

# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

---

---

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
SECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

IMPORTANCIA ECONÓMICO-MINERA  
DE LA HOJA CHIHUAHUA, H13-10  
CON BASE EN UN ESTUDIO  
GEOLÓGICO - AEROMAGNÉTICO

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN  
GEOLOGÍA**

P R E S E N T A

**RAUCEL PASCACIO TOLEDO**



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION**

*ACTA DE REVISION DE TESIS*

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 18.00 horas del día 16 del mes de Mayo del 2005 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A. U. Ticomán para examinar la tesis de grado titulada:  
Importancia Económica-Minera de la Hoja Chihuahua, H13-10 con base en un Estudio Geológico – Aeromagnético.

Presentada por el alumno:

PASCACIO  
Apellido paterno

TOLEDO  
materno

RAUCEL  
nombre(s)

Con registro: 

B	9	4	0	8	6	6
---	---	---	---	---	---	---

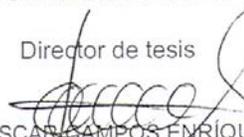
aspirante al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN LA ESPECIALIDAD EN GEOLOGIA

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis

  
DR. OSCAR CAMPOS ENRÍQUEZ

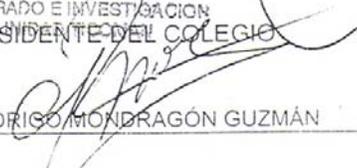
  
M. en C. EDUARDO PÉREZ FLORES

  
M. en C. MA. EUGENIA GONZÁLEZ CÓRTEZ

  
M. en C. RODRIGO MONDRAGÓN GUZMÁN

  
M. en C. ALFONSO GUZMÁN ALCANTAR

SECCION DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACION  
EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

  
M. en C. RODRIGO MONDRAGÓN GUZMÁN





**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**COORDINACION GENERAL DE POSTRADO E INVESTIGACION**

**CARTA CESION DE DERECHOS**

En la Ciudad de México, D. F. el día 11 del mes de Noviembre del año 2005, el (la) que suscribe : Raucel Pascacio Toledo como alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencias en Geología con número de registro B940866, adscrito a ESIA – UNIDAD TICOMÁN, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de los señores profesores: Dr. José Oscar Campos Enríquez y M. en C. Eduardo Pérez Flores \_\_\_\_\_ cede los derechos del trabajo intitulado IMPORTANCIA ECONOMICO-MINERA DE LA HOJA CHIHUAHUA, H13-10 CON BASE EN UN ESTUDIO GEOLOGICO-AEROMAGNETICO, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección [rptoledo@coremisgm.gob.mx](mailto:rptoledo@coremisgm.gob.mx) Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Raucel Pascacio Toledo.

Nombre y firma

## AGRADECIMIENTOS:

Con profundo respeto y sinceridad quiero expresar mi agradecimiento a las autoridades del Servicio Geológico Mexicano, antes (COREMI) por las facilidades que me brindaron para el desarrollo de este trabajo y la autorización para hacer uso de la información propiedad de este organismo, en especial al C. Director Técnico Ing. Enrique Gómez de la R., por su aliento, buena voluntad y la constante motivación para terminar este trabajo.

Al C. Director de la ESIA-Unidad Ticoman, el M en C. Rodrigo Mondragón Guzmán y al M.en C. Eduardo Pérez Flores director interno de ésta tesis, por las facilidades en todo lo relacionado con la tramitación de la documentación.

Al Dr. Oscar Campos Enríquez, por sus atinados comentarios y participación como director externo en la revisión de este trabajo.

Agradezco a los miembros del comité revisor, que con gusto me brindaron sus comentarios en la revisión de éste trabajo: Dr. Oscar Campos Enríquez, M.en C. Eduardo Pérez Flores, M. en C. Rodrigo Mondragón Guzmán M. en C. María Eugenia González Cortés., y al M en C. Alfonso Guzmán Alcántar.

A los ingenieros Rodolfo Sáens Reyes Subdirector de Operación e Israel Hernández Pérez Gerente de Geofísica, del Servicio Geológico Mexicano que han sabido ser buenos jefes y excelentes compañeros dentro de la organización.

a los señores Efraín Bori Segura y Salvador Labrada B., por su valiosa ayuda.

A mis compañeros de trabajo hoy Servicio Geológico Mexicano, que por largo tiempo me han permitido ser su amigo y colaborador en los diferentes proyectos de la dependencia.

A todos mis compañeros del grupo que iniciamos y terminamos los créditos de esta maestría.

A la memoria de mis abuelos, padres y Prima:

Sr. Gabriel Pascacio Ramos

Sra. Fernanda Martínez .

Sr. Jesús Pascacio Martínez.

Sra. Mariana Toledo Álvarez.

Sra. Rosa linda Méndez Toledo.

Y tengo esperanza en Dios, esperanza que ellos mismos abrigaron, de que va haber una resurrección, tanto para los justos como para los injustos.

**(Hechos de los apóstoles 24:15).**

A mis hermanos:

Manuel

Mariana.

A mi esposa:

Dolores Fuentes Saucedo.

por su amor comprensión y buena compañía.

A mis hijos:

Jesús Manuel, Eunice, Miriam Lizbeth, Ana Hadareli, Samuel, Daniel y Cinthya.

Que son una bendición de parte de dios, como miembros de la unidad y bienestar familiar. Por ustedes este esfuerzo.

Porque la sabiduría es mejor que los corales, y todos los otros

Placeres por sí mismos no pueden ser igualados a ella. **(Proverbios 8:11)**

	Páginas.
INDICE .....	4
LISTA DE FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	12
I.- ANTECEDENTES.....	13
II.-GENERALIDADES.....	14
II.1.-OBJETIVOS.....	14
II.2.-LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE COMUNICACIÓN.....	15
II.3.-FISIOGRAFÍA.....	15
III.- MÉTODO DE TRABAJO.....	16
IV.-SINTESIS GEOLÓGICA.....	17
IV.1.- DESCRIPCIÓN ESTRATIGRAFÍA.....	17
IV.2.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	26
IV.3.- EVOLUCIÓN TECTÓNICA.....	27
IV.4.- YACIMIENTOS MINERALES.....	31
IV.4.1.- YACIMIENTOS EPITERMALES.....	31
IV.4.2.- YACIMIENTOS DE METASOMATISMO DE CONTACTO.....	32
V.-GEOFÍSICA.....	35
V.1.-METODOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS.....	35
V.2.- EL MAPA AEROMAGNÉTICO DE LA HOJA CHIHUAHUA,	

Y CONFIGURACIÓN DE LOS DATOS GEOFÍSICOS.....	35
V.2.1.-REDUCCION AL POLO DEL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL (CMT).---	35
V.2.2.- CONTINUACIÓN ASCENDENTE A 4000 m.s.n.t. DEL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL (CMT) REDUCIDO AL POLO (MAPA. REGIONAL).-----	36
V.2.3.- PRIMERA DERIVADA VERTICAL DEL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL(CMT) REDUCIDO AL POLO (MAPA RESIDUAL).	37
V.3.- INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA REGIONAL-----	38
V.3.1.- IINTERPRETACIÓN CUALITATIVA.-----	39
V.3.2.- INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA.-----	47
VI.-CONCLUSIONES.-----	54
VI.1.-ÁREAS CON POTENCIAL GEOLÓGICO PARA EXPLORACIÓN MINERA.-----	54
VI.2.-CONSIDERACIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES.-----	56
BIBLIOGRAFÍA.-----	57
GLOSARIO.-----	63

## LISTA DE FIGURAS.

**Figura 1.-** Mapa de localización.

**Figura 2.-** Fisiografía.

**Figura 3.-** Mapa geológico-minero.

**Figura 4.-** Columna estratigráfica.

**Figura 5.-** Modelo digital de elevación.

**Figura 6.-** Mapa Imagen (espaciomapa).

**Figura 7.-** Mapa estructural a partir de imagen de satélite (espaciomapa).

**Figura 8.-** Regiones mineralizadas y terrenos tectonoestratigráficos de la carta Chihuahua H13-10.

**Figura 9.-** Mapa de campo magnético total (CMT).

**Figura 10.-** Mapa del campo magnético total reducido al polo con contornos.

**Figura 11.-** Mapa del campo magnético total reducido al polo a color.

**Figura 12.-** Mapa de interpretación magnética litoestructural cualitativa.

**Figura 13.-** Continuación ascendente a 4000 m.s.n.t. del CMT reducido al polo (con contornos).

**Figura 14.-** Mapa magnético de fuentes profundas, continuación hacia arriba a 4000 m.s.n.t. del CMT reducido al polo a color.

**Figura 14a.-** Mapa pasabajas del CMT reducido al polo, frecuencia de corte 0.15 c/km

**Figura 15.-** Mapa de rasgos superficiales (primera derivada vertical del CMT reducido

al polo).

**Figura 16.-** Mapa de rasgos superficiales (primera derivada vertical del CMT reducido al polo).

**Figura 16a.-** Mapa residual del campo magnético total.

**Figura 17.-** Gráfica logarítmica del espectro radial promedio de energía.

**Figura 18.-** Mapa de configuración de la profundidad a la cima de las fuentes magnéticas (basamento magnético).

**Figura 19.-** Mapa de configuración de las profundidades de fuentes magnéticas intermedias (estructuras intermedias).

**Figura 20.-** Zonas prospectivas a partir de la interpretación magnética.

## RESUMEN.

El análisis e interpretación de los datos aeromagnéticos de la carta Chihuahua H13-10, se realizó gracias a la información aeromagnética y geológica proporcionada por el Consejo de Recursos Minerales.

La carta Chihuahua se localiza en la porción centro occidental del estado de Chihuahua, y cubre una superficie de 21 825 km<sup>2</sup>.

El basamento cristalino se conoce en pequeñas ventanas de afloramientos de gneis granítico con facie de anfibolita del precámbrico, los cuales se localizan en Sierra del Cuervo, en el rancho los Filtros al nororiente de la carta y en Carrizalillo al nororiente y fuera de la carta esta unidad está infrayaciendo discordantemente a una potente secuencia sedimentaria que abarca desde el Pérmico Inferior hasta el Cretácico Inferior e incluso el Reciente.

La Formación Rara del Pérmico Inferior, aflora en la Sierra del Cuervo o extremo nororiente de la carta.

Del Triásico al Jurásico, existe ausencia de depositación; pero en el Cretácico Inferior se depositaron 5 formaciones que cubren discordantemente a la Formación Rara, estas formaciones son: Formación Navarrete, Formación Las Viga, Grupo Cuchillo, Grupo Aurora, Conglomerado Sacramento y Grupo Washita, que marca el cambio entre el Cretácico Inferior y Cretácico Superior.

El Cretácico Superior está representado por las Formaciones Ojinaga y San Carlos.

El Terciario está representado por rocas volcánicas de composición félsica, con espesores de hasta 3000 m, en la región de Pastorías y Sierra de Sacramento.

En el Terciario Superior, se formaron extensos depósitos continentales, que rellenaron fosas, depresiones y grandes valles con espesores de hasta 300 m, en las zonas de barrancas.

Los afloramientos de rocas intrusivas no son muy comunes, ya que en la mayor parte de la carta está cubierta por rocas volcánicas, también existen troncos y diques que

afectan a las rocas mesozoicas y volcánicas terciarias, algunas de las cuales están asociados a mineralización polimetálica.

Las principales evidencias de mineralización económica de tipo epitermal en forma de vetas con mineralización de sulfuros polimetálicos y de metasomatismo de contacto, en forma de mantos y chimeneas, se localizan en los distritos mineros de Cusihuiriachic, Calera y Terrazas, así como en las zonas mineralizadas de Minillas, La Descubridora y Milpillas, actualmente inactivas.

La interpretación regional se efectuó en dos etapas: primero desde el punto de vista cualitativo, que permitió definir los dominios magnéticos identificados como A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> y C, asociados a las diferentes litologías dentro de la carta; así la identificación de los lineamientos magnéticos; que ayudó a la cartografía geológica; en segundo lugar de forma cuantitativa, mediante la transformada de Fourier, utilizando el Espectro Radial Promedio de Energía (Espectro de Potencia) que nos sirvió para el cálculo de la profundidad a la cima de las fuentes magnéticas (basamento magnético), así como de las estructuras intermedias representadas en mapas de contornos.

También en base al análisis de la información geológica y de la interpretación magnética cualitativa, se seleccionaron 5 zonas de interés, las cuales están asociadas a los dominios magnéticos A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> ( Figura 20).

## SUMMARY.

The analysis and interpretation of the aeromagnetic data of the sheet Chihuahua H13-10, was carried out thanks to the aeromagnetic and geologic information provided by the Mineral Resources Council.

The sheet Chihuahua covers western central portion of the state of Chihuahua, covering a surface of 21 825 km<sup>2</sup>.

The crystalline basement is known at small windows of outcropping granitic gneiss of precambrian age, which are located in Sierra from the Cuervo to the north-east of the sheet and in Carrizalillo to the north-east and outside of the sheet.

The stratigraphic column consists, at its basal part of a metamorphic complex of gneisses anfibolite facies of precambrian age, located in the northeastern portion of the sheet, unconformably covered by a potent sedimentary sequence ranging from the lower Permian to the upper cretaceous.

The Formation Villa Aldama or Strange Formation of the lower Permian outcrops at the Sierra of the Cuervo at extreme north-east of the sheet.

From the Triassic to the Jurassic there are not deposit records of deposit but in the lower Cretaceous 5 formations were deposited that cover unconformably the Strange Formation, these formations are: Navarrete Formation, The Beam Formation, Group Knife, Group Dawn, Sacramento Conglomerate and Washita Group that marks the change between the lower Cretaceous and upper Cretaceous.

The upper Cretaceous is represented by the Ojinaga and San Carlos Formations.

The Tertiary is represented by volcanic rocks of felsic composition, with a thickness of up to 3000 m, it is located in the region of Pastorias and Sierra of Sacramento.

In the upper Tertiary, extensive continental deposits were formed that filled graves, depressions, and big valleys with a thickness of up to 300 m, in the areas of ravines.

The outcropping of intrusive rocks are scarce, since the surface of the later, is covered for volcanic rocks; trunks or dikes are affecting the Mesozoic and Cenozoic volcanic rock, some of them are associated to polymetallic mineralization.

The main evidences of economic mineralization of epithermal type in form of veins with mineralization of polymetallic sulfide and of contact metasomatism, in form of mantels and chimneys, are located in the mining districts of Cusihiuiriachic, Calera and Terraces, as well as in the mineralized areas of Minillas, La Descubridora and Milpillas, at the moment inactive.

The regional interpretation was made at two stages: first from the qualitative point of view allowing to identify magnetic domains  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  and C, associated to different lithologies inside the sheet, as well as the identification of the magnetic limits; I help to the geologic cartography, second stage, quantitative interpretation base in, frequency domain techniques, using the energy spectrum served us to calculate the depth to the tops of magnetic sources (magnetic basement), as well as the intermediate structures depth represented in maps of contours.

Based on the analysis of the geologic information and on the qualitative magnetic interpretation, 5 areas of interest were selected, which are associated to the magnetic domains  $A_1$  and  $A_2$ .

## INTRODUCCIÓN

Desde la década de los cincuenta el Consejo de Recursos Naturales no Renovables (CRNN), Consejo de Recursos Minerales (COREMI), hoy Servicio Geológico Mexicano ha realizado trabajos de exploración aeromagnética, encaminados a la prospección de fierro, así como a la búsqueda de fuentes de mineralización polimetálica asociadas a minerales magnéticos. Actualmente uno de sus objetivos principales es la cartografía magnética del territorio nacional, contando para ello con tres aeronaves bimotor modelo Islander.

La magnetimetría no sólo constituye la medición del campo geomagnético, si no que incluye además el estudio del origen de las perturbaciones de éste dentro de la corteza terrestre desde el punto de vista geológico.

El propósito de este trabajo es el de dar a conocer a la comunidad en ciencias de la tierra, la aplicación del método aeromagnético en la cartografía geológica, su uso en la investigación de las condiciones geológicas y estructurales del subsuelo, y que junto con la información geológica-minera, nos permite seleccionar áreas de interés, para futuros prospectos a explorar con este propósito, así como en la estimación de la profundidad a la cima de las fuentes magnéticas (basamento magnético), que basado en las características magnéticas de las rocas, sirvan como ayuda a los mapeos geológicos, en áreas de difícil acceso .

Este método tiene gran aplicación, ya que es una herramienta valiosa en la investigación y conocimiento de los eventos geológicos, así como de los sucesos tectónicos del pasado, mediante el paleomagnetismo. Por lo que ésta técnica debe ser comprendida y aplicada para estos fines; apoyada en las leyes y propiedades físicas de las rocas, nos revela la heterogeneidad de los componentes de la Tierra.

## I.- ANTECEDENTES.

El método magnético en los inicios de su aplicación en la exploración minera en México, sirvió como apoyo para la configuración y el cálculo volumétrico en el subsuelo de los yacimientos de hierro localizados, en los estados de Chihuahua y Coahuila, por sólo mencionar éstos en el norte del país.

En el período de 1959 a 1961 el CRNNR, con el objeto de ampliar las reservas conocidas en los yacimientos de hierro de la Perla, localizado al oriente del estado de Chihuahua, dentro del municipio de Camargo, se aplicó esta metodología, con resultados halagadores. Dicho yacimiento se encuentra emplazado en rocas volcánicas de composición traquítica, con un volumen de 60 millones de toneladas correspondientes a 750 m de largo por 600 m de ancho y un espesor mayor a los 100 metros. Debido a su agotamiento vino su decaimiento para el año de 1991 (Cárdenas, 1964).

