

# **LA GEOMÁTICA COMO GENERADORA DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL: UNA CARTA METALOGÉNÉTICA DEL ESTADO DE HIDALGO COMO EJEMPLO**

*Dr. Raúl Moreno Tovar*

*Dra. Miriam Yta*

## **RESUMEN**

Ordenamiento territorial se entiende como la aplicación de una política de Estado que organiza, armoniza y administra el uso del espacio regional de tal manera que el desarrollo humano y ecológico sea armónico y socialmente justo, fomentando el crecimiento económico y la competitividad. Por lo tanto, contar con Sistemas de Información Geográfica (SIG) de enfoque físico, socio-demográfico y socio-económico es fundamental. El presente artículo presenta un SIG sobre el conocimiento físico del Estado de Hidalgo como ejemplo del auxilio de la Geomática en apoyo al desarrollo competitivo de una región. La Carta Metalogénica del estado de Hidalgo proyecto del Consejo de Recursos Minerales - Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo con aval del CONACyT está constituida por un compósito de cuatro mapas georeferenciados escala 1:250,000 con texto de interpretación global por niveles temáticos. Contexto geológico: integra información geológica e histórica con los principales rasgos estructurales del Estado.

Dominios litológicos: son once los dominios litológicos, con enfoque metalogénico, algunos contienen yacimientos minerales y puntos de anomalía geoquímica. Dominios metalogénicos: conjunta eventos de mineralización asociados a determinados dominios litológicos y delimitados por bloques definidos por accidentes tectónicos de gran intensidad. Los de menor intensidad

(intrabloque) marcan variaciones paragenéticas dentro de los yacimientos. Los tipos de yacimientos son: sinsedimentario, skarn, epitermal, halocinético, kárstico y sedimentario; los combinados corresponden a reemplazamiento-epitermal e hidrotermal-removilización y posible hidrotermal en ambiente volcanosedimentario. Los dominios litológicos son afectados por una tectónica compresiva laramídica caracterizada por fallamiento inverso y plegamiento de dirección NW-SE con fallamiento conjugado y otra extensiva post-laramídica de reactivación del fallamiento compresivo asociado a otro N-S con su conjugado. Ambos sistemas tectónicos relacionados a la mineralización, donde accidentes de gran intensidad formadores de bloques delimitan mineralizaciones y accidentes de menor intensidad seccionan yacimientos donde sólo varía su contenido mineralógico sin cambiar su paragénesis, resultado del levantamiento y hundimiento de bloques.

El fallamiento regional que atraviesa al Estado desde la presa de Zimapán a Pachuca-Real del Monte (dirección NW-SE), sirvió de control físico secundario para transporte y depósito de mineralización, se asocia a fallamiento ortogonal conjugado suponiendo una megacizalla que presenta minerales guía de ebullición, de paleoisotermas y erosión; cuarzo crustiforme y sínter con indicio de baja sulfidación. Dicho mega-fallamiento coincide con el límite del Terreno Guerrero, que puede significar que éste pudo haber sido una reactivación de una falla de gran magnitud y profunda, la trascendencia es la correlación de la mineralización epitermal a lo largo de ella. El skarn cálcico de Fe confinado al noroeste del Estado se dispone sobre un rasgo tectónico N-S, mientras que la mineralización del skarn polimetálico con tungsteno sobre una traza NW-SE relacionada a mineralización de la mina La Negra en Querétaro y continúa hasta Xichú, Guanajuato. El impacto de este SIG es a nivel de toma de decisiones para evaluar la riqueza de los recursos naturales no renovables del Estado

Palabras clave: SIG, metalogénica, dominio, fallamiento, plegamiento,

## 1.- INTRODUCCIÓN

La Geomática es el término científico moderno que hace referencia a un conjunto de ciencias en las cuales se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica, llamada también información espacial o geoespacial. Por lo tanto, el conjunto de datos obtenidos en el análisis bibliográfico, en la internet, los textos (libros, artículos, entre otros) y principalmente los datos de campo, permitió la realización de la carta Metalogenética del estado de Hidalgo, obteniendo un alto grado de exactitud y verificando la seriedad de los datos registrados.

Una carta metalogenética muestra la distribución de los yacimientos y concentraciones minerales, enfatizando su relación con el contexto geotectónico. La interpretación de la información generada permite por una parte inventariar los indicios y yacimientos minerales abandonados, así como definir nuevas áreas con posibilidad de contener concentraciones minerales. La realización de este tipo de cartas ocasionalmente es muy compleja, ya que pueden existir diversas interpretaciones sobre la génesis de un mismo yacimiento, o por el contrario, sólo existir estudios evaluativos de regiones altamente productivas.

