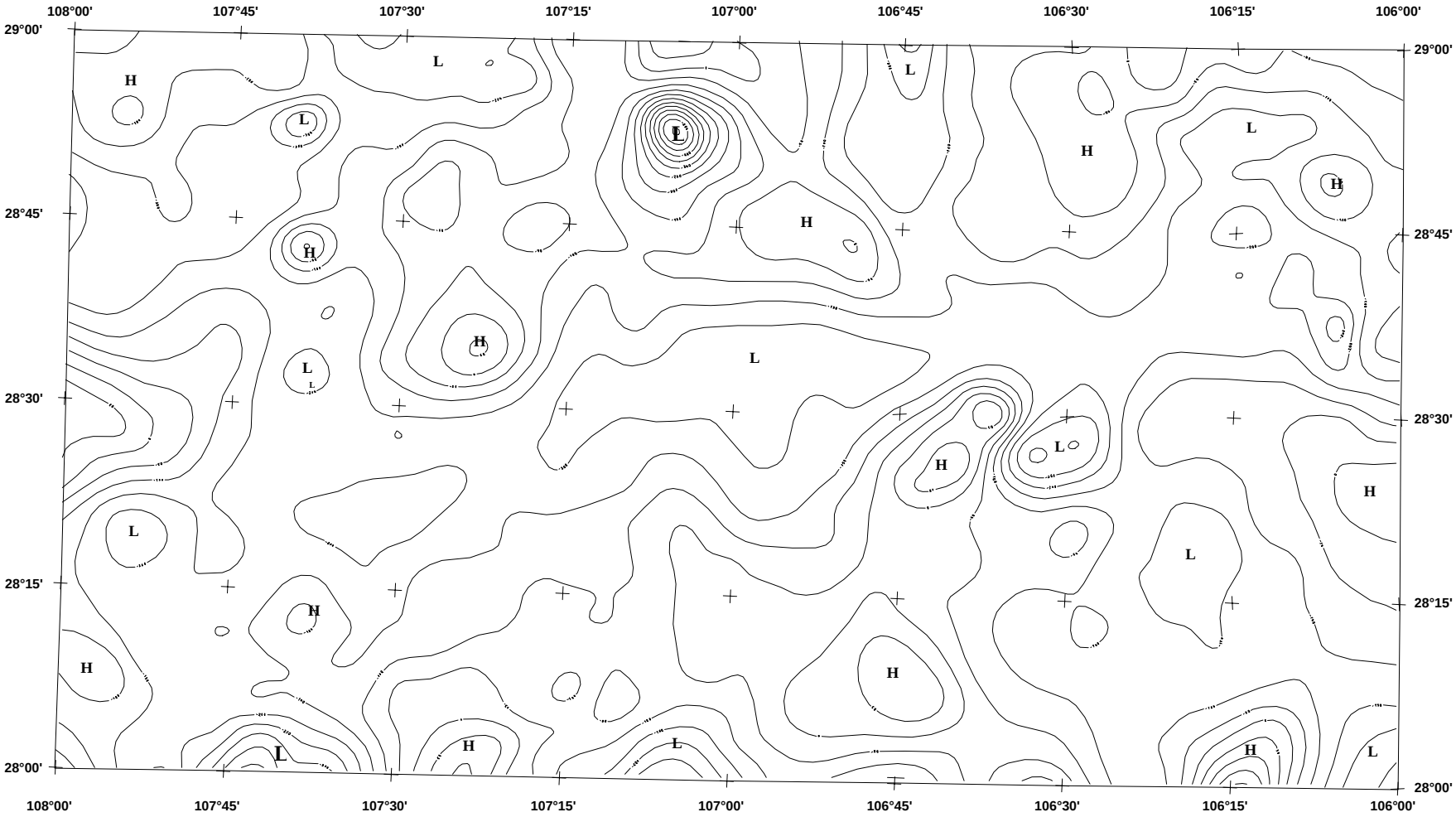
B2.- Rocas volcánicas de composición intermedia a máfica (Andesitas basálticas y basaltos)

C.- Rocas sedimentarias marinas, metamorficas y depósitos recientes de material clástico (Planicie costera)

NOTA:
Localidades y distritos mineros tomados de la monografía geológico-minera Chihuahua H13-10 C.R.M.

FIGURA 2.- INTERPRETACIÓN MAGNÉTICA LITOESTRUCTURAL

CHIHUAHUA H13 - 10



Curvas de contorno cada 50 nT.