Para el año de 1964 esta misma institución inicia estudios geológicos–geofísicos en los yacimientos de Hércules, localizados al occidente del estado de Coahuila, dentro de la jurisdicción del municipio de Sierra Mojada, donde se cubicó un volumen de 42 millones de toneladas y que con estudios más recientes, se incrementó ese volumen a 52 millones de toneladas, informe de trabajo inédito (Velasco, 1964).

El éxito obtenido en estos estudios, se debió al fuerte contraste entre la susceptibilidad magnética del cuerpo mineral de gran volumen y de la roca encajonante, que permitió claras respuestas magnéticas con lo que se logró una buena evaluación de estos yacimientos, los cuales dieron origen a grandes empresas mineras y a nuevos centros de población, a mediados del siglo pasado, debido al auge de la minería.

En Julio de 1962, el gobierno mexicano a través del CRNNR, firmó un convenio con la ONU, para llevar a cabo un proyecto de exploración de minerales metálicos en nueve zonas; en particular se aplicaría magnetometría aérea, en los estados de Michoacán, Guerrero, Jalisco, Oaxaca, Sonora y noreste de Baja California.

## II.- GENERALIDADES

Dentro del área de 21 825 km<sup>2</sup> que cubre la carta magnética Chihuahua H13-10, a escala 1:250 000, existen minas que han sido explotadas, desde la época de la colonia; primero por colonizadores y posteriormente por los lugareños, extrayendo minerales polimetálicos y preciosos.

La mayor actividad minera se concentró en los yacimientos más importantes, que corresponden a vetas epitermales emplazadas en tobas riolíticas en el distrito minero de Cusihuirachi, la zona mineralizada de Milpillas y en los yacimientos polimetálicos de tipo skarn de las localidades de Calera, Terrazas, Sierra Magistral y la zona mineralizada de la Descubridora.

Geológicamente la región forma parte del margen sur del cratón de Norteamérica, constituido de 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 Norte América con Sur América durante el paleozoico tardío (Mauger y otros, 1983) (Orogenia Ouachita-Marathon-Apalachiana).

Existen varios afloramientos pequeños de rocas mesozoicas principalmente cretácicas, que se depositaron en el extremo poniente de la Cuenca de Chihuahua. Las rocas sedimentarias cretácicas están cubiertas discordantemente por gruesos paquetes de rocas volcánicas félsicas a intermedias del Cretácico Superior, así como rocas riolíticas e ignimbritas terciarias y afectadas por intrusiones en forma de troncos de composición granítica.

### II.1 OBJETIVOS:

Los objetivos de este trabajo son:

- 1.- Dar a conocer la aplicación del método aeromagnético, como una herramienta complementaria en la cartografía geológica-minera en zonas de difícil acceso y regiones cubierta por material reciente.

2.- Seleccionar áreas de interés geológico-minero con base a la interpretación aeromagnética y condiciones geológicas-estructurales, que conduzcan al descubrimiento de nuevas áreas prospectivas de depósitos minerales dentro de la carta Chihuahua.

3.- Conocer las características y profundidades de las fuentes magnéticas (basamento magnético), mediante el análisis de la información aeromagnética, al aplicar la técnica espectral mediante el análisis de Fourier, a lo largo de perfiles y ventanas dentro de la carta.

## **II.2. LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE COMUNICACIÓN.**

La carta magnética Chihuahua se localiza en la región Centro-Occidental del Estado de Chihuahua, delimitada por las coordenadas: 28° 00' a 29° 00' de latitud norte y de 106° 00' a 108° 00' de longitud oeste.

Como se mencionó cubre una superficie de 21 825 km<sup>2</sup>, comprendida dentro de la provincia geológica de la Sierra Madre Occidental; incluye parcialmente los municipios de Chihuahua, Riva Palacios, Cuauhtémoc, Namiquipa, Matachi, Bachiniva, Guerrero, Cusihuiriac, Doctor Belisario Domínguez, General Trías, y Gran Morelos.

El acceso se realiza partiendo de la ciudad de Chihuahua a través de las carreteras Ciudad Juárez-Ojinaga-Ciudad Cuauhtémoc-Madera y Jiménez.

La carretera Chihuahua-Buena Ventura, corta el área por la mitad, indicando que no existe una buena comunicación por carretera (Figura1).

## Mapa de Localización

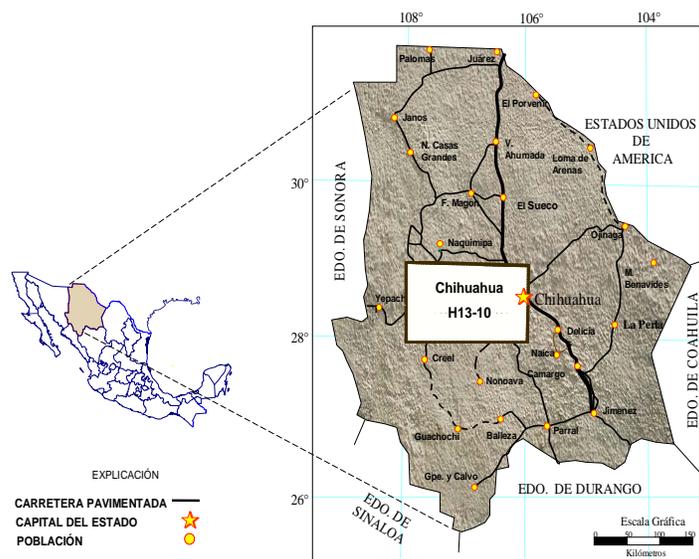


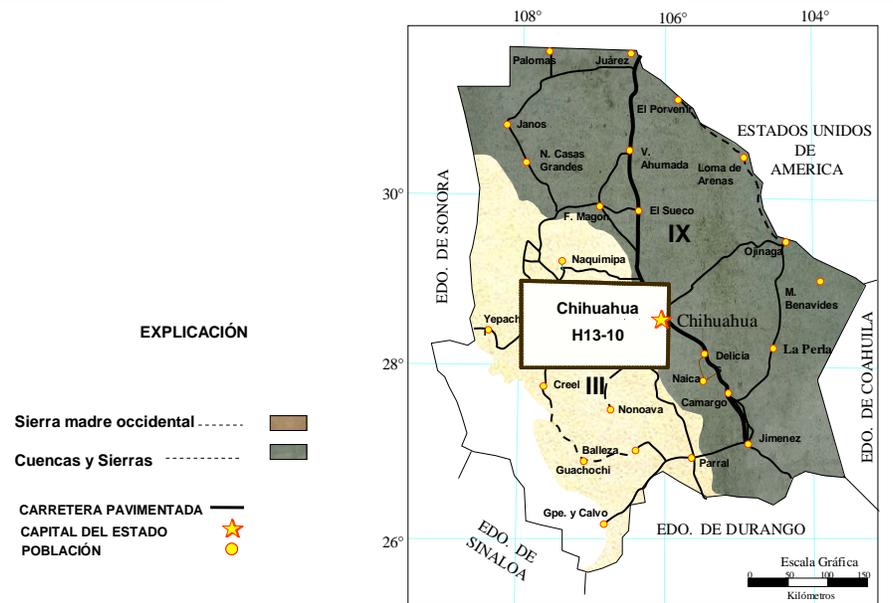
Figura 1.- Mapa de localización

Raúl Pascasio Toledo.

### II.3. FISIOGRAFÍA.

Fisiográficamente la porción poniente de la carta, queda comprendida su mayor parte dentro de la provincia Sierra Madre Occidental, dentro de la subprovincia de altas llanuras (Raisz, 1964); esta región se caracteriza por sierras y mesetas de origen volcánico dispuesto en bloques escalonados separados por amplios valles orientados NW-SE, por una sucesión de llanuras íntermontanas amplias y alargadas, separadas por serranías dispuestas en formas de bloques escalonados (Figuras 5 y 6). La porción centro-oriente se ubica dentro de la provincia de Cuencas y Sierras, que comprende llanuras aluviales con altura media de 1400 m. s. n. m. (Figuras 1 y 2).

## Fisiografía



Dichas provincias están caracterizadas por contener diferentes tipos de rocas; predominando las rocas volcánicas, sedimentarias mesozoicas y volcánicas cenozoicas.

### III.- MÉTODO DE TRABAJO.

a.- El presente trabajo tuvo como primer etapa la búsqueda, recopilación y análisis de información geológica y geofísica existente.

b.- La segunda etapa consistió en el procesamiento de los datos geofísicos del mapa aeromagnético; se realizan procesos de realzado, como son reducción al polo magnético, primera derivada vertical y continuación ascendente; con el objeto de visualizar rasgos litomagnéticos estructurales.

c.- Análisis cualitativo. Este consistió en la inspección del mapa aeromagnético, con el propósito de observar lo más relevante para definir:

c.1.- Límites de las unidades magnéticas (dominios magnéticos).

c.2.- Estructuras dislocadas o afectación de la morfología de las unidades magnéticas, indicados por cambios bruscos en el espaciamiento de las curvas de configuración definidos como lineamientos magnéticos.

c.3.- Superposición de las estructuras magnéticas.

d.- Análisis cuantitativo.- consistió en el cálculo de la cima de la profundidad media de las fuentes magnéticas a partir del espectro de energía radialmente promediado.

e.- Configuración del basamento magnético.

f.- Conclusiones y recomendaciones.

## IV.- SÍNTESIS GEOLÓGICA.

Las edades de las rocas que afloran en la superficie de la carta, varían desde el Proterozoico Medio (a inicios del precámbrico: de 2,600 a 570 Ma ), al Holoceno (reciente), con un claro predominio de las rocas volcánicas félsicas y clásticas continentales del Terciario (Figura 3).

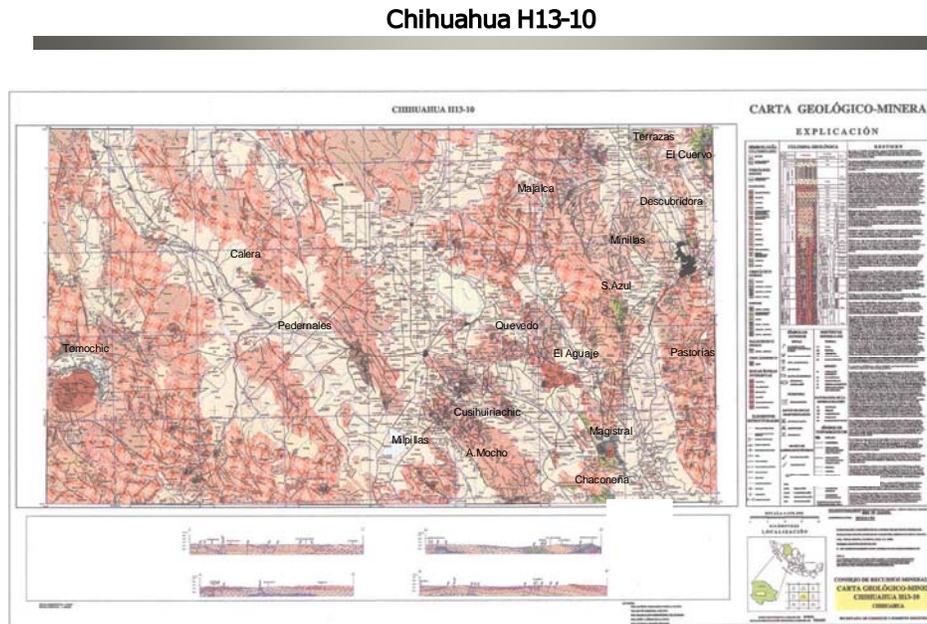


Figura 3.- Mapa Geológico-Minero.

Raúl Pascasio Toledo

### IV.1.- DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA.

La descripción estratigráfica está basada en la columna descrita por los autores de carta geológica Chihuahua (CRM,1997) (Figura 4).

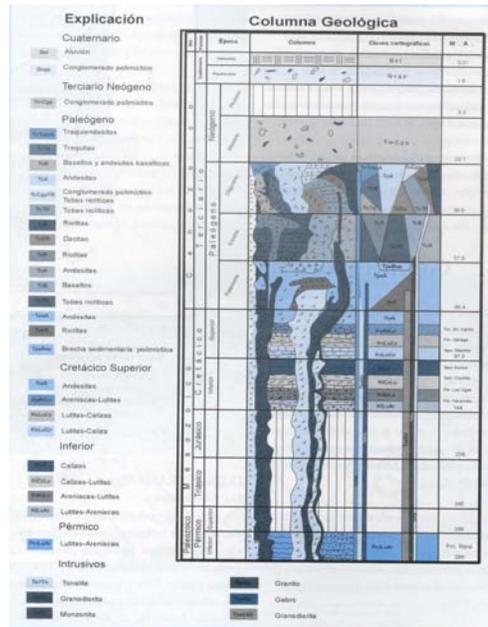


Figura 4.- Columna estratigráfica

Tomado del boletín técnico del COREMI (CRM, 2000).

Raucel Pascasio Toledo.

## PRECÁMBRICO.

Estas rocas constituyen el basamento de la región formado por un complejo de rocas metamórficas que aflora en reducidas localidades y también reportado en pozos petroleros de PEMEX. Está constituidos por gneis de la facies de anfibolita (Blount y otros 1988; Ortega-Gutiérrez y otros 1992).

Los gneis están intrusionados por diques anfibolíticos y pegmatíticos de pequeñas dimensiones. Estas rocas afloran en el Rancho Los Filtros, ubicado en las cercanías de la Sierra del Cuervo, en el extremo nororiente de la carta (Mauger y otros, 1983).

## PALEOZOICO.

Se observa en el sector nororiente de la carta en el flanco oriental de la Sierra del Cuervo, en rancho Nuevo y el área los Filtros, y está representado por la Formación Rara (Ramírez y Acevedo, 1957), constituida por una potente secuencia de limolita, lutita y arenisca, lentes de caliza que contienen fusulínidos del Pérmico Inferior (Bridges, 1965). Presenta un metamorfismo de bajo grado reflejado en las rocas pelíticas, a las cuales transformó en filita. Con base en su contenido de fusulínidos,

identificados como Schwagerina o Pseudoshwagerina, se le atribuye una edad del Pérmico Inferior-Pensilvánico Superior (Mellor, 1978).

## **MESOZOICO.**

Los afloramientos de rocas mesozoicas en 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.

## **CRETÁCICO INFERIOR.**

Este sistema está representado por seis unidades litoestratigráficas, descritas a continuación:

### ***Formación Navarrete.***

Fue definida por Haenggi (1966). Aflora en la Sierra de Magistral en la porción suroriente de la carta. Está constituida por lutita y arenisca de grano medio a grueso en capas de 0.3 a 1.2 m de espesor, con numerosas concreciones calcáreas de aspecto pelítico. Ocasionalmente incluye horizontes de caliza gris oscura y estratos de yeso. Se le asigna una edad de Berriasiano – Hauteriviano inferior. Está intrusionada por un cuerpo intrusivo granodiorítico.

### **Formación las Vigas.**

Aflora en las sierra del Cuervo y Magistral y fue definida en su localidad tipo por Burrows (1910) en el valle del Río Conchos, Chihuahua. Se trata de una secuencia clástica constituida por arenisca, lutita y limolita de estratificación cruzada, con restos de madera petrificada. Su edad corresponde al Valanginiano-Barremiano inferior.

### ***Grupo Cuchillo.***

En este trabajo se ha considerado al grupo Cuchillo conteniendo a las formaciones: La Virgen (Humphrey y Diaz, 1956), Cupido y La Peña (Imlay, 1936 y 1937), mismas que afloran en la Sierra Magistral y en las Sierras del Cuervo, Chaconeña, Sacramento y Sierra Azul.

Este grupo consiste principalmente de anhidrita, caliza masiva y caliza y lutita delgadas, hacia la cima. Abarcan el período corresponden al Barremiano Inferior-Aptiano Tardío y subyacen concordantemente al Grupo Aurora.

**Formación La Virgen** (Humphrey y Díaz, 1956). Consiste de una secuencia de caliza y caliza arcillosa con bioclastos. Por su contenido faunístico y posición estratigráfica se le ha asignado una edad del Barremiano Inferior en Coahuila y Durango.

**Formación Cupido**. Fue definida por Imnlay (1936) en la Sierra de Parras en Coahuila. Está compuesta por caliza y caliza arcillosa de color gris con fauna de miliólodos, ostrácodos y serpúlidos en estratos delgados a medios. Por su posición estratigráfica en relación a la Formación La Peña, se le asigna una edad Bedouliano.

**Formación La Peña**. Fue definida por Imnlay (1936) en el flanco norte de la Sierra de Taraises en la Hacienda La Peña, estado de Chihuahua. Consiste de dos horizontes de lutita separados por un horizonte calcáreo intermedio. De acuerdo a su fauna que incluye amonitas del tipo dutremoyra sp, y a su posición estratigráfica se le asigna una edad del Aptiano tardío.

**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 caliza, caliza arcillosa, margas y lutita depositadas en ambiente de plataforma nerítica.

**Formación Aurora**. Fue definida por Burrows (1910) en la Sierra de Cuchillo Parado al poniente de Ojinaga, Chihuahua. En el área está definida por caliza arcillosa y caliza con miliólidos y peletoides en estratos medios y gruesos con concreciones de hierro y nódulos de pedernal que afloran en la Sierra Azul. Por su contenido faunístico y su relación estratigráfica esta unidad se ubica en el Albiano.