En México, existen varios trabajos sobre cartas metalogenéticas, sin embargo, algunos han quedado como inventarios mineros y otros más ya han involucrado el contexto geotectónico de la región en cuestión. Se cuenta con una Carta Metalogenética de la República (Salas, 1980a), la cual es el antecedente más completo que se tiene, sin embargo, dicha carta está vinculada sólo con las provincias fisiográficas. A partir de ésta, se ha propuesto otra que relaciona la geotectónica (Clark *et al.*, 1982; Damon *et al.*, 1981) y que postula un modelo de provincias metalogenéticas de México, donde justifica las mineralizaciones por medio de la evolución tectónica desde el Pérmico tardío hasta el Mioceno medio, caracterizada por el emplazamiento de un batolito asociado a la sutura final del protoatlántico; la presencia de un arco magmático

de tipo andino al norte en el Triásico medio con extensión al sur en el Jurásico medio; aparición del arco Cordillerano en el Jurásico tardío con progresión al oriente en el Cretácico y regresión al poniente en el Oligoceno y con cese del magmatismo calcoalcalino a lo largo de la cordillera sur en el Mioceno medio. Dicha interpretación ha permitido mejorar el concepto de superposición de mineralizaciones, sobre todo en el centro de México. Actualmente, existen nuevos modelos tectónicos sofisticados que tratan de explicar la evolución geodinámica de México y que pueden unir los eventos magmáticos de tipo cordillerano en el continente, fundamentando como posibilidad, una vergencia hacia el oriente durante la fase principal de la deformación laramídica y una segunda al poniente, la cual sería responsable del magmatismo del arco, lo que podría explicar las diferencias del magmatismo con relación a las edades de cada evento (Salinas, 1994).

Metalogénicamente, esto explicaría la posición subparalela de las franjas, superposición de mineralización y diferencias de paragénesis minerales en los yacimientos. Estas franjas metálicas conocidas como provincias, como las correspondientes a las asociaciones Cu-Mo y Zn-Pb-Ag(Cu), han sido las que preferentemente han aportado los yacimientos más grandes y económicos de México (Moreno, 1998). Esto muestra que elaborar cartas estatales es de suma importancia para una interpretación regional.

Algunos estados cuentan con cartas metalogenéticas, entre las más conocidas, se tiene la de Durango (Carrasco, 1980), Sonora (Pérez, 1985), Zacatecas (Vázquez, 1989) y San Luis Potosí (Alemán, 1991). La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México tuvo un programa de elaboración de cartas metalogenéticas por medio de tesis, en el cual elaboraron la carta Querétaro y Guanajuato. Por lo que corresponde al estado de Hidalgo, sólo se cuenta con documentos en los que se ha compilado información sobre yacimientos minerales (Dueñas *et al.*, 1992; Piñeiro y López, 1993), además de múltiples trabajos de

exploración geológica regional y de detalle en el Archivo Técnico del anterior Consejo de Recursos Minerales, actualmente llamado Servicio Geológico Mexicano, y Cartas Geológico-Mineras, Geoquímicas y Geofísicas, escala 1:50 000 del estado de Hidalgo, así como otros trabajos publicados con información tectónica que incluyen el Estado.

Cada carta metalogenética existente en el país, cuenta con su propia metodología y normas para su simbología; es de suma importancia que en México sean homogeneizadas las normas para la elaboración de las cartas metalogenéticas, con esta acción se podrá contar con documentos regionales conteniendo conceptos homogéneos que al conjuntarlos podrán conformar la Carta Metalogenética de México, la cual sería la más completa después de la Carta Metalogenética de la República (Salas, 1980a).

## **2.- ANTECEDENTES**

El proyecto de la *Carta Metalogenética del Estado de Hidalgo*, fue llevado a cabo en convenio de colaboración entre el extinto Consejo de Recursos Minerales (CRM) y la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), con el aval de CONACyT. Este proyecto nació como una idea que fue evolucionando en sus objetivos, ya que originalmente tenía en su cometido la caracterización metalogenética del Estado para definir los modelos de asociación y evolución que rigen la deposición mineral, el comportamiento y asociación de una amplia gama de elementos. Considerándose para ello la elaboración de 12 mapas del Estado escala 1:100 000 que contendrían la distribución de yacimientos, fases mineralógicas escasas, edades, formas de emplazamiento mineral y la conjunción de la información existente de carácter tectónico, estratigráfico, petrológico, radiométrico y de yacimientos minerales. La metodología utilizada está basada y modificada con base en los tipos de yacimientos del Estado y tomando en cuenta la metodología de Salas (1980b) y Pérez (1985). Dichos objetivos evolucionaron a la realización de un compósito de cuatro cartas georeferenciadas escala 1:250,000 que permiten la

interpretación global, rápida y con alto grado de precisión conteniendo la misma información instituida, pero por niveles temáticos. Esta infraestructura informática ha llevado a transformar en parte la metodología sobre todo, en lo que concierne a simbología, así como la inclusión de los conceptos geomáticos que fundamentaron esta investigación en un Sistema de Información Geográfica.

### **3.- OBJETIVO**

El objetivo de este artículo es mostrar la importancia que tienen los estudios geomáticos en el desarrollo regional del estado de Hidalgo, mediante la presentación de la carta Metalogenética del estado, haciendo énfasis en las regiones mineras en explotación y aquellas promisorias que pueden contribuir al desarrollo económico del estado.