Alto Magnético (H)

Bajo Magnético (L)

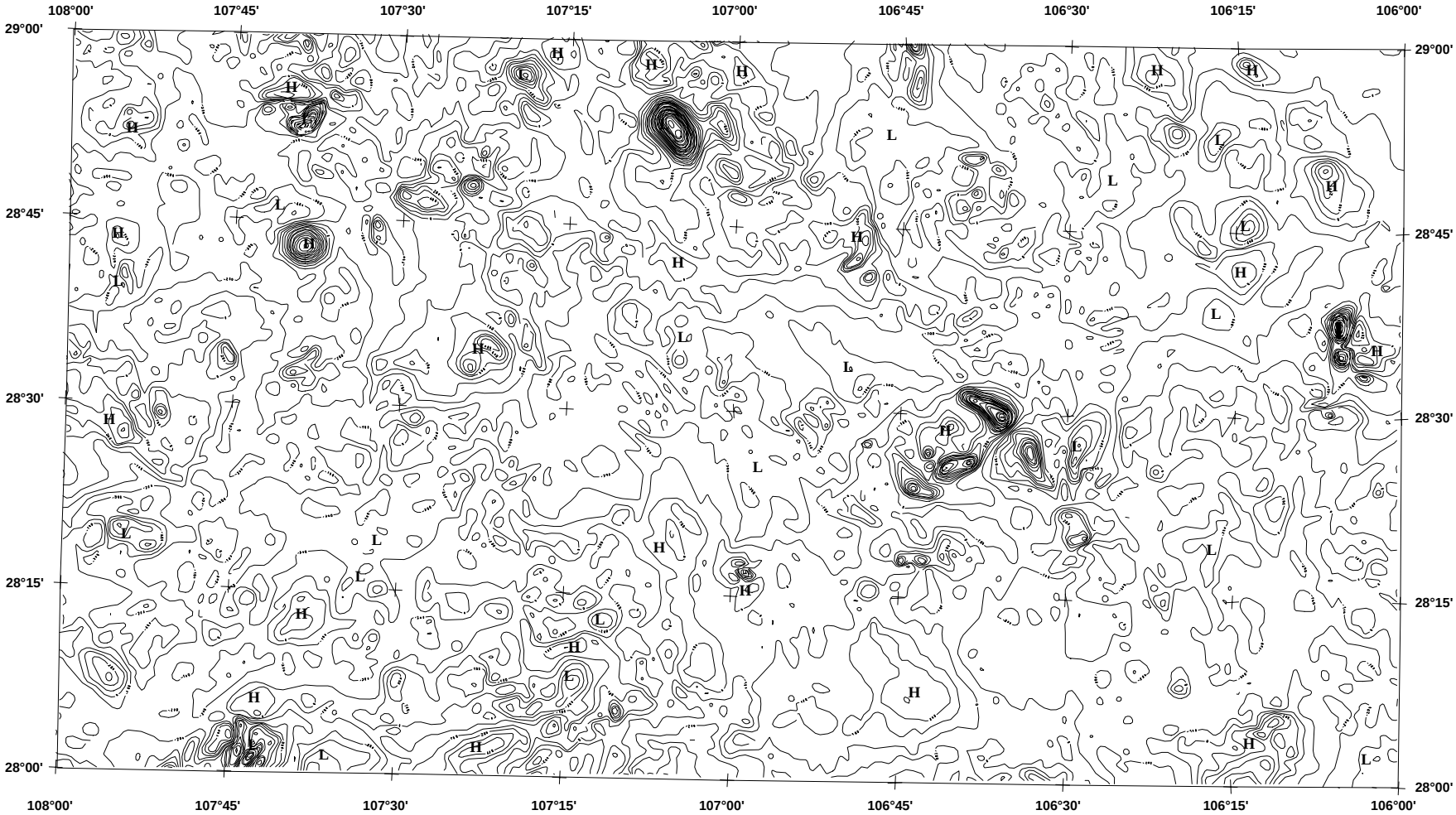
ESCALA GRÁFICA

0 25 50

KILÓMETROS

FIGURA 3.- MAPA DE ESTRUCTURAS PROFUNDAS (Continuación hacia arriba 4000 m.s.n.t. del c.m.t .reducido al polo)

CHIHUAHUA H13 - 10



Curvas de contorno cada 50 pT/m.