**Tamaulipas Superior**. Fue definida por Stephenson (1921) en la Sierra de Tamaulipas, estado de Tamaulipas. Dentro de la carta aflora en la Sierra del Cuervo. Consiste de caliza arcillosa y caliza con bioclastos y colomiella recta c. mexicana, en estratos medios con intercalaciones delgadas de lutitas. Con base en su contenido faunístico, se le considera del Albiano Inferior.

**Formación Glen Rose**. Fue definida primeramente por Hill (1983) y corresponde a la parte superior del Grupo Trinity, ubicada en el condado de Somerwell, en el centro norte de Texas. Aflora a 1km del ejido de Punta de Agua, ubicado al NNW de la ciudad de Chihuahua. Se compone de caliza y caliza arcillosa con bioclastos, oolitas y orbitolinas en estratos medianos a gruesos. Por su posición estratigráfica se le asigna una edad del Albiano Medio.

**Formación Walnut.** Hill en (1891) definió con este nombre a una secuencia de lutitas y calizas con coquinas de *exogyras texana* y *gryphaea*, sp., ubicada en el condado de Somerwell, en el centro norte de Texas. Aflora en la Sierra del Cuervo, donde consiste de caliza arcillosa y marga en estratos delgados y laminares, con amonitas y equinodermos. Por su abundante macrofauna, se le asigna una edad del Albiano medio.

**Formación Edwards.** Fue propuesta por Hill y Vaughan (CRM, 1997) en su localidad tipo en Barton Creek, cerca de Austin Texas. Se distribuye en el Cerro de la Bandera en el bloque de Sacramento, al NNW de la ciudad de Chihuahua. Está compuesta por caliza de color café con miliólidos, ostracodos, equinodermos, peletoides, moluscos y restos orgánicos. Se le asigna una edad del Albiano Medio.

**Conglomerado Sacramento.** Así nombra informalmente Torres (1991) a un conjunto de fragmentos de calizas expuestas a 10 km al nororiente del poblado de Sacramento Chihuahua. Aflora al NNW de la ciudad de Chihuahua. Se trata de un conglomerado oligomíctico constituido por fragmentos de caliza, principalmente de la Formación Tamaulipas Superior, mal clasificado y con buena estratificación. Por sus relaciones estratigráficas se considera del Albiano Medio hasta el Maestrichtiano. Esta unidad marca el levantamiento de la región nororiente de la carta y el inicio de un ciclo continental

**Grupo Washita.** Aflora en las Sierras Azul, Chaconeña y Magistral. Comprende las Formaciones Kiamichi, Loma de Plata, del Río y Buda. Está compuesto por caliza, lutita, bandas de pedernal, lutita y caliza arcillosa y hacia la cima por caliza de aguas profundas. Corresponde al Albiano Medio-Cenomaniano temprano.

**Formación Kiamichi.**- Fue definida por Hill (1891); la localidad tipo se halla en el valle del Río Kiamichi en Fort Towson, al oriente del condado de Choctaw, Oklahoma U.S.A.. En el área de estudio aflora en las Sierras de El Cuervo y Azul. Consiste básicamente de lutitas calcáreas desleznables con intercalaciones de marga y caliza; por su contenido faunístico y por su posición estratigráfica, se le asigna una edad de la parte alta del Albiano Medio y la porción baja del Albiano Superior.

**Formación Loma de Plata.** Amsbury (1958) denomina así a una secuencia calcárea constituida por calizas masivas nodulares con nódulos con bandas de pedernal, que aflora en el Cañón Pinto, en las vecindades de la mina Loma de Plata, localizada en el condado de Presidio Texas. En el área de estudio esta unidad está presente en la Sierra del Cuervo, localizada en la porción nororiente de la carta, constituida por margas y calizas con equinodermos, ostrácodos, miliólidos y bioclastos en estratos

gruesos (García, 1989); por su posición estratigráfica y por su contenido faunístico, se le asigna una edad Albiano Superior.

**Formación Del Río.** (Humphrey y Diaz, 1956), definen con este nombre a una secuencia arcillosa en el surponiente de Texas y noreste de México, su localidad tipo se encuentra en La Loma de Cruz a 3 km al sur de la ciudad del Río, condado de Valverde, Texas. En el área de estudio está expuesta en la Sierra de El Cuervo (Haenggi, 1966) y en la Sierra Magistral dentro de la carta, litológicamente se compone de lutitas y calizas arcillosas de estratos delgados con equinodermos y uniseriales tipo Haplostiche; por su posición estratigráfica y su contenido faunístico (como *C. immomimata*, *pithomella*, *ovalis* y *haplostiche texana*), se le asigna una edad Cenomaniano Inferior.

**Formación Buda.** Vaughan (1900) designan con el nombre " Calizas shoal Creek", posteriormente Humphrey y Diaz en (1956), asignan el término Formación Buda, para substituir el primer nombre antes mencionado. En el área de estudio está expuesta en la Sierra de El Cuervo (Haenggi, 1966), y en la Sierra Magistral dentro de la carta, está constituida por caliza arcillosa, nodular, color gris, con foraminíferos planctónicos, de estratos medianos; por su posición estratigráfica y contenido faunístico, se le asigna una edad Cenomaniano Inferior.

**Sistema Cretácico Superior.** Está representado por las siguientes formaciones: Formación Ojinaga y Formación San Carlos, que a continuación se describen.

**Formación Ojinaga.** Tiene su localidad tipo en el área de Ojinaga Chihuahua (Burrows, 1909). En el área afloran sólo en el extremo suroriente de la carta, en la Sierra Magistral. Está constituida de caliza arcillosa con intercalaciones de lutita en estratos medianos a gruesos. De acuerdo a la fauna y a su posición estratigráfica se le asignó una edad del Cenomaniano–Turoniano.

**Formación San Carlos.** Fue definida por Vaughan (1900) para nombrar una secuencia de arenisca y lutita con alto contenido de carbón, en el poblado de Presidio Texas. Aflora en la Sierra de Magistral y está constituida por una alternancia de arenisca y lutita. La arenisca corresponde a una cuarcita de color gris claro a verdoso, con matriz arcillosa y cementante silicio-calcáreo. En base a su fauna (amonoideos) y con base en su posición estratigráfica, se le asigna una edad del Coniaciano–Campaniano.

Sobreyaciendo 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 y cantidades menores de tobas riolíticas, que forman el Grupo Volcánico Peñas Azules, de 3 000 m de espesor aproximado, con echados casi verticales y un fechamiento 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).

Estas rocas volcánicas afloran al nororiente del Cañón de Majalca, que se localiza hacia el norponiente de la ciudad de Chihuahua. Constituyen las rocas precaldera de la caldera San Marcos (Ferriz, 1981). Todas estas rocas están intensamente deformadas y propilitizadas; se interpretan como derivadas de un estratovolcán andesítico y cronológicamente 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, que pueden hallarse 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 silíceos, derrames andesíticos y riolíticos intensamente alterados y deformados, que afloran a todo lo largo de la Sierra de Sacramento, al norponiente de Chihuahua, donde sobreyacen discordantemente a calizas cretácicas subhorizontales. El fechamiento de estas rocas abarca un intervalo de 62 a 55.6 Ma (McDowell y Mauger, 1994). En la Sierra de Calera, región al centroponiente de la carta, también aflora un pequeño remanente de rocas paleocénicas que cubren a calizas cretácicas.

En la región 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 estrato volcanes 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 a sido intensamente erosionada, conservando sólo su región norponiente (Ferríz 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 Álamo Mocho, al suroriente de Cusihuirachi, aflora una secuencia de tobas riolíticas de 900 m de espesor, con fechamiento de 43 Ma (Eoceno Medio), que contiene 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 suroriente de la Sierra Azul, afloran tobas riolíticas silicificadas, de 43 Ma, que suprayacen discordantemente a calizas cretácicas y a la vez subyacen a andesitas de 42 a 40 Ma (Eoceno Medio), que se extienden hacia el sur hasta el flanco norte de la Sierra Magistral, localizada 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) sobreyace a andesitas paleocénicas y calizas cretácicas. Suprayaciendo a las rocas eocénicas se tienen grandes 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 casi 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 Pastorías, localizada en la porción oriental de la carta, aflora una potente secuencia de tobas riolíticas, de más de 3 000 m de espesor, relacionadas a la Caldera de Pastorías, que se desarrolló durante el intervalo de 35 a 33 Ma (Megaw,1981). Estas tobas están sobreyacidas por andesitas basálticas de 33 a 30.5 Ma.

Las tobas de Pastorías también afloran en la Sierra Azul y Magistral, donde suprayacen a las rocas del eoceno y subyacen a 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 región central de la carta.

Hacia el norponiente de Tutuaca, en la Sierra del Álamo Mocho, aflora una secuencia de tobas riolíticas, derrames riolíticos, andesíticos y sedimentos vulcanoclásticos de

800 m de espesor, de afinidad calcoalcalina, con fechamiento de 32.6 a 29.7 Ma (McDowell y Mauger, 1994).

Las tobas riolíticas oligocénicas anteriores suprayacen a 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 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, arcillas mal consolidados con espesores mayores de 300 m, que están mejor expuestos en la sección de barrancas, en la porción poniente de la carta. Estos depósitos continentales se formaron a consecuencia del fallamiento extensional de Cuencas y Sierras y comprende un intervalo de 23 a 10 Ma. Son equivalentes a la Formación Báucarit, del noreste de México (Bartolini y otros, 1994). Los valles y llanuras están cubiertos por arenas y arcillas que constituyen el aluvión.

## **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 escasos cuerpos que existen, se localizan principalmente en la región oriental de la carta, 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 asociados a los dominios magnéticos  $A_1$  y  $A_2$  (Figura 12), se describen a continuación:

El tronco granodiorítico El Magistral, aflora al suroriente de la carta, de casi 3 kilómetros de diámetro, afectando a calizas cretácicas como diques félsicos asociados en la Sierra Magistral, su fechamiento es de 59.3 Ma (Paleoceno Tardío) y está asociado a mineralización polimetálica tipo skarn de Cu, Fe y Au (McDowell Mauger, 1994), asociado a un pequeño dipolo magnético (dominio  $A_{1-8}$ ).

En el rancho Los Filtros, localizado en la porción nororiente de la carta, aflora un apófisis de granodiorita muy intemperizado (que ha perdido su magnetismo), afecta a las calizas mesozoicas y a los sedimentos pérmicos con minerales de Pb, Zn asociado, con datación de 57.8 Ma (McDowell y Mauger, 1994). No tiene respuesta magnética.

En el área de Punta de Agua, localizado en la porción nororiente de la carta, aflora un tronco cuarzomonzonítico con facies graníticas de hasta 4 km de diámetro, que afecta

a calizas del cretácico inferior, generando horizontes de mármol con mineralización de Ag, Pb y Zn; data de de 57 Ma (Mauger 1983). Hacia el nororiente 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 Punto de Agua. Estos dos intrusivos están asociados a dominios magnéticos A<sub>1-12</sub> y A<sub>1-11</sub> respectivamente.

En la Sierra de Calera, localizada en la porción centroponiente de la carta, 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 tiene fechamiento, aunque se considera del paleoceno, similar al intrusivo de Terrazas. Su respuesta magnética nos revela la existencia de un cuerpo de mayores dimensiones emplazado a profundidad, extendiéndose hacia el surponiente por debajo de la cubierta de aluvión (dominio A<sub>2-1</sub>)

En el extremo norponiente de la sierra El Álamo Mocho, en la localización de Buenos Aires, afloran dos troncos monzoníticos hipabisales, posiblemente se unen a profundidad, afectan a andesitas eocénicas y parecen estar asociados a mineralización epitermal en las rocas eocénicas y oligocénicas, su datación es de 37.2 Ma, Eoceno Tardío (McDowell y Mauger 1994). Están asociados a un cuerpo magnético sepultado, localizado en la porción el suroriente de la carta, bajo la Sierra El Durazno (dominio A<sub>1-6</sub>).

En la localidad El Aguaje, en la porción suroriente de la carta, en Cerro Grande, aflora un tronco granodiorítico de forma elongada, 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 éste cuerpo es de 31.7 Ma (McDowell y Mauger, 1994). Asociado a un monopolio de baja intensidad magnética (dominio A<sub>1-9</sub>).

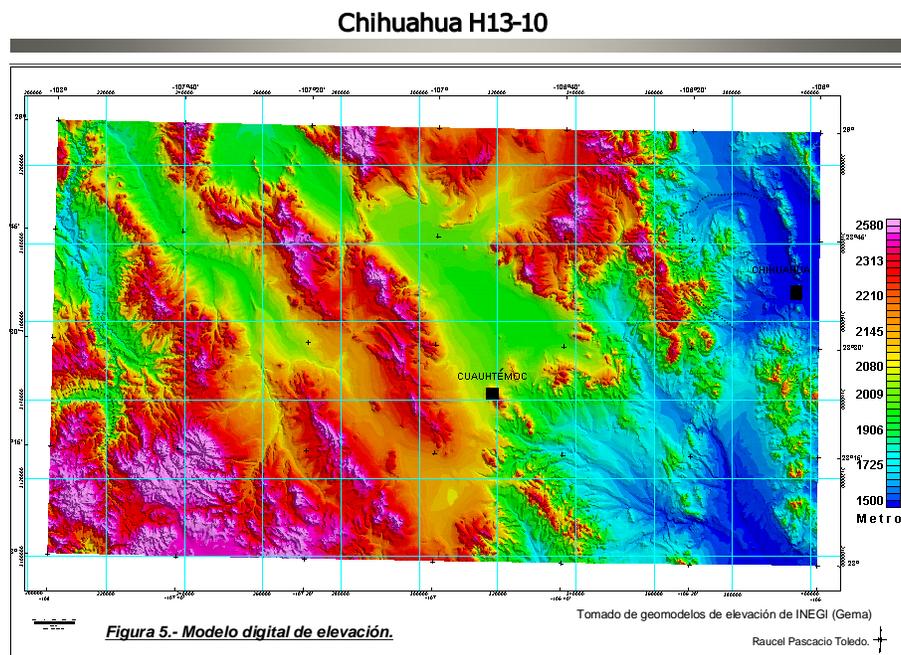
Al suroriente de Quevedo, en la porción centro-oriente de la carta, afloran varios apófisis de granodiorita, que afectan a rocas félsicas del Oligoceno Temprano, asociados a zonas de silicificación y vetas de cuarzo amatista. Se desconoce su fechamiento pero se correlaciona con la granodiorita de El Aguaje (CRM, 1997). Se correlaciona espacialmente con una zona de alta intensidad magnética producto de las rocas volcánicas (dominio magnético B<sub>2-3</sub>).

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

a las rocas volcánicas del oligoceno (CRM, 1997). Sin respuesta magnética característica.

## IV.2.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

El marco estructural de la carta es producto del evento compresivo de la orogenia Laramide y del evento extensional de Cuencas y Sierras, que controla la morfología actual de la región figura 5. No se tiene datos de los indicadores cinemáticos de las rocas precámbricas y paleozoicas, debido a lo reducido de sus afloramientos y a su grado de erosión; sólo se infiere que la orogenia Ouachita les produjo un metamorfismo térmico de bajo grado en el Paleozoico Tardío (Denison y otros, 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 del Paleoceno presentan una intensa deformación y alteración propilítica (McDowell y Mauger 1994; Ferríz, 1981). Las rocas volcánicas del Eoceno y Oligoceno, sólo están afectadas por fallamientos normales. Los rasgos estructurales más notables son fallas de rumbo N10-50 W que limitan bloques levantados y amplios valles paralelos.

En la región central, una serie de fallas de este sistema estrechamente separadas, define una zona de cizalla que controló el emplazamiento de los cuerpos graníticos

terciarios de Calera, Quevedo, El Aguaje y el Magistral. Esta zona de fallamiento transcurrente es paralela a la megacizalla Mojave- Sonora (Anderson y Silver, 1979).

Hacia la región oriental de la carta las fallas son casi N-S, más recientes e íntimamente relacionadas a la tectónica de Cuencas y Sierras. Un segundo sistema consiste de fracturas conjugadas N 50-30 E, que interrumpe la continuidad de las sierras, sobre todo en la porción central de la carta y al parecer controla la formación de las lagunas, Los Mexicanos y Bustillos (Figura 6).

### Chihuahua H13-10

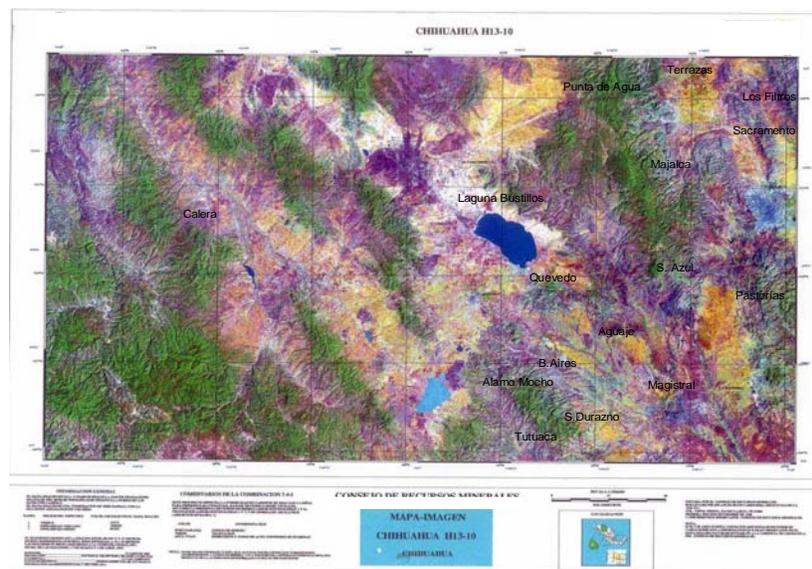


Figura 6.- Mapa Imagen (espaciomapa).