### **4.- METODOLOGÍA**

En su origen el proyecto de la carta metalogenética del Estado evolucionó en sus objetivos dado que se aplicó la tecnología de punta con la que contaba el CRM en cuanto a digitalización, georeferenciación y edición. Lo que permitió manejar la información de manera temática y lograr conformar un Sistema de Información Geográfica Minera (SIGM), permitiendo así generar compósitos interpretativos.

Dentro de las modificaciones mencionadas se encuentra el mapa base, originalmente previsto a escala 1:100,000, con la finalidad de tener un panorama regional de áreas específicas a mayor escala, que muestren de manera clara, la gran concentración de obras mineras en los yacimientos, por lo que se utilizó una escala 1:250,000 con simbología por yacimiento.

## 5.- RESULTADOS

Se elaboró un mapa con la ubicación georeferenciada de todas las evidencias de mineralización detectadas, así como minas y yacimientos abandonados. En la interpretación se generó un compósito de cuatro cartas del estado escala 1:250,000; la primera es el **mapa geológico estructural**, que integra la geología del Estado generada en el programa de cartografía sistemática del CRM (Moreira *et al.*, 1996; López *et al.*, 1997), complementada con otras fuentes. La segunda, de **dominios litológicos**, permite observar de manera integral por grupos, las litologías de características similares y su relación con las obras mineras. La tercera, de **dominios metalogenéticos** observa áreas que definen el tipo de yacimiento, paragénesis y zonas de influencia, así como accidentes tectónicos relacionados con la mineralización, lo que permitirá al lector interpretar el potencial de las zonas de exploración. La cuarta es una **imagen de satélite**, donde se observa objetivamente los dominios metalogenéticos, distritos mineros, accidentes tectónicos relacionados con la mineralización y topografía del terreno.

## LOCALIZACIÓN

El estado de Hidalgo se sitúa en la porción centro-sur de la República Mexicana, cuenta con una superficie de 20,846 km<sup>2</sup>; colinda al norte con el estado de San Luis Potosí, al sur con los estados de México y Tlaxcala, al este con los estados de Veracruz y Puebla y al oeste con el estado de Querétaro (Figura 1).

Fisiográficamente (Figura 2), el Estado incluye la provincia del Eje Neovolcánico en la porción sur y al norte la provincia Sierra Madre Oriental. La provincia del Eje Neovolcánico de edad Pliocuaternaria está constituida por rocas volcánicas de composición básica a básica-intermedia, con escasos horizontes intercalados de rocas volcánicas ácidas. Las texturas y estructuras van desde lavas masivas a tobas y brechas. Su espesor varía de algunos metros hasta rebasar en ocasiones los 1,000 m. Su morfología está caracterizada por mesetas,

lomeríos, planicies, conos cineríticos y compuestos, así como calderas. Dentro de las depresiones existentes se depositaron sedimentos lacustres en ocasiones intercalados con lavas. La provincia de la Sierra Madre Oriental con espesor variable y sobrepasando los 3,000 m se caracteriza por un paquete sedimentario que incluye rocas mesozoicas y algunas paleozoicas con un basamento Grenvilliano (Gneiss Huiznopala). De manera general, en el Estado afloran rocas volcánicas ácidas e intermedias de edad Paleoceno-Plioceno que corresponden al vulcanismo tipo Sierra Madre Occidental, sin embargo, su afloramiento no tiene gran distribución, por lo que no se puede establecer la presencia de la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental, sino que queda incluida en la provincia Eje Neovolcánico.

Tectonoestratigráficamente, al oriente del Estado se localiza el Terreno Sierra Madre caracterizado principalmente por una secuencia sedimentaria compuesta de caliza, lutita y arenisca, plegada, cabalgada y fallada del Mesozoico, con un lineamiento preferencial NW-SE. Su límite occidental con el Terreno Guerrero se tiene interpretado hacia la parte centro-sur del Estado, caracterizado principalmente por una secuencia volcanosedimentaria del Cretácico superior (Campa y Coney, 1983), sin embargo, dicho límite aún no ha sido definido en el Estado, por lo que es necesario un control estratigráfico y estructural. Es importante dicho contacto en los eventos mineralizantes, el cual será tratado en el capítulo de rasgos tectónicos.

## **CONTEXTO GEOLÓGICO**

La compilación y verificación de campo permitió reestructurar la columna litológica, la cual está formada por paquetes litológicos reconocidos como Formaciones, en ocasiones de manera formal y en otras informal, de edades que van del Precámbrico al Cuaternario. En diferentes sectores afloran y se les conoce con los siguientes nombres: Gneiss Huiznopala, Formaciones Guacamaya, Huizachal, Huayacocotla, Formación Cahuassas, Tepexic, Chicontepec, Santiago, Chipoco, Tamán, Pimienta aflorantes en el noreste del Estado, siendo las últimas 4



Formaciones agrupadas en un sólo paquete, dada la dificultad para su diferenciación. Formación Trancas, aflora en la porción noroeste. Formación Santuario, se observa en la parte centro-noroeste del Estado. Formaciones Doctor, Abra, Tamabra, Tamaulipas inferior y superior, facies La Negra, San Joaquín, El Socavón y Cerro Ladrón, afloran en la parte centro-norte. Formaciones Soyatal, Méndez, Agua Nueva, San Felipe y Mezcala, se les observa en diferentes partes del Estado. Intrusivos, presentes en casi toda el área occidental. Formación El Morro, con escaso afloramiento, se le encuentra aflorando preferencialmente hacia el oeste. Formación Las Espinas y Grupo Pachuca, se les observa desde Pachuca hasta Zimapán. Las Formaciones Don Guiño, Zumate y Unidad Riolítica: así como las Formaciones Las Navajas, Las Piletas, Guajolote y Tlanchinol se observan en diferentes localidades del Estado, preferencialmente hacia el sur. Finalmente, a las Formaciones Atotonilco El Grande y Tarango, se le observa en los amplios valles del sur del Estado.