Alto Magnético (H)

Bajo Magnético (L)

ESCALA GRÁFICA

0 25 50

KILÓMETROS

FIGURA 4.- MAPA DE RASGOS SUPERFICIALES (Primera derivada vertical del c.m.t. reducido al polo)

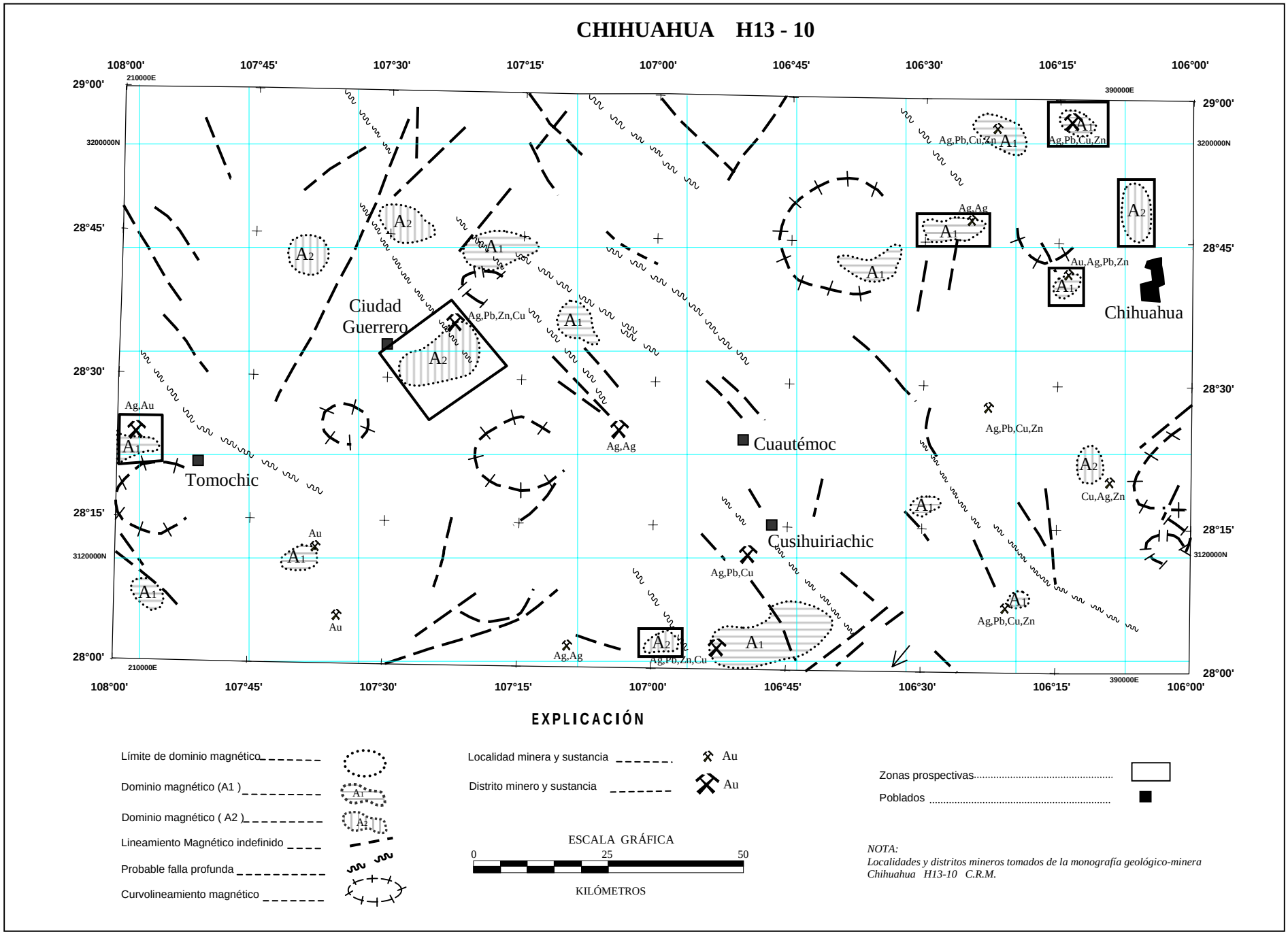


FIGURA 5.- ZONAS PROSPECTIVAS A PARTIR DE LA INTERPRETACIÓN MAGNÉTICA LITOESTRUCTURAL