Tomado del texto de la Carta  
Chihuahua H13-10 (CRM,1997

Raucel Pascacio Toledo.

No se conoce el desplazamiento total 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 las zonas de bolsones, pero son evidentes en los lineamientos magnéticos interpretados.

Otros rasgos estructurales los constituye la presencia de grandes estructuras de calderas resurgentes asociados al volcanismo félsico del Eoceno y Oligoceno. Las más notables son el complejo de calderas de Las Varas y Tomochic, de aproximadamente 20 km de diámetro, localizadas en la porción surponiente de la

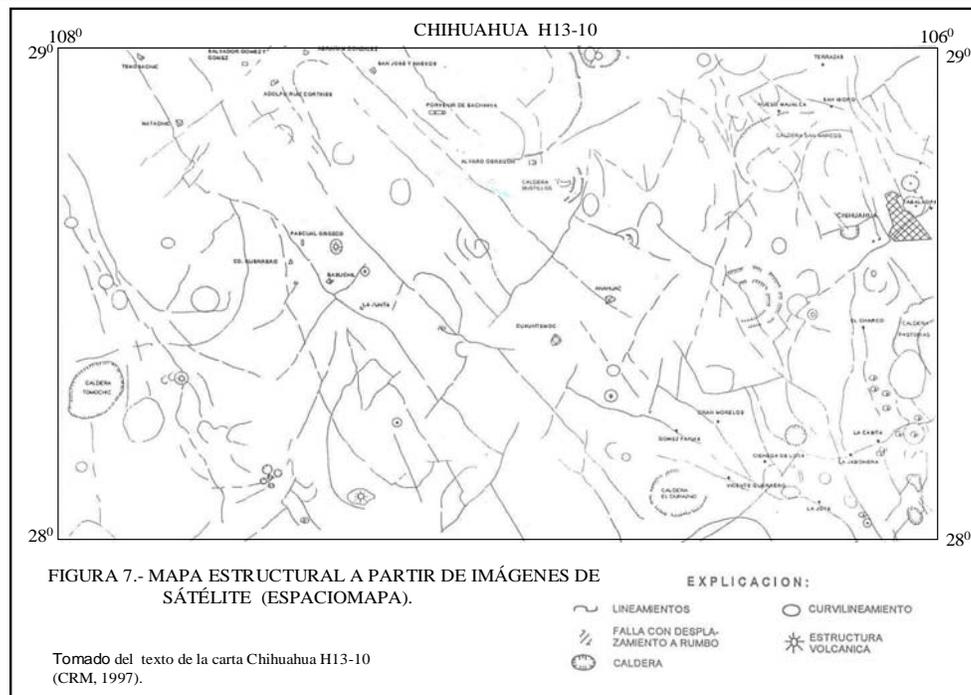
carta y la caldera Corralitos, de 25 km de diámetro, al nororiente de la Tomochic (Swanson y McDowell, 1984 y 1985).

En el extremo nororiente de la carta, se localiza la caldera de San Marcos o de Majalca, de 20 km de diámetro de la cual sólo aflora una parte y al parecer corresponde a una estructura compleja de calderas anidadas (Ferríz, 1981).

En la porción suroriente de la carta, se localiza la caldera de Pastorías, de 20 km de diámetro y al suroriente 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), localizado al oriente y fuera de la superficie de esta carta. Existen otros lineamientos, pero no se ha definido con trabajos de campo si se trata de estructura tipo calderas, (Figura 7).

### Chihuahua H13-10



Raucel Pascacio Toledo.

### IV.3.- EVOLUCIÓN TECTÓNICA.

Gran parte de la superficie de la carta, al igual que la región centro y norte del estado, forman parte del cratón de Norteamérica (Campa y Coney, 1983; Sedlock y otros 1993; Handschi y otros 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 surponiente de los Estados Unidos (Denison y otros, 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 suroriente se une con un cinturón de rocas ígneas y sedimentarias, cuyas edades varían de 1 000 a 1 000 Ma, que viene desde Texas y pasan por la zona 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 1200 a 1100 Ma.), formando una compleja faja estructural con dirección E-W, con vergencia hacia el norte (Bickford, 1988).

Aunque en el área que cubre la carta, las rocas grenvilianas están limitadas por fallas (Blount y otros, 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 (Nims y otros, 1986; Roberts y Ruiz, 1989; Cameron y otros 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 y otros, 1993).

En 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 nororiente 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 y otros, 1987).

En esta cuenca intracratónica se depositan sobre la plataforma continental sedimentos turbídicos y deltaicos de la formación Rara o Villa Aldama (Ramírez y Acevedo, 1957). Estos sedimentos fueron deformados a consecuencia de la Orogenia Ouachita que alcanzan su culminación en el Paleozoico Tardío (Ross, 1979). Estos sedimentos están representados por la faja orogénica Ouachita que cabalga al Cratón de Norteamérica en la región oriental de Chihuahua, en área fuera de la carta (Handschy y otros, 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 África, que se manifiesta a gran escala al nororiente de la región con el desarrollo del sistema de fallas Mojave-Sonora, con movimiento siniestro (Anderson y Silver, 1979).

Esta tectónica está representada por el hundimiento gradual de una cuenca intracratónica, cuenca de Chihuahua que dio origen a 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 de Florida-Moyotes); Es invadida por las aguas marinas desde el suroriente y del ancestral Golfo de México (Handschy y otros, 1987).

La interacción entre estos elementos paleogeográficos controló la sedimentación mesozoica en toda la región y dio origen a 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 alcanza un espesor de más de 5000 m.

En el Albiano Medio la región nororiente, 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.

Durante el Paleoceno, el magmatismo es menos intenso 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 volcanismo Eocénico muy difundido a 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 y otros, 1990).

Este volcanismo es el más voluminoso y de mayor distribución en la carta y estuvo asociado a grandes complejos de caldera (Caldera 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 volcanismo de andesitas basálticas medianamente alcalinas distribuidos en toda la carta que sobreyace a las rocas calcoalcalinas y es suprayacido 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 lítricas y fue contemporánea a 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 más recientes 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, área fuera de la superficie 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 de un volcanismo alcalino al oriente de la región, en superficie fuera de la carta (Henry y Price, 1986). Este fallamiento normal extensional generó sierras elongadas, 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 de deslizamiento oblicuo lateral derecho sobre fallas preexistentes NW-SE del basamento precámbrico-paleozoico (Stevens y otros, 1992). Este fallamiento es el responsable de la morfología actual de la región. Hace 10 Ma los esfuerzos cambiaron 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 ha detectado evidencia de actividad tectónica ni magmática reciente, dominando la erosión y sedimentación continental, principalmente en la región poniente, figura 5.

#### IV.4.- YACIMIENTOS MINERALES.

Las principales evidencias de mineralización económica en la carta, se clasifican como epitermales y de tipo skarn; estas se localizan en la porción oriental de la carta, donde sobresalen por su producción minera los distritos mineros de Cusihiuriachi, Calera y Terrazas, así como las zonas mineralizadas de Minillas, La Descubridora, y Milpillas (Figura 8). Actualmente todos estos distritos y zonas mineralizadas están inactivos (CRM, 1994).

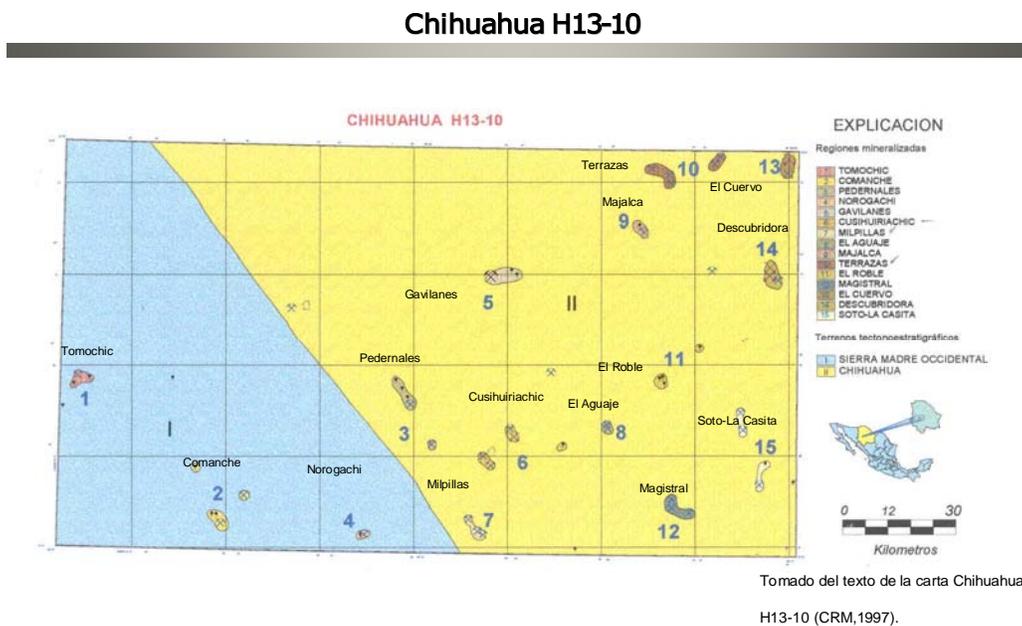


Figura 8.- Regiones mineralizadas y terrenos tectonoestratigráficos de la carta Chihuahua H13-10.

Raucel Pascado Toledo.

##### IV.4.1.- Yacimientos epitermales.

Los principales yacimientos epitermales localizados dentro de la superficie de la carta Chihuahua, se presentan en forma de vetas con mineralización de sulfuros polimetálicos.

El distrito minero más importante por el volumen de su producción es el de Cusihiuriachi, que se localiza en la porción 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, y un máximo de 10 m. Estas estructuras contienen minerales de Ag, Au, Pb y 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 y se considera que aún tiene potencial a profundidad y lateralmente hacia el NE, en la continuidad de las vetas a profundidad en un bloque hundido.

La zona mineralizada de Milpillas, se localiza en la porción centro-sur de la carta, al sur del distrito minero de Cusihiuriachi y consiste de una serie de vetas de cuarzo epitermales con minerales de Ag, Pb y Zn, las vetas tienen rumbos de N45° – 60° W y N 10° E, y alcanzan longitudes de 1 200 m, con espesores de 0.7 a 1.2 m (CRM,1994).

Las vetas están emplazadas en tobas y derrames andesíticos y riolíticos del Oligoceno, afectados por troncos graníticos y han producido más de 80 000 ton de mineral. La zona se correlaciona con un cuerpo magnético sepultado, que puede ser el basamento o intrusivo de dimensiones batolíticas a profundidad (dominio magnético A<sub>1-6</sub>).

Existen otras evidencias de mineralización en los márgenes de las calderas de Majalca, Tomochic, Pastorías y Nuevo, como son vetas epitermales de Ag y Au, en el margen norte de la caldera de Tomochic y vetas epitermales en ignimbritas del Eoceno, de la facie intracaldera en 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 vetas de las calderas de Pastorías y Nuevo (CRM,1994).

Otras evidencias de mineralización con intensa alteración hidrotermal (oxidación y silicificación) se localizan en Pedernales, los Gavilanes y Punta de Agua; estas vetas epitermales de Au, Ag en tobas riolíticas, se ubican al sur-oriente 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 asociados a un intrusivo cuarzomonzonítico.

El emplazamiento de la mineralización epitermal se produjo por lo menos en dos eventos, uno en el Eoceno que no afectó a las rocas del oligoceno, y otro evento en el Oligoceno posiblemente asociado al volcanismo riolítico y a la formación de grandes estructura de calderas resurgentes, que fueron el foco de gran actividad magmática, con hidrotermalismo asociado y que dio origen a yacimientos como los del distrito minero de Santa Eulalia, localizado al oriente y fuera de la superficie de esta carta (Megaw,1990).

#### **IV.4.2.-Yacimientos de metasomatismo de contacto o tipo skarn.**

Los yacimientos de este tipo se presentan en forma de mantos, chimeneas, cuerpos de reemplazamiento irregulares y relleno de cavidades cársticas asociados a troncos graníticos terciarios, descritos a continuación.

El distrito minero de Calera, se localiza en la porción centro-poniente de la carta y consiste de un cuerpo de reemplazamiento en forma de chimenea (mina 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 presenta condiciones estructurales favorables para contener cuerpos mineralizados a profundidad, ya que el intrusivo granítico se extiende en el subsuelo hacia el surponiente, bajo la cubierta de material de relleno, como lo indica la respuesta magnética asociada al dominio A<sub>2-1</sub>.

Otro distrito importante es el de Terrazas, que se localiza en el extremo nororiental donde se explotaron cuerpos de skarn con minerales 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 los 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 magnético A<sub>1-11</sub>).

A 17 km al norponiente de la ciudad de Chihuahua, se localiza la zona mineralizada de Minillas, en donde se explotaron cuerpos de reemplazamiento en forma de mantos y bolsadas irregulares con minerales 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 por que se localiza 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 magnético A<sub>1-14</sub>).

La zona mineralizada La Descubridora se localiza en la porción nororiente de la carta, inmediatamente al norte de la ciudad de Chihuahua, donde se explotaron mantos de reemplazamiento y cuerpos irregulares de rellenos de cavidades con minerales de Au, Ag, Pb, Fe y Mn, en calizas cretácicas. Esta zona tiene un gran potencial a profundidad ya que se encuentra en el margen sur de un probable intrusivo emplazado a profundidad bajo la Sierra de Sacramento (dominio magnético A<sub>2-6</sub>).

En la Sierra Magistral, al sur oriente de la carta, se presentan manifestaciones de mineralización metasomática de contacto de Ag, Pb, Zn, Cu y Fe, asociadas a un tronco granodiorítico que afecta a calizas cretácicas, dominio magnético A<sub>1-8</sub> (CRM,1997).

En la zona 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, dominio magnético A<sub>1-9</sub>, (CRM,1997).

Con respecto a la edad de la 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 (60-57Ma) y otro en el Oligoceno (37 a 32 Ma), cada uno de los cuales produjo mineralización metasomática e hidrotermal asociada (McDowell y Mauger, 1994).

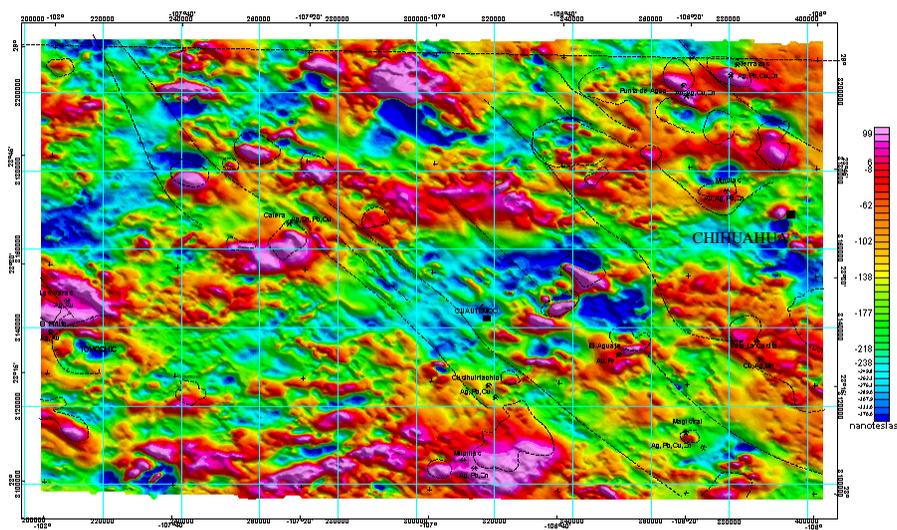
## V.- GEOFÍSICA.

### V.1.-METODOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS.

La información procesada y analizada en ésta tesis, fue tomada del vuelo aeromagnético, realizado por el Consejo de Recursos Minerales en el año de 1997, con altura de vuelo a 450 m, sobre el nivel del terreno, y separación de líneas de vuelo a cada 1000 m y con rumbo N-S. Las líneas de control perpendiculares a las primeras fueron levantadas a cada 18.5 km. Se usa, para este levantamiento, una aeronave Aislander BN2-B27, equipada con un magnetómetro Scintrex CS-2 de bombeo óptico de vapor de cesio (con sensibilidad de 0.001 nT), un radar altímetro Sperry RT-220 de Radio-frecuencia, usando un sistema de navegación Novatel GPS-911R+Racal landstar KM IV, 5M de navegación electrónica (GPS) y como estación base se utilizó un magnetómetro Gem-system GSM-19, Overhauser. A la información recavada se le sustrajo el Campo Geomagnético Internacional de Referencia 1995 (IGRF/DGRF).

Las respuestas magnéticas regionales contenidas en el mapa magnético de campo total figura 9, integran información debida a cuerpos a diferentes profundidades (cuerpos someros, intermedios y profundos). Respuestas que se manifiestan como la suma de longitudes de onda cortas, medianas y largas. Para separar cada una de estas respuestas o señales, se aplicó lo que se conoce como separación de anomalías, utilizando el filtrado de señales, mediante el análisis de Fourier. Específicamente se aplicaron filtros pasabajos, pasa altas y primera derivada vertical. Finalmente el análisis del espectro de energía, nos ayudó a conocer la profundidad media de las fuentes magnéticas.