Estructuralmente, el Estado se caracteriza por rasgos tectónicos de dirección NW-SE representados por anticlinales y sinclinales, que generalmente se encuentran recostados e isoclinales con charnela de orientación NW-SE y vergencia predominante al NE, de longitud de decenas de kilómetros. Las principales estructuras reconocidas son: los anticlinorios El Piñón, Bonanza, Pisaflores y Huayacocotla; los sinclinales El Aguacate, El Fraile, Xilitla-Chapulhuacán y las cabalgaduras Doctor, El Volantín, Jiliapan, Agua Fría, Misión, El Lobo-La Ciénega, Agua Zarca y Xilitla entre los rasgos más evidentes (Suter, 1987).

## **DOMINIOS LITOLÓGICOS**

El estado se ha dividido en 11 dominios litológicos (Figura 3), los cuales desde el punto de vista metalogénico, sólo algunos se caracterizan por contener yacimientos minerales. En ellos se han conjuntado condiciones similares tanto litológicas como de respuesta a la concentración de minerales por arriba del *clarke* de las rocas, lo que al lector le servirá para interpretar (según

sus objetivos) los posibles medios aportadores o bien concentradores de elementos sean o no económicos. Dada la compleja geodinámica de la región, los datos estratigráficos y las dataciones relativas puntuales existentes, en ocasiones han provocado la definición de varias Formaciones sin considerar los cambios transicionales de litología y su tectónica asociada, lo que ha provocado el abundante manejo de éstas, que realmente deben ser sólo cambio de facie.

*Dominio Gnéissico:* comprende el Gneiss Huiznopala; de edad Grenvilliana; compuesto por un ortogneiss y un paragneiss, no se detectaron yacimientos minerales.

*Dominio calcáreo-pelítico-arenoso:* de edad Pensilvánico-Jurásico superior; comprende las formaciones: Guacamaya, Huizachal, Huayacocotla, Cahuasas, Tepexic, Santiago, Chipoco, Tamán y Pimienta. Compuestas de arenisca, lutita, limolita, caliza pura, carbonosa y manganesífera, la cima contiene yacimientos de Manganeso.

*Dominio pelítico-calcáreo-arenoso:* secuencia rítmica de limolita calcárea, lutita filitizada, caliza, calcarenita piritizada y andesita. Contiene evidencias de hierro en el nivel andesítico y veta de barita en el nivel filítico.

*Dominio calcáreo:* Comprende las formaciones: Tamaulipas inferior, El Abra, Caliza El Doctor; Facies La Negra, Socavón, Cerro Ladrón y San Joaquín. De edad Albiano-Cenomaniano; compuesta por caliza de plataforma y talud con lentes de pedernal y escasa lutita carbonosa, contiene preferencialmente yacimientos de tipo skarn.

*Dominio calcáreo-pelítico:* Incluye las Formaciones Soyatal, Méndez, San Felipe y Agua Nueva, de edad Turoniano-Campaniano; compuesta de una alternancia de caliza, marga y lutita.

Contiene reflejos de mineralización de skarn en los niveles más carbonatados y en menor proporción epitermal en vetas.

*Dominio intrusivo:* Incluye todos los cuerpos intrusivos de composición cuarzomonzonita a granodiorita-diorita; de edad Paleoceno-Eoceno. Es portador de mineralización de tipo skarn.

*Dominio andesítico:* Comprende la Formación Las Espinas y Grupo Pachuca. De edad Oligoceno; compuesto por lavas, brechas y tobas de composición andesítico-dacítica con algunas interdigitaciones riolíticas (Formación Zumate) en Pachuca-Real del Monte, de afinidad calcoalcalina. Contiene yacimientos epitermales (e.g. Pachuca-Real del Monte, San Pascual-Santa Gorgonia).

*Dominio riolítico:* Incluye las formaciones: Don Guiño, Unidad Riolítica, Riolita Navajas. De edad Oligoceno-Plioceno; compuesta de riolita-riodacita con estructura de toba, ignimbrita y brecha, de carácter calcoalcalino con tendencia alcalina. Contiene yacimientos epitermales (e.g. Fluoruros de Hidalgo y San Clemente).

*Dominio terrígeno-margoso-pelítico:* Comprende la Formación Chicontepec de edad Plioceno, compuesta por lutitas, areniscas, limos y contiene yacimientos de carbón.

*Dominio basáltico:* Incluye a las Formaciones. Guajolote, Tlanchinol, y Unidad Las Piletas. De edad Plio-Cuaternario, compuesto de lavas masivas, brechas y minerales de tezontle y algunos horizontes de riolita. Este dominio es estéril desde el punto de vista mineralización.

*Dominio epiclástico:* incluye las Formaciones Atotonilco el Grande, Tarango y otros depósitos fluvio-lacustres desde el Terciario al Reciente. Dominio estéril en yacimientos minerales.

## DOMINIOS METALOGENÉTICOS

Metalogénicamente, el Estado presenta varios eventos de mineralización que están asociados a determinados dominios litológicos y delimitados por bloques definidos por accidentes tectónicos de gran intensidad (Figura 4). En ocasiones los accidentes tectónicos de menor intensidad (intrabloque) marcan variaciones paragenéticas dentro de los yacimientos (Figura 5). En el mapa sólo se han marcado los accidentes tectónicos relacionados a mineralización.

Son nueve los dominios interpretados: sinsedimentario, skarn, epitermal, halocinético, kárstico y sedimentario; los combinados corresponden a reemplazamiento-epitermal e hidrotermal-removilización y posible hidrotermal en ambiente volcanosedimentario.

*Dominio sinsedimentario (Mn):* ubicado en la porción noreste del Estado, encajonado en el dominio calcáreo-pelítico-arenoso, en una secuencia jurásica superior (formación Chipoco) del Kimmeridgiano-Titoniano. Se trata de un yacimiento estratiforme de carbonato de manganeso. La mineralización se emplaza en niveles calcáreo-arcillosos, de una alternancia de lutita, lentes de calcarenita, limolita, caliza limolítica y fosilífera. La estructura de la mineralización es estratiforme con textura de grano fino a criptocristalino dentro de los niveles calcáreos, denominada caliza manganesífera. Dentro de la caliza manganesífera se observan intercalaciones concordantes de sulfuros de hierro (pirita), las cuales a su vez presentan alternancia de diminutos niveles calcáreos. Los sulfuros presentan una deformación dúctil con microplegamiento y sigmoides con foliación que afecta tanto a los sulfuros como a la caliza, lo cual confirma el origen singenético predeformación de la mineralización.

*Dominio hidrotermal relacionado a evento volcanosedimentario (?):* ubicado hacia el noroeste del Estado y al oeste del poblado de Trancas. Existen evidencias de mineralización encajonadas en el dominio pelítico-calcáreo-arenoso en la zona de Apesco (Fe-Ba). Se trata de

una estructura tabular compuesta de barita en los niveles filíticos y mineralización de hematita especular en los niveles andesíticos sobre los planos de pseudoestratificación entre el microaglomerado y la andesita masiva. Los elementos para interpretar estas mineralizaciones relacionadas al evento volcanosedimentario son muy escasos, por lo que tentativamente por su afinidad química se incluyen en esta clasificación.

*Dominio de skarn:* se sitúa en la porción noroeste del Estado, desde Zimapán a Jacala. Comprende yacimientos encajonados en el dominio calcáreo en contacto con el dominio intrusivo, estos se atribuyen al Terciario temprano, originados por magmatismo tardi-laramídico. Presentan una mineralogía compleja y contrastante que refleja una evolución metalogénica activa, relacionada con fenómenos tectónicos donde la diferenciación magmática, profundidad de emplazamiento, contaminación y herencia litológica pudieron influir en la formación de por lo menos tres fases de mineralización: W; Zn-Pb-Ag (Cu); Fe (Cu-Au). A escala regional, los yacimientos citados pertenecen al tipo cálcico proximal, sus contrastes mineralógicos permiten dividirlos en dominios: Carrizal-La Cruz-La Luz, subtipo Zn-Pb-Ag (Cu); El Monte, subtipo Zn-Pb-Ag (Cu, W); Jacala-Encarnación-Zapote-Cobrecito, subtipo ferrífero; Cerro Colorado y Pechuga, subtipo Zn-Pb con diferencia en el tipo del skarn.

*Dominio epitermal:* este tipo de mineralización ha sido detectado hacia la porción noroeste, suroeste y sureste del Estado, sobre una franja de dirección NW-SE, encajonada en los dominios andesítico, riolítico y en el contacto del calcáreo. En donde los rasgos estructurales y texturales de la mineralización han permitido interpretar un fallamiento de gran magnitud que atraviesa al Estado. Las diferentes paragénesis a través de la franja, han permitido definir los siguientes dominios metálicos: Pachuca-Real del Monte (Ag, Au), Denganthza (Calcita), San Clemente (Au), Fluoruros de Hidalgo (Fluorita), Pontiu (Fluorita), Esperanza-Panzacola-Tasquillo (Sn), San Pascual-Santa Gorgonia (Ag-Pb), El Caballito (Sb). Los yacimientos de

Agua Blanca (Caolín), Vaquerías (Fe) se asocian a otro fallamiento hacia el norte y este del Estado. Las características de cada uno de ellos son:

*Dominio de reemplazamiento - epitermal:* se ubica casi en el centro del Estado, en la zona de Cardona con una paragénesis química Pb-Zn-Fe. Se encuentra encajonado en el dominio calcáreo, en calizas de estratificación media con abundante pedernal. La morfología de la mineralización es de dos tipos: reemplazamiento de capas calcáreas por smithsonita asociada a limonita y hematita supergénicas; los lentes de pedernal son reemplazados por hematita y a su vez el conjunto se encuentra fracturado y relleno por calcita. La segunda morfología es una estructura tabular de dirección NW12°SE ligeramente combada, de estructura brechoide con elementos de caliza, cementada por fierro y menor calcita de un espesor promedio de 3.0 m y 3 km de longitud. Por relación estructural se define su carácter tardío, el cual está relacionado al evento epitermal asociado al megafallamiento NW-SE que atraviesa al Estado.