## Chihuahua H13-10



magnéticos Lineamientos      Dominios magnéticos

Raucel Pascacio Toledo

## V.2.- EL MAPA AEROMAGNÉTICO DE LA HOJA CHIHUAHUA Y CONFIGURACIÓN DE LOS DATOS GEOFÍSICOS.

### V.2.1.-REDUCCIÓN AL POLO DEL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL (CMT).

Son varios los parámetros que influyen en la forma de las anomalías magnéticas. En efecto la forma de las anomalías magnéticas dependen de las características del campo geomagnético, y del eventual magnetismo remanente, así como también de la forma, dimensiones, y orientación de los cuerpos que las producen.

En general, las anomalías magnéticas están caracterizadas por un dipolo: una anomalía positiva y otra negativa. En el hemisferio norte cuando sólo tenemos magnetización inducida (y magnetismo remanente en la misma orientación) el máximo se ubica al sur de la fuente magnética (el negativo al norte). Esta situación contrasta con la gravimetría, donde las anomalías se ubicará al aplomo de los cuerpos que las producen.

Sólo en el caso de una magnetización vertical se tiene una anomalía positiva en la vertical de la fuente magnética (circundada de anomalías negativas menores).

Baranov (1957, 1976) desarrolló un método con el objetivo de obtener el campo de anomalías magnéticas que sería observado si el campo magnético inductor y la magnetización fueran verticales. A éste proceso se le denomina reducción al polo.

Por lo tanto a partir de las mediciones dadas, este proceso nos permite remover la dependencia que la forma de las anomalías tienen en función de la inclinación y declinación magnética que prevalecen en el área de estudio. Por otro lado la reducción al polo simplifica la interpretación de los datos de gradiente magnético, porque en las latitudes magnéticas menores a  $50^\circ$  la relación de la anomalía con la geometría de la fuente no es a menudo obvia (Vacquier et al, 1951; y Baranov, 1957).

Para la carta Chihuahua que fue levantada con una inclinación de  $I= 55^\circ 55'$  y una declinación de  $D= 9^\circ 54'$  la reducción al polo permitió obtener las anomalías aeromagnéticas que hubieran sido observadas con una inclinación y declinación de  $I= 0^\circ$  y  $D= 0^\circ$  respectivamente. Este proceso de realzar la información magnética nos permitirá, determinar exactamente la posición de las fuentes magnéticas y contactos litomagnéticos (Figuras 10 y 11). Este procesamiento sirvió de base para realizar la continuación de campo ascendente a 4000 m.s.n.t. y la primera derivada vertical.

### Chihuahua H13-10

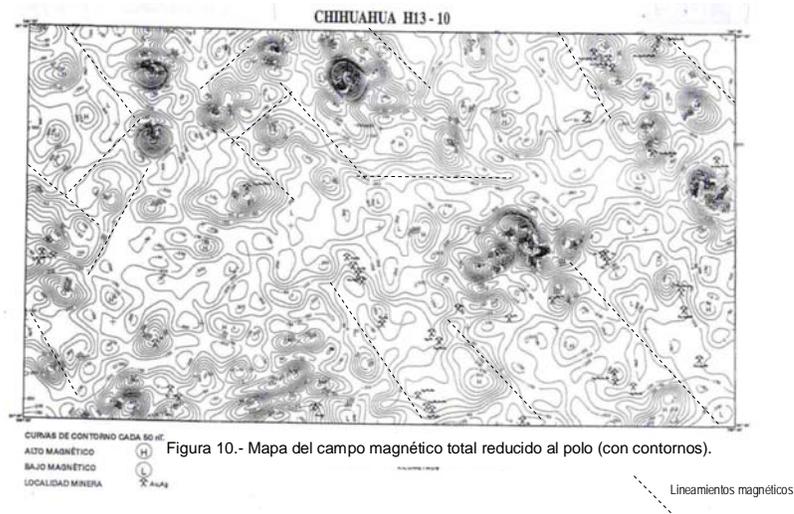
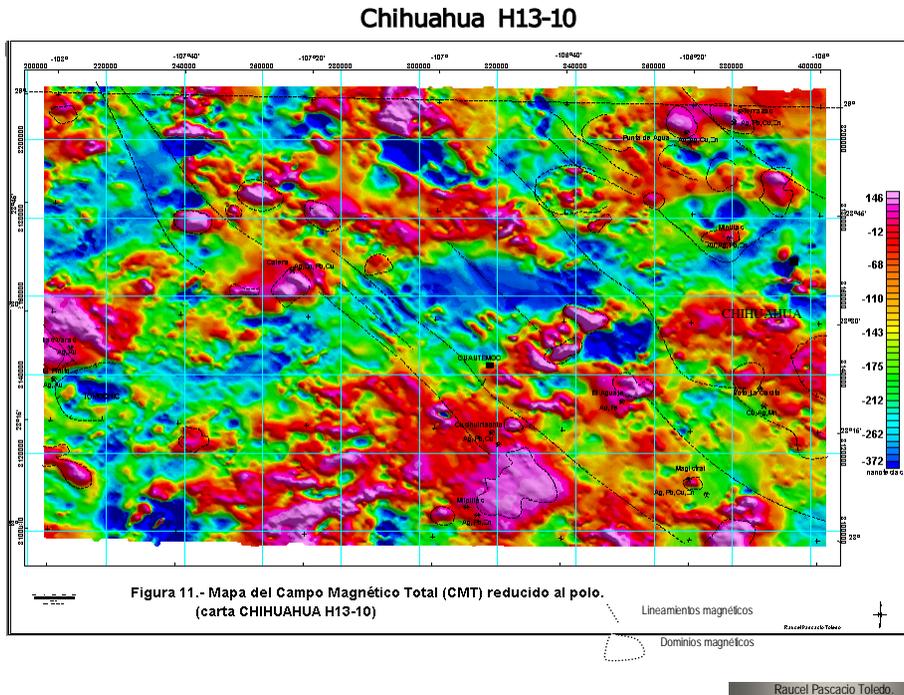


Figura 10.- Mapa del campo magnético total reducido al polo (con contornos).

Raucel Pascadio Toledo.



### V.2.3.- CONTINUACIÓN ASCENDENTE A 4000 s.n.t. DEL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL (C.M.T.) REDUCIDO AL POLO.

Cuando se mide el campo magnético a diferentes alturas con respecto de la superficie, vemos que la intensidad de las anomalías caracterizadas por altas frecuencias (y asociadas a cuerpos someros) se atenúan a mayores alturas. Un mapa magnético a mayor altura, por lo tanto, nos proporcionará un medio para separar anomalías regionales de locales. Esto se puede obtener realizando levantamientos aéreos a diferentes alturas (lo que es muy caro). Sin embargo, partiendo del levantamiento a un nivel dado (nivel del terreno, por ejemplo) se pueden obtener las anomalías, tal como se observarían, a otro nivel dado. Este proceso se conoce como continuación analítica. Cuando uno obtiene el mapa de anomalías a un nivel superior tenemos la continuación ascendente.

Este proceso al igual que la reducción al polo, y la derivación vertical se realizan de manera muy sencilla en el dominio de las frecuencias (con la ayuda de la transformada de Fourier).

La ascendente se realiza con ayuda del operador  $e^{-h} (U^2+V^2)^{-1/2}$ . Esto significa que la continuación hacia arriba suaviza o atenúa las anomalías de alta frecuencia pasando

sólo las anomalías de bajas frecuencias. El proceso puede ser útil para suprimir las anomalías someras cuando sólo se desea detallar las anomalías más profundas.

Con el propósito de resaltar las respuestas de fuentes magnéticas profundas, se efectuó la continuación analítica ascendente de los datos magnéticos a 4000 m.s.n.t. Como se mencionó éste proceso atenúa las altas frecuencias (residual) correspondientes a las unidades geológicas más superficiales, realizando las bajas frecuencias, correlacionables a las estructuras geológicas profundas, que nos permite observar la posición actual de las estructuras a profundidad y el fallamiento regional a éste nivel (Figuras 13, 14 y 14a).

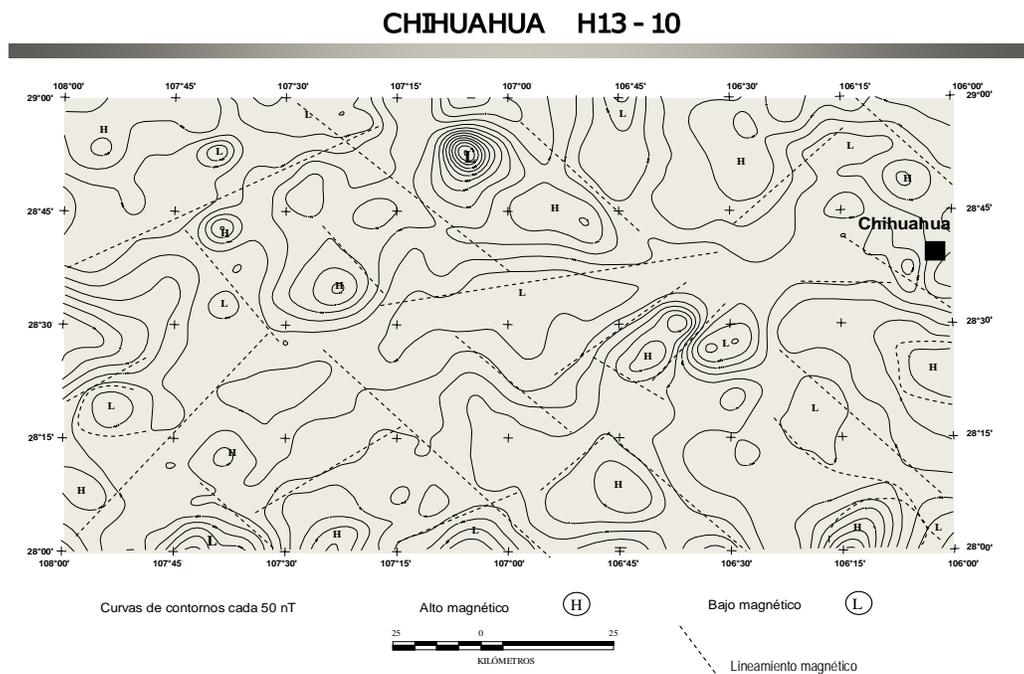


Figura 13.- Continuación ascendente a 4000 m.s.n.t. del CMT reducido al polo (con contornos)

Raucel Pascacio Toledo.



Este mapa permitió diferenciar las respuestas magnéticas a profundidad de los dominios magnéticos  $A_1$  y  $A_2$  producidos por cuerpos ígneos intrusivos (Figura 12). Pero también nos permitió analizar el basamento magnético, así como algunas discontinuidades del mismo.

### V.2.2.- PRIMERA DERIVADA VERTICAL DEL C.M.T. REDUCIDO AL POLO .

Cuando varias fuentes magnéticas se encuentran muy próximas unas de otras, sus anomalías se sobreponen, y se tiene una anomalía compuesta. Es muy difícil separar a simple vista las diferentes componentes.

Eujen (1936) y Numerov (1929), estudiaron el poder separar de las derivadas verticales.

Cabe señalar que éste proceso favorece o realza la información asociada a altas frecuencias a desventajas de la información debida a bajas frecuencias; la información ligada a bajas frecuencias está asociada a fuentes de carácter regional (Aldrege, 1965); un mapa de la derivada vertical está libre de los efectos de estas estructuras regionales y profundas.

El cálculo de la primera derivada vertical del campo magnético, puede ser realizada con sólo multiplicar la transformada de fourier de la anomalía de campo total por un operador de la forma:

$$1/n \left| (U^2 + V^2)^{1/2} \right|^n$$

Donde  $n$  es el orden de la derivada vertical. La primera derivada vertical físicamente equivale a medir simultáneamente el campo magnético en dos puntos a diferentes alturas sobre la misma vertical y después obtener la diferencia de los datos obtenidos y dividiendo el resultado por la separación vertical de los puntos de medición. Este cálculo del gradiente vertical elimina las longitudes onda larga, los efectos regionales y ayuda a separar los efectos de las anomalías adyacentes, asociadas a rocas cercanas a la superficie.

Este proceso tuvo la finalidad de resaltar las anomalías de altas frecuencias, y ayudó a definir los rasgos litológicos y estructurales más superficiales, así como las tendencias generales de la morfología actual, tales como son lineamientos magnéticos, rocas volcánicas, cuerpos ígneos aflorantes, pero también fue útil para

localizar bordes verticales y subverticales de fuentes magnéticas (Figuras 15, 16 y 16a).

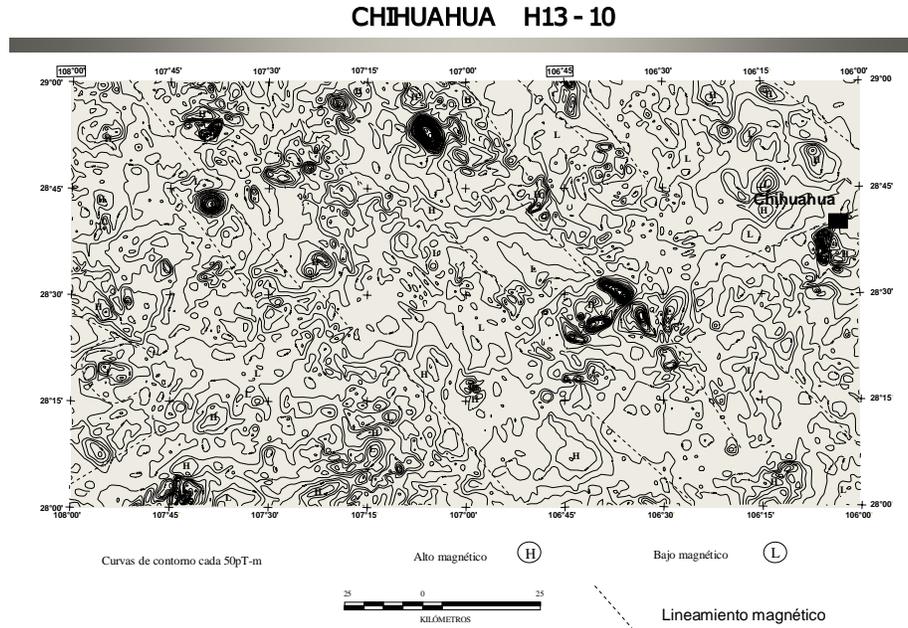


Figura 15.- Primera derivada vertical del CMT reducido al polo, con curvas de contornos.

Raucel Pascacio Toledo

**Primera derivada vertical del CMT.  
reducida al polo**

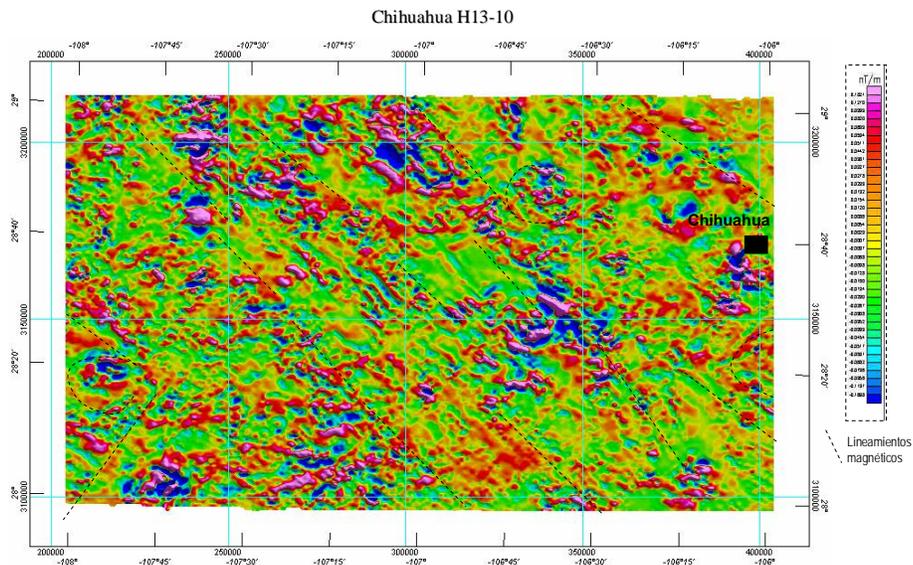


Figura 16.- Mapa de rasgos superficiales (primera derivada vertical del CMT reducido al polo).

Raucel Pascacio Toledo



### **V.3.- INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA REGIONAL.**

La información aeromagnética contenida en esta carta es de carácter regional, y ayuda a interpretar indirectamente rasgos geológicos del subsuelo e inferir la distribución y naturaleza de las rocas ocultas (intrusivas, rocas sedimentarias, metamórficas y rocas volcánicas), fallas y controles estructurales. Estos rasgos se asocian a los contrastes de susceptibilidad magnética entre los materiales del subsuelo, a su vez debido a la composición mineralógica de las rocas.

Este estudio se basa en una interpretación cualitativa y otra cuantitativa, ambas de carácter regional. Que se basan en la información geofísica original y aquella realizada mediante su procesamiento.

Para la obtención de mayor información, se necesitará seleccionar a partir de este vuelo regional áreas específicas y realizar vuelos de alta precisión, que consistirán de vuelos bajos con altura entre 80 y 150 metros sobre el nivel del terreno, espaciamiento de líneas de vuelo entre los 100 y 300 metros, además de complementarlos con trabajos geológicos y geoquímicos a detalle.

#### **V.3.1.- INTERPRETACIÓN CUALITATIVA.**

La aeromagnetometría es un método geofísico de gran importancia en la exploración y que ha mostrado en particular ser un excelente medio para examinar rápidamente extensas zonas de posibles yacimientos o de recursos del subsuelo, tanto energéticos como mineros. Este método en cuanto a los principios físicos, tiene mucho en común con el gravimétrico, ya que ambos son campos potenciales y sus fundamentos están basados en la teoría matemática del campo potencial.