*Dominio hidrotermal-removilización:* representado la zona del El Pinalito (Mn), este yacimiento ubicado al noroeste del Estado presenta minas muy pequeñas. La mineralización está encajonada en el dominio calcáreo en caliza de estratificación media con lentes de pedernal (no presenta trazas de Mn); se emplaza en una falla NW-SE que corresponde a la cresta de un anticlinal, dando una morfología tabular burda. La mineralización se encuentra en brecha con elementos de caliza cementados por pirolusita y manganita, y escasos carbonatos de Cu relleno de fracturas, lo que permite constatar el carácter tardío y supergénico del Cu encontrado en el skarn de Fe. Hasta el momento no se puede interpretar la fuente del manganeso, sin embargo, el transporte hidrotermal y removilización queda evidenciado.

*Dominio de halocinesis:* se detecta un proceso halocinético (yeso) que se sitúa al norte del Estado en el poblado de San Nicolás Tolentino. El yacimiento está encajonado en el contacto

del dominio calcáreo y el intrusivo (cuarzomonzonítico-granodiorítico). La caliza es arrecifal en bancos gruesos con intercalaciones de pedernal y escasa lutita. La morfología del yacimiento es diapírica alargada (aflora más de 300 m de ancho por 900 m de largo y 180 m de altura); presenta un cap-rock en la cima con fragmentos calcáreos recristalizados de algunos centímetros a decenas de cm con cementante arcillo-yesífero. Su espesor varía de 3 a 10 m, en parte está deshidratado (caliche). La estructura interna del yacimiento refleja su carácter halocinético, mostrando estratificación truncada, microplegamientos, distorsiones y estructuras. La mineralogía se compone de yeso masivo de grano fino, nacarado a mate. Las relaciones litológicas con la mineralización permiten clasificar al yacimiento como halocinético sobre zonas de debilidad (intrusivo-caliza). Su edad no es más antigua que el Eoceno, dados los elementos calcáreos del cap-rock y la estructura interna del yeso. Su origen debe corresponder a niveles evaporíticos profundos que podrían correlacionarse con la formación Guaxcamá que aflora al norte en el estado de San Luis Potosí.

*Dominio kárstico:* se encuentra representado por el yacimiento de Pacula (P) ubicado al noroeste del Estado en los límites con el estado de Querétaro. La mineralización se emplaza en calizas arrecifales fosilíferas. Su morfología es de relleno de cavidades kársticas y describe un yacimiento en forma de uvala de  $\pm 4$  km de largo por 2 km de ancho en su diámetro mayor. Su mineralogía está constituida por fosforita con flúor y altos contenidos de sílice. La fuente del fósforo no ha sido aún interpretada, sólo se ha puesto en evidencia la existencia del paleokarst.

*Domino sedimentario:* se encuentra representado en la zona Chicontepec (C), específicamente en el yacimiento ubicado en la porción noreste en los límites con el estado de Veracruz. Se encuentra encajonado en el dominio terrígeno-margoso-pelítico, conocido como formación Chicontepec. La morfología del yacimiento es lenticular y se trata de una concentración de bitumen, el espesor aflorante es de 1.0 m con dimensiones desconocidas.

## **RELACIÓN DE DOMINIOS LITOLÓGICOS, METALOGENÉTICOS Y LA TECTÓNICA.**

Los dominios litológicos son afectados por una tectónica compresiva laramídica de dirección NE y otra extensiva post-laramídica (Fosas y Pilares). El primer régimen tectónico ha provocado un sistema de fallamiento inverso (cabalgaduras) y plegamiento (sistema de anticlinales y sinclinales) de dirección NW-SE, así como un sistema de fallamiento conjugado. El segundo produjo una reactivación del fallamiento compresivo, así como otro de dirección N-S y su conjugado. Ambos regímenes tectónicos se encuentran relacionados de dos formas con la mineralización: por una parte, como accidentes de gran intensidad formadores de bloques que delimitan mineralizaciones y por otra, como accidentes de menor intensidad que seccionan yacimientos donde sólo varían sus contenidos mineralógicos sin cambiar su paragénesis, resultado del levantamiento y hundimiento de bloques.

En el segundo régimen, el fallamiento y fracturamiento regional ha servido de control físico secundario para el transporte y depósito de mineralización, como es el caso del gran fallamiento de dirección NW-SE que atraviesa al Estado, desde la presa de Zimapán hasta Pachuca-Real del Monte, el cual está asociado a un fallamiento ortogonal conjugado que hace pensar en una megacizalla (Figura 5).

Es muy importante mencionar que el megafallamiento mencionado es coincidente con el límite del Terreno Guerrero definido por Campa y Coney (1983), esto significaría que pudo haber sido la reactivación de una falla de gran magnitud y profundidad del primer régimen. La trascendencia aquí es la relación tan estrecha de la mineralización epitermal a través de ella.

Por lo que respecta a la mineralización de skarn cálcico de Fe confinada hacia al NW del Estado, está dispuesta sobre un rasgo tectónico N-S, mientras que la mineralización polimetálica con tungsteno se encuentra sobre una traza NW-SE relacionada a la mineralización de la mina La Negra y continúa hasta la región de Xichú, Guanajuato.



Una zona definida como potencial para la exploración por skarn, se ubica en el centro-norte del Estado, donde se observa una estructura combada marcada por un lineamiento circular asociado a un sistema tectónico radial. Esta estructura está asociada al dominio calcáreo y calcáreo-pelítico con evidencias de recristalización.

## **DOMINIOS METALOGÉNÉTICOS Y SU IMPLICACIÓN EN EL DESARROLLO REGIONAL DEL ESTADO.**

Finalmente, este artículo presenta dos vertientes de conclusión: la primera de tipo técnica, la cual permite poner en evidencia que la interpretación de los diferentes dominios metalogénicos y su relación con la geodinámica ha conducido a establecer modelos aplicables de exploración para el caso del epitermalismo. Sobre el megafallamiento Zimapán-Pachuca es importante considerar que las guías de exploración a lo largo tienen parámetros específicos como son: minerales guía (adularia, sericita, entre otros); sínter que es evidencia de paleosuperficies, el cual marca indicios de posibles yacimientos de baja sulfidación; identificación de minerales indicadores de temperatura que pueden marcar el nivel de erosión y de paleoisotermas; reconocimiento de cuarzo crustiforme que en su origen fue calcita reemplazada por sílice, el cual es indicativo de niveles de ebullición (ricos en elementos preciosos) en yacimientos de baja sulfidación, y/o caracterización de los minerales de alteración indicativos de una baja o alta sulfidación.

Para el caso de los yacimientos de tipo skarn, las evidencias de mineralización se encuentran generalmente aflorantes, por lo que aquí es necesario apoyarse con exploración geofísica que permita obtener una respuesta para justificar la mineralogía descrita. La zona potencial delimitada sin incidencia de mineralización es la que se sitúa en la región de Mesa de León, donde existe un rasgo tectónico concéntrico que presenta lineamientos radiales, el cual se

encuentra asociado a caliza con pedernal, en menor proporción a caliza arcillosa y evidencias de silicificación, lo que permite pensar en la presencia de un intrusivo a profundidad.

La segunda vertiente se enfoca a la reflexión que los estudios especializados sobre un marco geomático, permiten generar conocimiento que contribuye al ordenamiento territorial y a la posible toma de decisiones para fortalecer la competitividad del Estado.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**Alemán, S.**, 1991, Carta metalogenética del estado de San Luis Potosí. Gobierno del estado de San Luis Potosí, compósito de 4 mapas escala 1:250,000.

**Campa, M. F.**, y Coney, P. J., 1983, Tectonostratigraphic terrains and mineral resource distributions in Mexico. Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 20, p. 1040-1051.

**Carrasco C., M. L.**, 1980, Carta y provincias metalogénicas del estado de Durango. Consejo de Recursos Minerales, Pub. 22-E, 63 p., dos cartas.

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

**Damon, P. E., Shafiqullah, M. y Clark, K. F.**, 1981, Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, Vol. 5, p 223-238.

**Dueñas G., J. C., Frías G., M. A., Benítez L., J., Macedo P., R. y Rodríguez S., J. J.**, (1992) Monografía Geológico Minera del estado de Hidalgo. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Pachuca, Hidalgo, México, 95 p.

**INEGI**, (1992) Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo. Instituto de Estadística, Geografía e Informática, México, 134 p.

**López R., L., De los Santos M., J. J., Cacho C., S. y Sánchez B., G.**, (1997) Informe de la carta geológico-minera y geoquímica Hoja Pachuca F14-11, escala 1:250,000, Estado de Hidalgo. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Consejo de Recursos Minerales, Pachuca, Hidalgo, México, Tomo I: texto, Tomo II: análisis, cartas.

**Moreira R., F., Flores A., G., Reyes R., A., Maldonado L., J.M., Martínez R. L., Carrizales A., A., De Santiago C., J., Arrieta S., R. y López A., L.**, (1996) Informe final complementario a la cartografía geológico-minera y geoquímica, escala 1:250,000 de la hoja Cd. Valles F14-8, estado de San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Veracruz. Secretaría de Comercio

y Fomento Industrial, Consejo de Recursos Minerales, Pachuca, Hidalgo, México, Tomo I: texto, Tomo II: cartas, Tomo III: análisis.