Una vez que los datos magnéticos han sido corregidos totalmente y reducidos a su forma final, son desplegados en forma de mapas de contorno. En base a estos se puede realizar la primera interpretación de una forma visual, que consiste en la comparación de las características magnéticas, y formas de las anomalías, tendencias e intensidad de magnetización. En éste estudio no se toma en cuenta la magnetización remanente, debido a que no se conoce. Se correlaciona la información magnética y la información geológica.



## DOMINIOS MAGNÉTICOS A<sub>1</sub>

Estos dominios se atribuye a rocas ígneas intrusivas de composición ácida e intermedia. Se caracterizan por su respuesta en forma de monopolos y pequeños dipolos magnéticos, cuya intensidad varía de 25 a 300 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.

En los límites de la carta se localizaron 14 dominios magnéticos A<sub>1</sub>, asociados a ambientes de rocas volcánicas y sedimentarias, tanto de la provincia Sierra Madre Occidental, como de la provincia de Cuencas y Sierras del norte de México, se describen estos dominios a continuación en la Tabla 1.

<i>Localización</i>	<i>Descripción</i>	<i>Significado Geológico</i>
A <sub>1-1</sub> Ubicado en la porción surponiente de la carta.	Respuesta magnética: monopolar. Forma: irregular, con dirección E-W. Intensidad máxima: 150 nT.	Respuesta magnética atribuible a cuerpo magnético, situado en un ambiente volcánico constituido por conglomerado polimíctico-tobas riolíticas. Ubicado en la margen norte de la caldera Tomochic.
A <sub>1-2</sub> Ubicado en la porción centro-poniente de la carta, en el poblado de Heredia y Anexas.	Respuesta magnética: monopolar. Forma: elíptica, con rumbo E-W. Intensidad máxima: 150 nT.	Respuesta atribuible a cuerpo intrusivo, que se haya cubierta por rocas volcánicas de composición basáltica.
A <sub>1-3</sub> Ubicado en la porción surponiente de la carta y al sur del rancho la Mesa.	Respuesta magnética: monopolar. Forma: elíptica, con rumbo NW-SE. Intensidad máxima: 200 nT.	Respuesta magnética atribuible a un cuerpo intrusivo sepultado por rocas volcánicas de composición riolítica-ignimbrítica.

<p>A<sub>1-4</sub> Localizado en la porción norte-centro de la carta sobre la sierra Mezcalera.</p>	<p>Respuesta magnética: monopolar. Forma: elíptica, con rumbo E-W. Intensidad máxima: 100 nT.</p>	<p>Respuesta magnética atribuible a un cuerpo intrusivo sepultado por tobas riolíticas-ignimbríticas terciarias. Sin evidencias de mineralización.</p>
<p>A<sub>1-5</sub> Localizado al centro de la carta y al sur de la sierra San Juan.</p>	<p>Respuesta magnética: monopolar. Forma: irregular, con rumbo NW-SE. Intensidad máxima: 150 nT.</p>	<p>Respuesta magnética atribuible a un cuerpo intrusivo sepultado por riolitas, andesitas y basaltos terciarios. Sin evidencias de mineralización.</p>
<p>A<sub>1-6</sub> Localizado en el extremo centro- sur de la carta.</p>	<p>Respuesta magnética: monopolar. Forma: irregular, con rumbo NE-SW. Intensidad máxima: 25 nT.</p>	<p>Respuesta magnética atribuible a un cuerpo intrusivo de dimensiones batolíticas sepultado por una secuencia volcánica riolítica, cuyos apófisis afloran en la zona de Milpillas y Buenos Aires , donde existen vetas de sulfuros metálicos en rocas volcánicas.</p>
<p>A<sub>1-7</sub> Localizado en la porción norponiente de la carta.</p>	<p>Respuesta magnética: monopolar. Forma: elíptica, con rumbo E-W. Intensidad máxima: 100 nT.</p>	<p>Respuesta magnética atribuible a un cuerpo ígneo sepultado por rocas volcánicas riolíticas-ignimbríticas y basaltos terciarios.</p>
<p>A<sub>1-8</sub> Localizado en la porción suroriente de la carta.</p>	<p>Respuesta magnética: monopolar. Forma: circular. Intensidad máxima: 300 nT.</p>	<p>Respuesta magnética atribuible a un cuerpo intrusivo. Se correlaciona con el tronco granodiorítico de la Sierra Magistral.</p>

<p>A<sub>1-9</sub> Localizado en la porción suroriente de la carta.</p>	<p>Respuesta magnética: dipolar. Forma: circular. Intensidad máxima: 200 nT.</p>	<p>Respuesta magnética atribuible a un cuerpo intrusivo. Se correlaciona parcialmente con el tronco granodiorítico del Aguaje. Se observa mineralización tipo skarn (McDowell y Mauger, 1994).</p>
<p>A<sub>1-10</sub> Localizado en la porción nororiente de la carta, en el rancho la Cruz.</p>	<p>Respuesta magnética: monopolar. Forma: circular. Intensidad máxima: 100 nT.</p>	<p>Respuesta magnética atribuible a un cuerpo intrusivo, sepultado por rocas riolíticas y andesíticas. Existe evidencia de mineralización de Au, Ag, Pb, y Zn (Minillas).</p>
<p>A<sub>1-11</sub> Localizado en la porción nororiente de la carta.</p>	<p>Respuesta magnética: monopolar. Forma: circular. Intensidad máxima: 150 nT.</p>	<p>Respuesta magnética atribuible a un cuerpo intrusivo. Se correlaciona con el intrusivo de composición granodiorítica del distrito de Terrazas. Existe evidencia de mineralización de Ag, Pb, Cu.</p>
<p>A<sub>1-12</sub> Localizado en la porción nororiente de la carta.</p>	<p>Respuesta magnética: monopolar. Forma: circular. Intensidad máxima: 150 nT.</p>	<p>Respuesta magnética atribuible a un cuerpo intrusivo. Se correlaciona con el intrusivo de composición granodiorítica del distrito de Punta de Agua. Existe evidencia de mineralización de Au, Ag, Pb, Cu y Zn.</p>

<p style="text-align: center;">A<sub>1-13</sub> y A<sub>1-14</sub></p> <p>Localizado en la porción nororiente de la carta.</p>	<p>Respuestas magnéticas: monopolares. Forma: irregulares Intensidad máxima: de ambas 50 nT.</p>	<p>Respuesta magnética atribuible a cuerpos intrusivos sepultados por tobas riolíticas y riolitas e ignimbritas respectivamente.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Tabla 1. Dominios magnéticos tipo A<sub>1</sub> ubicadas en el área de estudio. Su interpretación cualitativa se basó en la geología de la Carta Geológico-Minera a la misma a escala 1:250 000, publicada por el CRM (1997).**

## DOMINIOS MAGNÉTICOS A<sub>2</sub>

Los dominios magnéticos A<sub>2</sub> se definen como anomalías magnéticas dipolares de alta y moderada intensidad, cuyas respuestas se atribuyen a rocas intrusivas de composición intermedia a máfica, teniendo intensidades de 200 a 1650 nT; estas anomalías son escasas y se localizan principalmente en los extremos norponiente, sur y suroriente de la superficie de la carta Chihuahua, como se describen en la Tabla 2.

Localización	Descripción	Significado Geológico
A <sub>2-1</sub> Ubicado en la porción norponiente de la carta, sobre el poblado de Ciudad Guerrero.	Respuesta magnética: dipolar. Forma: irregular, con dirección N-S. Intensidad máxima: 550 nT.	Respuesta magnética atribuible a un cuerpo intrusivo sepultado por rocas volcánicas y material reciente. Se correlaciona parcialmente con un intrusivo granodiorítico y algunos diques de composición riolíticas-monzoníticas que afectan a los derrames volcánicos (CRM,1997).
A <sub>2-2</sub> Ubicado en la porción norponiente de la carta, al sur del poblado Venustiano Carranza.	Respuesta magnética: dipolar Forma: elíptica, con rumbo NW-SE. Intensidad máxima: 800 nT.	Respuesta magnética atribuible a un cuerpo intrusivo sepultado por tobas riolíticas y andesitas basálticas. Sin evidencia de mineralización.
A <sub>2-3</sub> Ubicado en la porción norponiente de la carta y al norponiente del poblado de Carichic.	Respuesta magnética: dipolar. Forma: elíptica, con rumbo NW-SE. Intensidad máxima: 1650 nT.	Respuesta magnética de alta intensidad, atribuida a un cuerpo intrusivo sepultado, al que le sobreyacen rocas volcánicas y material reciente. No se observa mineralización.
A <sub>2-4</sub> Ubicado en la porción centro-sur de la carta y al poniente del rancho Buena Vista.	Respuesta magnética: dipolar. Forma: irregular, con rumbo NE-SW. Intensidad máxima: 400 nT.	Respuesta magnética atribuible un cuerpo intrusivo sepultado por rocas volcánicas terciarias y material reciente.

<p style="text-align: center;">A<sub>2-5</sub></p> <p>Ubicado en la porción centro-oriental de la carta y sobre el rancho La Noria.</p>	<p>Respuesta magnética: dipolar. Forma: irregular, con rumbo NE-SW. Intensidad máxima: 300 nT.</p>	<p>Respuesta magnética atribuible un cuerpo intrusivo sepultado por tobas riolíticas e ignimbritas y conglomerado polimíctico.</p>
<p style="text-align: center;">A<sub>2-6</sub></p> <p>Ubicado en la porción nororiente en el cerro Chilicote.</p>	<p>Respuesta magnética: dipolar. Forma: circular, con rumbo. Intensidad máxima: 600 nT.</p>	<p>Respuesta magnética atribuible un cuerpo intrusivo que subyace a tobas riolíticas e ignimbritas y conglomerado polimíctico.</p>
<p style="text-align: center;">A<sub>2-7</sub></p> <p>Ubicado en la porción suroriente de la carta.</p>	<p>Respuesta magnética: dipolar. Forma: elipsoidal con rumbo NE-SW. Intensidad máxima: 200 nT.</p>	<p>Respuesta magnética atribuible un cuerpo intrusivo que subyace a rocas basálticas y conglomerado polimíctico. No se observa evidencia de mineralización.</p>

**Tabla 2. Dominios magnéticos tipo A2 ubicados en el área de estudio. Su interpretación cualitativa se basó en la geología de la Carta Geológico-Minera a la misma escala, publicada por el CRM (1997).**

## **DOMINIO MAGNÉTICO B<sub>1</sub>**

El dominio magnético B<sub>1-1</sub> está representado por altos y bajos magnéticos, con tendencias magnéticas irregulares, y está presente en la mayor parte de la superficie de la carta; sobre los poblados de Álvaro Obregón, caldera de Pastorías, laguna de Bustillos y sur de Matachic; se correlacionan con afloramientos de rocas volcánicas, tobas riolíticas, andesitas y conglomerados polimíctico, producto de la erosión que cubre las rocas volcánicas. La intensidad magnética de los dominios unidades B<sub>1-1</sub> va de -300 a +100 nT; constituyendo el nivel de fondo de la mayor parte del área de la carta.

Observando el mapa de continuación ascendente a 4000 m s.n.t. (Figura 13), notamos que el dominio B<sub>1-1</sub> sobreyace a varios dominios magnéticos A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>.

## **Dominios Magnéticos B<sub>2</sub>**

Los dominios magnéticos B<sub>2</sub> se atribuyen a las rocas producto del intenso volcanismo de la Sierra Madre Occidental. Ocho dominios se encuentran distribuidos en gran parte de la superficie que cubre esta carta y se asocian al volcanismo terciario.

Los dominios magnéticos B<sub>2</sub> se detectaron en toda la superficie de la carta y se caracterizan por agrupamientos de anomalías dipolares y monopolares de alta intensidad, que cubren las zonas altas y laderas. Estas respuestas se asocian a riolitas, traquitas y andesitas pero principalmente a basaltos, andesitas basálticas, rocas más máficas expulsadas al final del volcanismo riolítico hace 30 Ma (McDowell y Mauger, 1994).

Los principales dominios magnéticos B<sub>2</sub> presentan intensidades que van de -1 600 a +700 nT; en la porción centro-poniente se tienen intensidades que van de -550 a +50nT en la región de Tomochic; de 900 a 450 nT de intensidad alrededor de la ciudad de Chihuahua; de -1 000 a +1 200 nT entre los poblados de el Aguaje y Quevedo siendo el menos intenso. Muchas de las rocas volcánicas que producen estas anomalías se hallan parcialmente cubiertas por material reciente.

## **DOMINIOS MAGNÉTICOS C .**

Se caracteriza por una respuesta magnética negativa de bajo gradiente, no muy extensa. Su intensidad va de - 200 a - 50 nT y su respuesta se atribuye a rocas sedimentarias y metamórficas. Se interpretaron dos zonas de ese tipo; una se localiza en la porción suroriente y la otra en el vértice o zona nororiental de la carta (Figura 12).

El dominio magnético C<sub>1</sub> localizado en la porción suroriente de la carta, se caracteriza por ser una anomalía de baja intensidad con valor de 100 nT, formada por monopolos, se atribuye a las rocas sedimentarias presentes en esta zona, las cuales se halla afectadas por los intrusivos del Aguaje y Magistral y algunas manifestaciones de rocas volcánicas tobas riolíticas e ignimbritas.

El dominio magnético C<sub>2</sub> localizado en la porción nororiente de la carta, es una anomalía de bajo gradiente con intensidad máxima de 150 nT. Se atribuye a las rocas sedimentarias cretácicas, las cuales se hayan afectadas por rocas del basamento formadas por un complejo metamórfico, rocas que afloran en el rancho Los Filtros, cerca de la sierra del Cuervo.

## **LINEAMIENTOS MAGNÉTICOS.**

Se interpretaron dos 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, pero que dislocan a las estructuras magnéticas.

Los lineamientos magnéticos con rumbo NW-SE se presentan ampliamente distribuidos en las regiones central, poniente, centro-norte y suroriente, siendo más escasos hacia el nororiente. Presentan 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 zonas bajas rellenos por material reciente también presentan rumbo NW-SE, producto de la extensión poslaramídica.

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

Los lineamientos magnéticos que definen los límites de los terrenos tectoestratigráficos Sierra Madre Occidental y terreno Tepehuano, se interpretaron como una discontinuidad estructural, que es paralela a una posible zona de cizalla por donde se emplazaron algunos intrusivos aflorantes, en forma de troncos. Se ignora si corresponde a la continuación de la megacizalla Mojave-Sonora o es paralela a ésta.

Se interpretaron siete curvolineamientos que se localizan al margen surponiente, centro-sur, nororiente y extremo oriental de la carta (Figura 12). Algunos de éstos, de forma circular o semicircular, se correlacionan con estructuras tipo caldera y han sido postulados por algunos investigadores. Tal es el caso de Tomochic, Majalca (San Marcos), Pastorías y Nuevo, mientras que otros, localizados en la región surponiente, no tienen expresión superficial y están relacionados a dominios magnéticos B<sub>2</sub> y a grandes espesores de rocas volcánicas terciarias.

### **V.3.2.- INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA.**

En zonas o regiones no muy simples como es el caso donde predominan rocas metamórficas o ígneas, la información magnética muestra usualmente variaciones muy complejas, y las características del basamento son enmascaradas muy frecuentemente por efectos magnéticos de alta frecuencia, que se originan cerca de la superficie. En estos casos la interpretación cualitativa, se limita a ser una herramienta en el mapeo estructural, que proporciona sólo tendencias predominantes de sistemas de anomalías magnéticas que pueden corresponder a provincias magnético-tectónicas.

Por el contrario, las técnicas cuantitativas con una fundamentación física y matemática, mejoran los cálculos de profundidad.

El método utilizado en este trabajo para la estimación de la profundidad es el método estadístico espectral, que usa la transformada de Fourier. Esta técnica se basa en el espectro de amplitud, y se aplica normalmente a grandes volúmenes de datos, como es el caso de la magnetometría aérea .

En el espectro de energía del mapa magnético de campo total se distinguen tres contribuciones las de:

- a).- fuentes someras (longitudes de onda corta).
- b).- fuentes intermedias (longitudes de onda mediana).
- c).- fuentes profundas (longitudes de onda larga).

La Figura 17 muestra la forma logarítmica del espectro radial de energía. Esta figura nos muestra el comportamiento típico del logaritmo del espectro de potencia con el incremento del número de onda. A continuación veremos como en base a éste es posible realizar la estimación de la profundidad.

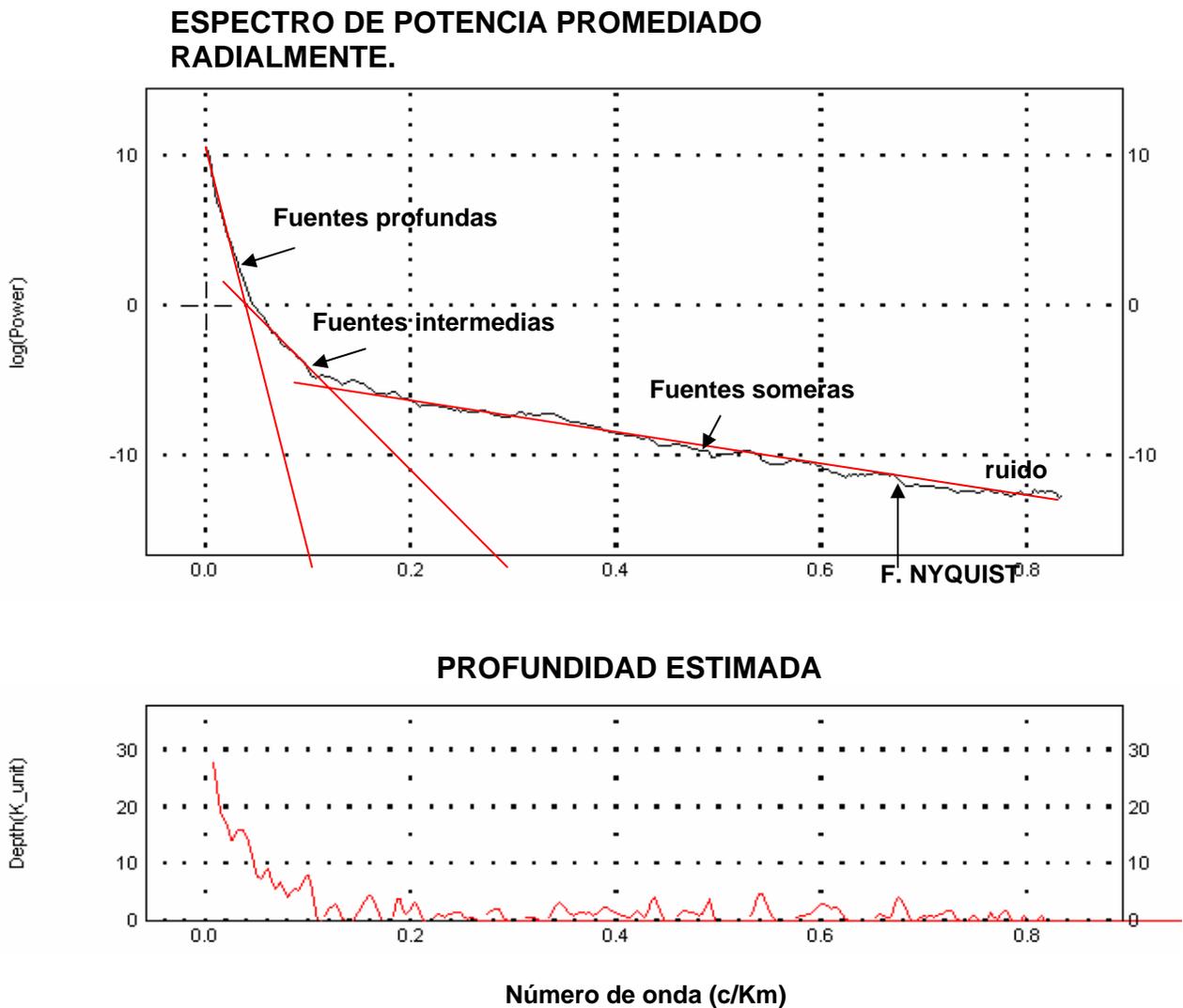


Figura 17.- Gráfica del logaritmo del espectro de potencia – número de onda

## Cálculo de la profundidad a la cima de un conjunto de fuentes magnéticas

Spector y Grant (1970) reportaron la relación existente entre la forma del espectro de amplitud de un conjunto de prismas y la profundidad promedio a sus cimas.

En su análisis usaron principios de la mecánica estadística. Esta relación es la base de un método estadístico espectral para determinar la profundidad de fuentes magnéticas.

El principio de este método es que el logaritmo del espectro de amplitud está constituido aproximadamente por segmentos de líneas rectas cuyas pendientes están ligadas a la profundidad promedio de las fuentes magnéticas por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Log}E(r) = 4\pi hr; \quad h = -\frac{s}{4\pi}$$

Donde:

**h** = profundidad a la cima de la fuente magnética.  
**s** = pendiente del logaritmo espectro de energía  
 $\Delta r$  = intervalo del número de onda (p.e., ciclos/km).

$$h = \frac{1}{4\pi} \left( \frac{\Delta \log E(r)}{\Delta r} \right)$$

Cuando consideramos una rejilla lo suficientemente grande para incluir muchas anomalías magnéticas, el espectro de estos datos puede usarse para determinar la profundidad estadística a las cimas de las fuentes usando la relación anterior.

así la profundidad de un conjunto de fuentes es fácilmente determinada midiendo la pendiente del espectro de energía (potencia) y dividiéndola por  $4\pi$ . Un espectro de energía típico para los datos magnéticos puede exhibir tres o más componentes: Una componente de fuentes profundas, otra componente de fuentes someras, y una componente de ruido (**Figura 17**).

El extremo final de las altas frecuencias del espectro, por lo general es debido al ruido del equipo de medición y del posicionamiento. El número de onda más alto resoluble, se denomina número de **Nyquist** (frecuencia asociada al muestreo, llamada también frecuencia de dobles); la cuál es importante porque cualquier número de onda más alto a éste reflejará, o sufrirá un efecto de aliasing (frecuencia ambigua, que resalta el proceso de muestreo) en el campo medido.

La configuración del basamento magnético se calculó a partir del mapa magnético de campo total (CMT), usando el análisis espectral. El objetivo fue determinar la profundidad a la cima de las fuentes magnéticas, mediante la técnica estadístico-espectral desarrollada por Spector y Grant (1970).

El espectro radial promedio de energía es una función del número de onda solamente, y es calculado promediando la energía en todas las direcciones para el mismo número de onda. El análisis estadístico espectral se simplifica enormemente promediando el espectro de energía con respecto a la dirección (Figura 17).

El espectro radial promedio de energía, es graficado en forma logarítmica. La pendiente de la gráfica en la zona de bajas frecuencias en la curva, representa la componente regional del campo magnético y está asociada a las estructuras regionales relativamente profundas (Figuras 13 y 14); mientras que la pendiente que corresponde a las altas frecuencias, está relacionada con la componente residual del CMT, asociada a cuerpos superficiales (Figura 15).

La Figura 17 muestra un espectro de energía, que consiste de tres segmentos lineales que proporcionan las profundidades para fuentes magnéticas a diferentes niveles, de los cuales sólo se estimaron dos profundidades que corresponden a las fuentes profundas así como a las fuentes intermedias.

La Tabla 3, muestra los resultados obtenidos con el espectro radial promedio de energía, en cada una de las 24 cartas, con ventanas de 27.8 km por 27.8 km en cada una de las cartas escala 1:50,000 que cubren el total de la superficie de la carta Chihuahua, a escala 1:250,000, posteriormente se calcularon otras ventanas, para ser un total de 45 ventanas; en la tabla 3, se enlista los resultados del cálculo a la cima de las diferentes fuentes magnéticas.

## Mapas de profundidades.-

La configuración de la profundidad a la cima del basamento magnético (Figura 18) de la carta Chihuahua H13-10, nos revela en una forma muy general tres niveles de profundidades. El primer nivel localizado en la porción centro-norte de la carta, representa la zona más somera con variación en las profundidades que van de -1000 a -2500 metros abajo del nivel del avión (altura del avión al nivel del terreno es de 450 m), el segundo nivel localizado en la parte central de la carta, entre las profundidades de -2500 a 3100 m bajo el nivel del avión. El último y tercer nivel se haya localizado en cuatro regiones; 1) región sur-oriente ubicada en la caldera de Pastorías; 2) región central donde espacialmente se localiza la laguna de Bustillos; 3) región sur se ubicada sobre el distrito minero de Cusihuiachic, y finalmente 4) la región surponiente sobre la caldera de Tomochíc, con profundidades que van desde -3100 a más de los -4500 m bajo el nivel del avión.

En la configuración de las curvas del basamento magnético los bloques presentan una orientación general NW-SE. Dichos bloques nos dan la apariencia de bloques escalonados (levantamientos y hundimientos), los cuales actúan como pilares tectónicos ubicados a diferentes profundidades. Las profundidades calculadas a partir de datos magnéticos dentro de la carta Chihuahua deben ser comprobadas con otros métodos u obras directas.

Las Figuras 18 y 19 muestran las configuraciones de las profundidades a la cima del basamento magnético, así como la configuración de las profundidades de las fuentes magnéticas intermedias o más someras respectivamente.

## Chihuahua H13-10

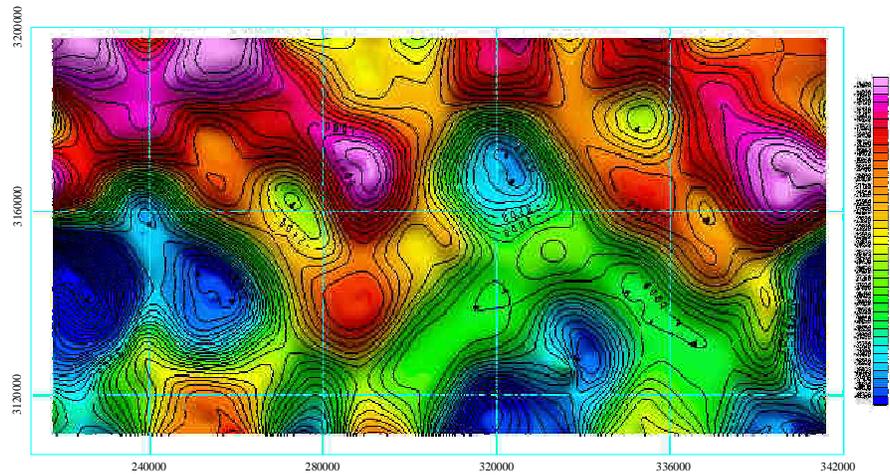


Figura 18.- Mapa de configuración de la profundidad a la cima de las fuentes magnéticas (basamento magnético).

Raucel Pascacio Toledo.

## Chihuahua H13-10

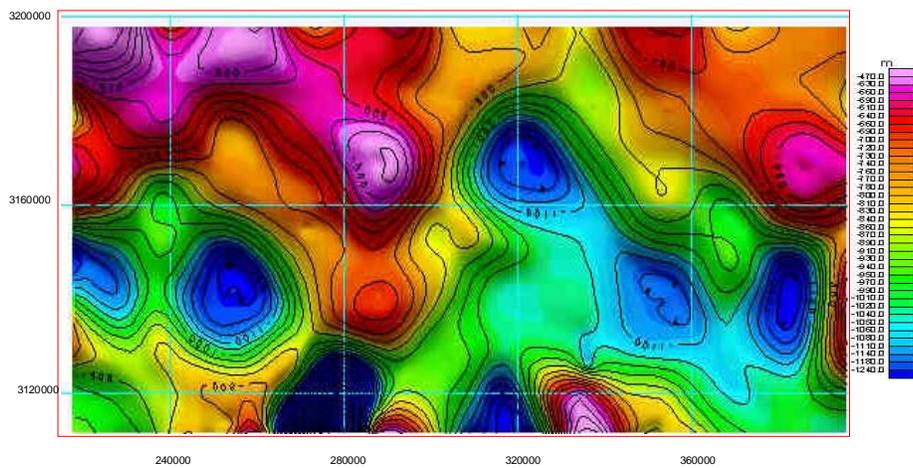


Figura 19.- Mapa de configuración de las profundidades de las fuentes magnéticas intermedias (estructuras intermedias).

0 20 40km

de la carta Chihuahua H13-10

Escala gráfica

Raucel Pascacio Toledo.

TABLA 3.- PROFUNDIDADES A LA CIMA DEL BASAMENTO MAGNÉTICO ( $H_1$ ) Y A FUENTES MAGNÉTICAS INTERMEDIAS ( $H_2$ ), EN EL ÁREA DE LA CARTA CHIHUAHUA H13-10, DONDE X, Y SON LAS COORDENADAS DE LOS CENTROS DE LAS VENTANAS.

X	Y	$H_1$ (-) *	$H_2$ (-)*	VENTANAS
223400	3197600	-1100	-297	V1
256200	3196800	-1070	-467	V2
288800	3196100	-2380	-620	V3
321000	3195200	-1666	-806	V4
353500	3195200	-1739	-668	V5
386200	3194600	-2000	-743	V6
222900	3169800	-1872	-661	V7
255500	3169000	-2020	-767	V8
288200	3168200	-1320	-466	V9
320800	3168800	-3500	-1212	V10
353400	3167000	-1958	-853	V11
386000	3166800	-1276	-587	V12
222200	3141900	-6190	-1133	V13
254800	3141300	-3896	-1225	V14
287800	3140500	-1957	-707	V15
320300	3140100	-2914	-1041	V16
353000	3139400	-2970	-1144	V17
385700	3139200	-2630	-1232	V18
221500	3114200	-3214	-951	V19
254200	3113500	-2079	-801	V20
287300	3113000	-2350	-835	V21
319900	3112300	-4280	-1220	V22
352500	3111800	-2540	-854	V23
385400	3111400	-3650	-1010	V24
217900	3135200	-4400	-820	V25

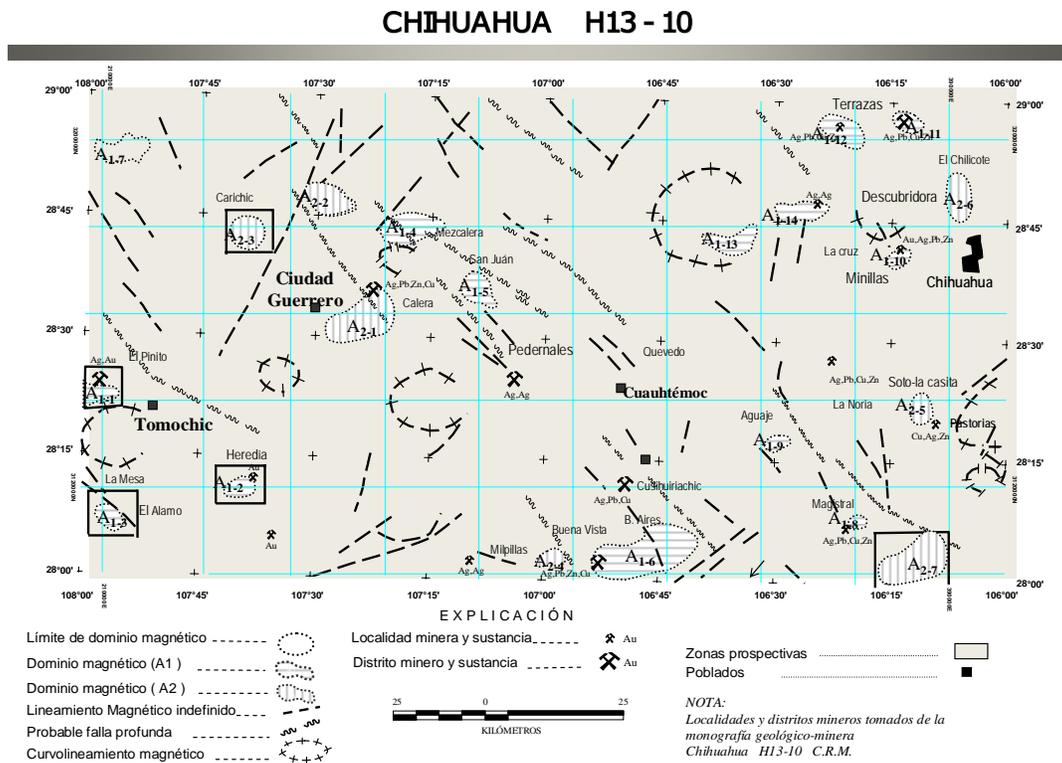
274800	3160000	-2580	-700	V26
334400	3119000	-3680	-496	V27
395800	3138800	-5670	-580	V28
280000	3114400	-3300	-2400	V29
354500	3180000	-2550	-765	V30
238200	3183000	-1515	-548	V31
272000	3182200	-1697	-580	V32
304800	3181800	-2216	-776	V33
337400	3181200	-2115	-884	V34
370000	3180800	-1643	-712	V35
238200	3155400	-3494	-946	V36
271400	3154700	-2298	-791	V37
304200	3154000	-2372	-856	V38
336800	3153500	-2735	-1062	V39
369600	3153000	-2108	-954	V40
338200	3127600	-3844	-1027	V41
270600	3127000	-2570	-892	V42
303700	3126300	-2875	-950	V43
336200	3125800	-3176	-1064	V44
369200	3125400	-2947	-1060	V45

\*A estos datos se le debe restar la altura de la aeronave que fue de 450 metros, sobre el nivel del terreno.

## VI.-CONCLUSIONES.

### VI.1.- ÁREAS CON POTENCIAL GEOLÓGICO PARA EXPLORACIÓN MINERA.

Las principales zonas prospectivas para mineralización polimetálica (Figura 20), definidas a partir de la presente interpretación regional, se asocian con los dominios magnéticos A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> localizados en la carta. Se interpretaron como cuerpos intrusivos que afloran parcialmente o como cuerpos intrusivos sepultados. Por la asociación de la mineralización económica con los cuerpos intrusivos, éstos resultan ser de gran interés, principalmente en la zona marginal interpretada con geofísica (Figura 12). Se hace referencia, que 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 (Figura 8).



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 Tomochíc) y en las facies de intracaldera (caldera de Majalca).

De acuerdo a lo anterior, se considera que las áreas 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  $N45^{\circ} - 50^{\circ}W$ , de 60 km de ancho que cruza diagonalmente la parte central con 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 (dominio  $A_2$ ), Magistral, El Aguaje, Quevedo y Cusihiuriachic (dominios  $A_1$ ) respectivamente; la mayoría están asociadas a mineralización metasomática polimetálica con vetas hidrotermales secundarias.

Dentro de esta misma zona también se localizan las principales manifestaciones de vetas epitermales: el distrito minero de Cusihiuriachi y la zona mineralizada de Milpillas. En ésta última localidad se detectó con magnetometría un cuerpo magnético a profundidad, cuya respuesta magnética se infiere 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 (dominio magnético  $A_{1-6}$ ).

La presencia de varias estructuras de caldera tipo resurgente, relacionadas al volcanismo 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 (dominio magnético  $B_2$ ). (Swanson y McDowell, 1985).

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 Caldera de Tomochíc y Majalca, respectivamente, sobre todo esta última, que presenta un intenso fracturamiento con mineralización asociada (zona de Minillas).

El cuerpo intrusivo (dominio  $A_{2.1}$ ) en la región de Calera presenta interés en la zona marginal interpretada, principalmente en el contacto de las rocas calcáreas donde se tienen yacimientos tipo skarn con sulfuros de Ag, Pb y Zn (CRM, 1997).

El dominio A<sub>2-6</sub> localizado en el cerro Chilicote, es una zona altamente prospectable, asociado 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<sub>1</sub> localizado al centro-sur de la carta, donde existe mineralización de Ag, Pb y Zn en la zona de Milpilllas (CRM,1997).

Una de las áreas más estudiadas, es la zona mineralizada de Minillas, que está asociada al dominio A<sub>1-10</sub>, donde se presentan estructuras mineralizadas de reemplazamiento de sulfuros de Ag, Pb, Zn y trazas de Au, en calizas (CRM, op.cit).

El dominio magnético A<sub>1-11</sub> localizado al nororiente se correlaciona al cuerpo intrusivo del distrito minero Terrazas, con mineralización polimetálica en zonas de skarn.

El dominio magnético A<sub>1-12</sub> localizado al nororiente en Punta de Agua, se considera de interés, sobre todo su extensión hacia el norponiente de la zona marginal interpretada en contacto con las calizas mesozoicas, ya que existe mineralización polimetálica de Au, Ag, Cu y Zn.

Otra zona de interés es el dominio magnético A<sub>1-1</sub> localizado en la región de Tomochíc, en el extremo occidental de la carta (El Pinito). En él existen evidencias de mineralización (vetas con Au, Ag de origen hidrotermal) asociadas a estructuras volcánicas tipo caldera (Swanson y McDowell, 1985).

## **VI.2.- CONSIDERACIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES.**

Del presente estudio aeromagnético de la carta Chihuahua H13-10 podemos concluir los siguientes puntos:

- 1.- El estudio de las rocas cenozoicas reviste una gran importancia científica y económica. Se recomienda estudiarlas con mayor intensidad y enfocar la exploración a regiones cubiertas por rocas cenozoicas sobre todo en los depósitos residuales, donde debido a la tectónica extensional pudieran estar cubierta, en los valles o cuencas, las continuaciones de muchos de los yacimientos ya conocidos.

2.- La magnetometría ha sido de gran importancia en la medida que nos han permitido definir zonas con diferente magnetización, y que se han interpretado o atribuido a diferentes fuentes magnéticas a saber; cuerpos intrusivos, rocas volcánicas (dominios magnéticos  $A_1, A_2$  y los dominios  $B_1, B_2$  respectivamente). El dominio magnético C, el cual no es muy claro debido al intenso volcanismo en la región, se atribuyó principalmente a las rocas sedimentarias y metamórficas las cuales son poco magnéticas. Además se observa una estrecha relación entre las respuestas magnéticas  $A_1$  y  $A_2$ , con los antiguos yacimientos conocidos. Por lo que se recomienda hacer visitas de reconocimiento en el campo.

3.- El mapa de configuración de la cima del basamento figura 18, nos revela que las zonas más profundas se localizan donde se ubican las calderas de Tomochic y Pastorías y que además el basamento magnético profundiza de noreste a suroeste, definiendo bloques escalonados en esa dirección.

4.- Otra conclusión muy importante sobre el uso de este método, es el éxito que se tiene cuando es aplicado en amplias zonas sedimentarias, afectadas por cuerpos ígneos y con pequeños afloramientos o poco espesor de rocas volcánicas; esto es debido al alto contraste de susceptibilidad entre las rocas sedimentarias y las rocas ígneas. Por otro lado se tienen limitaciones en zonas cubiertas por grandes espesores de rocas volcánicas, ya que las respuestas provocadas por las rocas, enmascaran las respuestas propias de las rocas que subyacen a estos fuertes espesores de rocas volcánicas.

## BIBLIOGRAFÍA

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.

Amburury, L.D., 1958, Geology of Pinto Canyon area, Presidio County Texas, Texas Univ. Bur. Econ. Geology Quad Map XI<sup>o</sup> 22. Texto.

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 Cenozoic tectonic evolution of western North America, *Geological Society of America, Bulletin*, v. 81, p. 3513-3536.

Baranov, V., 1957. A new method for interpretation of aeromagnetic maps: pseudo-gravimetric anomalies. *Geophysics*, V. XXII, No. 2, pp. 359-383.

Baranov, V., 1975. Potential fields and their transformations in applied geophysics, *Geoexploration Monographs*, serie 1, No. 6, Gebrueder Borntraeger, Berlin, stuttgart, 121 p.

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, *Geofisica Internacional*, v. 33, p.67-77.

Bhattacharya, B.K., 1966, Continuous spectrum of the total magnetic field anomaly due to a rectangular prismatic body. *Geophysics*, Vol. 31, p. 97-121.

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 southern 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-proterozoic meta-igneous rock 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, Boletín 74, 143p.
- Briggs, I.L., 1974, Machine contouring using minimum curvature (spline), Geophysics, v. 39, Num.1, p. 34-42.
- Burrows, R.H., 1910, Geology of northern Mexico: Soc. Geol. Mex. Bol. V.7, p. 85-103.
- Borrows, R.H., 1909, Geology of northern Mexico Soc. Geol. Mex. Bol. V. 7, p. 85-103.
- Cameron, K.L., Robinson, J.V., Niemeyer, S., Nimz, G.J., Kuentz, D.C., Harmn, R.S., Boleen, S.R., and Collerson, K.D., 1992, Contrasting styles of pre-Cenozoic and mid-Tertiary crustal evolution 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.
- Cárdenas, V.J., 1964, Yacimientos de hierro de la Perla y la Negra, Opio. De Camargo, Chihuahua, CRNNR, Boletín 67.
- Coney, P.J., 1978, Mesozoic-Cenozoic Cordillern Plate Tectonics, Geological Society of America, Memoir 152, p. 33-50.
- Consejo de Recursos Minerales, 1994, Monografía Geológica-Minera del estado de Chihuahua, SEMIP, Publicación M-14e, 297 p.
- Consejo de Recursos Minerales, 1997, Carta Geológico-Minera Chihuahua 13-10 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 SSP. 1ª Impresión.

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

Eujen, H.M., 1936, The place of the vertical gradient in gravitational interpretation, Geophysics, V. 1, p. 127-136.

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

García, J.E., 1989, Prospecto Cuervo, PEMEX, Inédito.

Haenggi, W.T., 1966, Geology of the El Cuervo area, northern Chihuahua, México: PH. D. Dissertation, university of Texas at Austin, 403 p.

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.

Hill, R.T., 1891, Preliminary notes on the topography and geology of northern Mexico and southwest Texas and New Mexico; Amer. Geologist, v. 8, No. 3, p. 133-141.

Hill, R.T., 1983, The cretaceous formations of Mexico and their relations to North America geographic development AM. Tour. Sci. v.45, p. 307-324.

Humphrey, E.W. and Diaz T., 1956, Jurassic and lower cretaceous stratigraphy and tectonic of northeast Mexico PEMEX, inédito.

Imlay, R.W., 1936, Evolution of the Coahuila Península, Mexico. Part IV Geology of the western part of the Sierra de Parras. Bull.Geol. Soc. America, 47: 1091-1152, 10 láms., 3 figs.1.

Imlay, R.W., 1937, Stratigraphy and Paleontology of the Upper Cretaceous beds along the eastern side of the Laguna de Mayran. Coahuila, Mexico. Bull. Geol. Soc. Am. 48: 1785-1872, 26 Lams., 4 figs.

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 rock of the los Filtros area near Aldama, Chihuahua, Mexico, in Clark, K.F., and Geodell 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 rock of the Sierra Pastorias Caldera area, Chihuahua, Mexico, in Uranium in volcanic and volcanoclastic rock. Eds. Geodell, 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.

Mellor, E.L., 1978, A structural and petrographic study of Permian rock near Villa Aldama Chihuahua, Mexico: M.S. thesis, Texas Christian univ., 44 p.

Mérida, M.R., Pascacio, T.R. y Pérez, H.I., 2000, Carta magnética Chihuahua, H13-10, escala 1:250,000, Boletín técnico del COREMI, año VI, No. 34, Enero-Febrero. Pags. 2-20.

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. *Geofisica Internacional*, v. 25, p. 85-116.

Numerov, B., 1929, Interrelation between local gravity anomalies and the derivatives of the potencial, *Zeitschrift fuer Geophysik*, 58-62.

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 compression 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.

Raisz, E., 1964, Landforms of México. Cambridge, Mass., U.S. office of Naval Research, Geography Branch, Text With Map. Esc. 1: 3 000000 2a, edicion

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.

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.

Spector, A. and Grant, F.S., 1970, Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, Vol. 35, No. 2, p. 393-302.

Stepheson, L.W., 1921, Some upper cretaceous shells of Rumisted group from Tamaulipas Mexico, *V. 5 Mat. Mus. Prog. Vol.16 art.1*.

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.

Torres, E.J.A., 1986-89-91, Varios prospectos geologicos, PEMEX, inéditos.

Vaughan, I.W., 1900, U.S.G.S. Unites States Geologic Survey Bulletin, 164, p.18.

Vacquier, V., Steenland, NC., Henderson, R.G. and Zietz, I., 1951, Interpretation of aeromagnetic maps. *Geological Society of America, Memoir 47, USA*, 151 p.

Velazco, H.J., 1964, Estudios geológico y geofísico de los yacimientos ferríferos de Hercules, Coahuila, *CRNNR, Boletín 68*.

## Glosario de términos.

**Aeromagnético.**- Método que involucra medidas del campo magnético terrestre desde una plataforma aerotransportada (un avión).

**Alias.**- Frecuencia ambigua resultando del proceso de muestreo, donde hay menor a dos muestras por ciclo, una señal de entrada a una frecuencia producirá la misma muestra valores como (aquí aparece para ser otra frecuencia para la salida del sistema; este es el teorema de muestreo, la media de la frecuencia del muestreo es llamada el doble o frecuencia de NYQUIST.

**Anfibolita.**- Roca con anfíboles y plagioclasa, con mala esquistocidad y textura masiva, color verde oscuro.

**Anomalía.**- Desviación de la uniformidad en propiedades físicas. Una perturbación de algo normal o uniforme.

**Anomalía magnética.**- Son las componentes de la anomalía, las cuales perduran después de la remoción de las anomalías de grandes longitudes de onda. El resultado de comparar los valores magnéticos observados con los valores magnéticos teóricamente calculados. Cualquier desviación del campo magnético normal de la Tierra

**Basamento magnético.**- Usualmente equivalente al basamento cristalino (máfico y félsico) o a veces al basamento metamórfico; es la discontinuidad sobre el cual una sección esencialmente no magnética ha sido depositada.

**Caldera.**- Una de las estructuras más grandes y explosivas, asociadas a erupciones volcánicas de decenas y centenas de kilómetros cúbicos de magma originalmente bajo de la superficie de la Tierra. Cuando tales volúmenes de magma son removidos desde abajo del volcán, el suelo se colapsa dentro del espacio vacío y forma una enorme depresión.

**Campo geomagnético.**- El espacio a través del cual la Tierra ejerce influencia sobre cualquier cuerpo o fenómeno que posea propiedades magnéticas y/o eléctricas.

**Campo Geomagnético Internacional de Referencia.**- Conjunto de coeficientes armónicos esféricos, publicados cada cinco años, que modelan matemáticamente el campo geomagnético (IGRF: Internacional Geomagnetic Reference Field).

**Carta magnética.**- Representación gráfica de la variación del campo magnético terrestre en forma de curvas de isovalores, en las cuales se observa la distribución de los rasgos geológicos y estructuras del subsuelo, definidos a partir de esta información.

**Colisión.**- Choque

**Continuación de campo.**- Determinación a partir de un campo medido sobre una superficie dada del campo sobre otra superficie (especialmente a otra elevación),

**Contorno.**- Una línea separando puntos de valores altos, de valores de contornos de puntos más bajos, representando el lugar de un valor constante sobre un mapa.

**Corteza.**- Cáscara externa de la Tierra, la porción anterior al Moho, con densidad media de  $2.8 \text{ gr/cm}^3$

**Decollement.**- Estructura de estratos desprendidos debido a deformación, resultando en estilos de deformación independiente.

**Declinación magnética.**- El ángulo agudo entre la dirección de la componente horizontal del campo magnético terrestre y el meridiano geográfico o geodésico.

**Deriva.**- Cambios graduales en los valores de referencia, con respecto a las medidas hechas.

**Dipolo.**- Un par de cargas iguales o polos de signos opuestos que idealmente se encuentran infinitesimalmente cercanos.

**Dipolo magnético terrestre.**- Dipolo magnético situado en el centro de la Tierra e inclinado  $11^\circ$  con respecto al eje de rotación de la Tierra que explica el 90% del campo magnético de la Tierra. El polo negativo está en el hemisferio norte terrestre y el positivo en el hemisferio sur.

**Dominio magnético.**- Anomalía magnética debido a las diferentes unidades litológicas, definido de acuerdo a su forma, intensidad de magnetización, gradiente magnético y amplitud dipolar.

**Epitermal.**- Yacimientos hidrotermales que se forman en un rango de temperatura entre los  $50$  y  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Espectro de potencia.**- Es el cuadrado de la respuesta de la amplitud vs frecuencia de la Transformada de Fourier de la función autocorrelación.

**Exploración geofísica.**- Realización e interpretación de medidas de las propiedades físicas de la Tierra para determinar condiciones de la superficie, usualmente con objetivos económicos, para descubrir combustibles o depósitos minerales.

**Falso color.**- Es el uso de colores para representar diferentes bandas de frecuencias.

**Fallas lístricas.**- Fallas normales curvadas de bajo ángulo, provocadas por extensión.

**Fenómeno de Gibbs.**- Cuando una forma de onda que incluye una discontinuidad (cuya derivada es discontinua).

**Frecuencia de Nyquist.**- Número de onda más alto resoluble, que está asociado con el muestreo, el cual es igual a la frecuencia media de muestreo, también llamada frecuencia de doblez.

**Gamma.**- Submúltiplo de la unidad cgs Gauss; equivalente a 10 microGauss, 1 nanoTesla.

$$\begin{aligned} 1 \text{ gamma} &= 10^{-5} \text{ Gauss} \\ &= 10^{-5} \text{ lines/cm}^2 \\ &= 10^{-1} \text{ line/m}^2 \\ &= 10^{-9} \text{ Weber/m}^2 \\ &= 10^{-9} \text{ Tesla} = 1 \text{ nanoTesla} \end{aligned}$$

**Gauss.**- Unidad cgs de la inducción y fuerza magnética, e intensidad del campo magnético. Un Gauss es igual a 0.1 microTeslas.

**Geomagnetismo.**- Referente al campo magnético de la Tierra.

**Inducción magnética.** La magnetización que adquiere un cuerpo paramagnético, debido a la presencia de un campo magnético externo.

**Inclinación magnética.**- El ángulo agudo en el plano del meridiano magnético, entre la componente horizontal del campo magnético y la dirección del campo magnético total de la Tierra.

**Metasomático de contacto.**- Se define como una solución y precipitación, esencialmente simultánea, de materia mineral, en un punto o lugar común de la roca. Es una sustitución, volumen por volumen, de una sustancia por otra.

**Nanotesla.**- Unidades en que frecuentemente se configuran los planos.

1 nT= 1 gamma.

1 nanoTesla=10<sup>-9</sup>Tesla

=10<sup>-9</sup>Weber/m<sup>2</sup>

=10<sup>-1</sup>lines/m<sup>2</sup>

=10<sup>-5</sup>lines/cm<sup>2</sup>

=10<sup>-5</sup> Gauss = 1 gamma.

**Paleomagnetismo.**- Estudio de la magnetización remanente natural de rocas y otros materiales, para determinar la intensidad y la dirección del campo de la Tierra en el tiempo que el material fue magnetizado.

**Pelítico.**- Rocas formadas de fragmentos arcillosos.

**Polo magnético.**- Uno de los puntos sobre la superficie de la Tierra hacia donde las líneas del campo magnético de la Tierra se orientan y concentran. El vector del campo geomagnético es vertical.

**Ruido.**- Señal indeseable de los datos; a menudo se localiza en el extremo final de las altas frecuencias del espectro

**Susceptibilidad magnética.**- Una medida del grado a que una sustancia puede ser magnetizada; es proporcional a la intensidad de magnetización del campo magnético H que lo causa; es proporcional al porcentaje del volumen de magnetita contenida en la roca. Típicamente expresado en unidades cgs en trabajos de exploración.

**Tesla.**- Unidad del Sistema Internacional de la inducción magnética igual a un Weber por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>).

**Tormenta magnética.**- Variación temporal transitorias, irregulares y considerable del campo magnético terrestre que ocurre sobre una extensa área del globo terrestre. Las variaciones son más grandes, más rápidas y más irregulares que las variaciones diarias del campo magnético.

**Transformada de Fourier.**- Transformación de una función (x,y) del dominio del espacio, al dominio de las frecuencias o números de onda F(U,V).

**Variación secular.** - Cambio relativamente grande y lento en parte del campo magnético terrestre causado por el estado y dinámica internos de la Tierra.