**Moreno T., R.**, (1998) Caracterización mineralógica y química de desechos mineros (jales), aplicada a la recuperación de valores económicos en Zimapán y Pachuca, Estado de Hidalgo. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, tesis de maestría, 89 p., 6 anexos.

**Pérez S., E.**, (1985) Carta metalogenética de Sonora 1:250 000. Una interpretación de la metalogenia de Sonora. Gob. del Estado de Sonora, Sría. de Fomento Industrial y Comercio, Direcc. de Minería Geología y Energéticos, Universidad de Sonora, Depto. de Geología, Hermosillo, Son., Pub. No. 7, 64 p.

**Piñero R., F. y López A., J.**, (1993) Elaboración de la carta metalogenética del Estado de Hidalgo, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Convenio Secretaría de Educación Pública-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 164 p., anexos, 1 mapa.

**Salas, G. P.**, (1980a) Carta y provincias metalogenéticas de la República Mexicana. Consejo de Recursos Minerales, México, Boletín 21-15, 2ª. ed., 200 p., 3 planos.

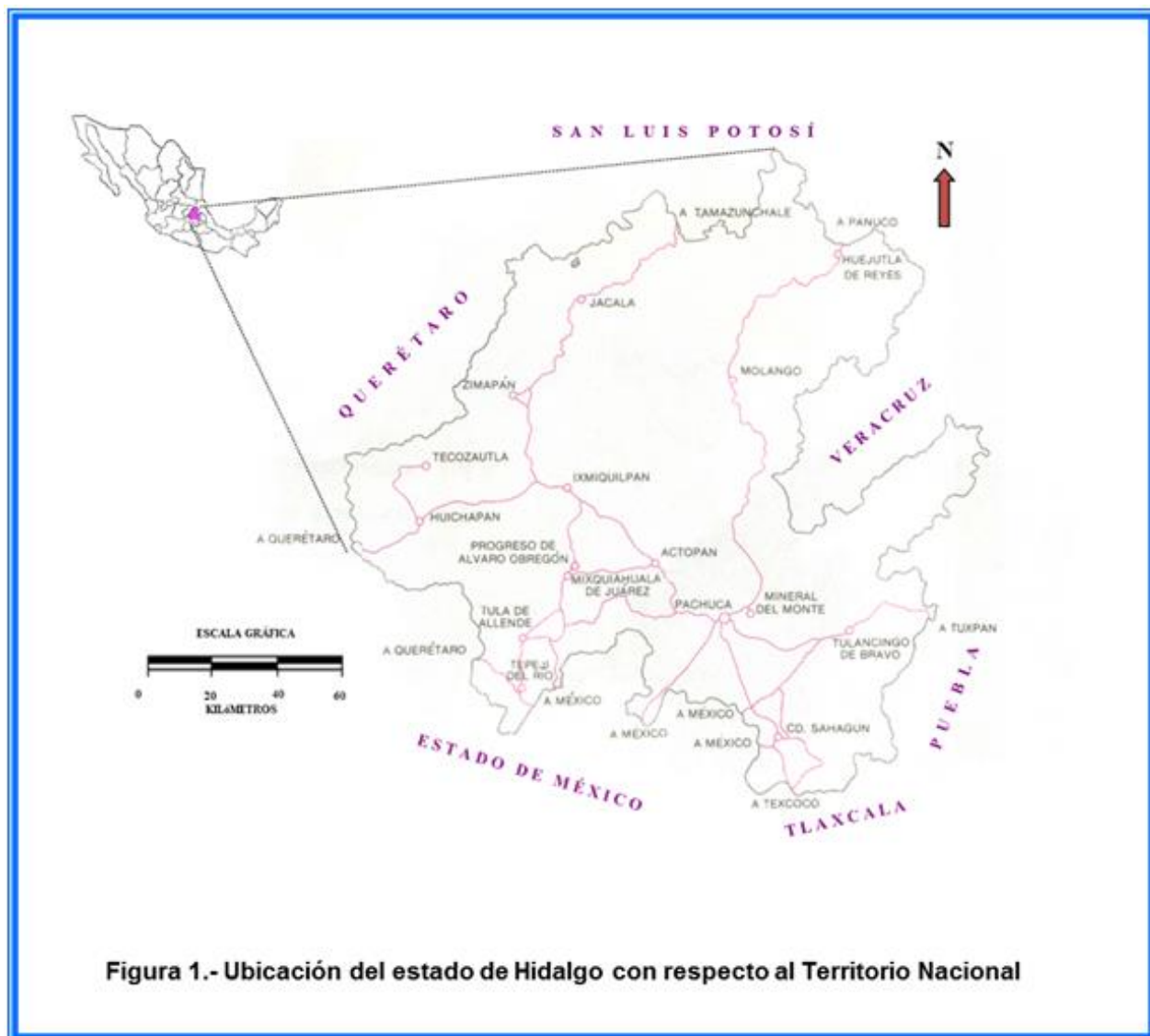
**Salas, G. P.**, (1980b) Estado del proyecto de mapas del Circum-Pacífico. U. S. G. S. Reporte abierto 80-1059, Proyecto IR) CP-4. Traducción Cortés G., H., 86 p.

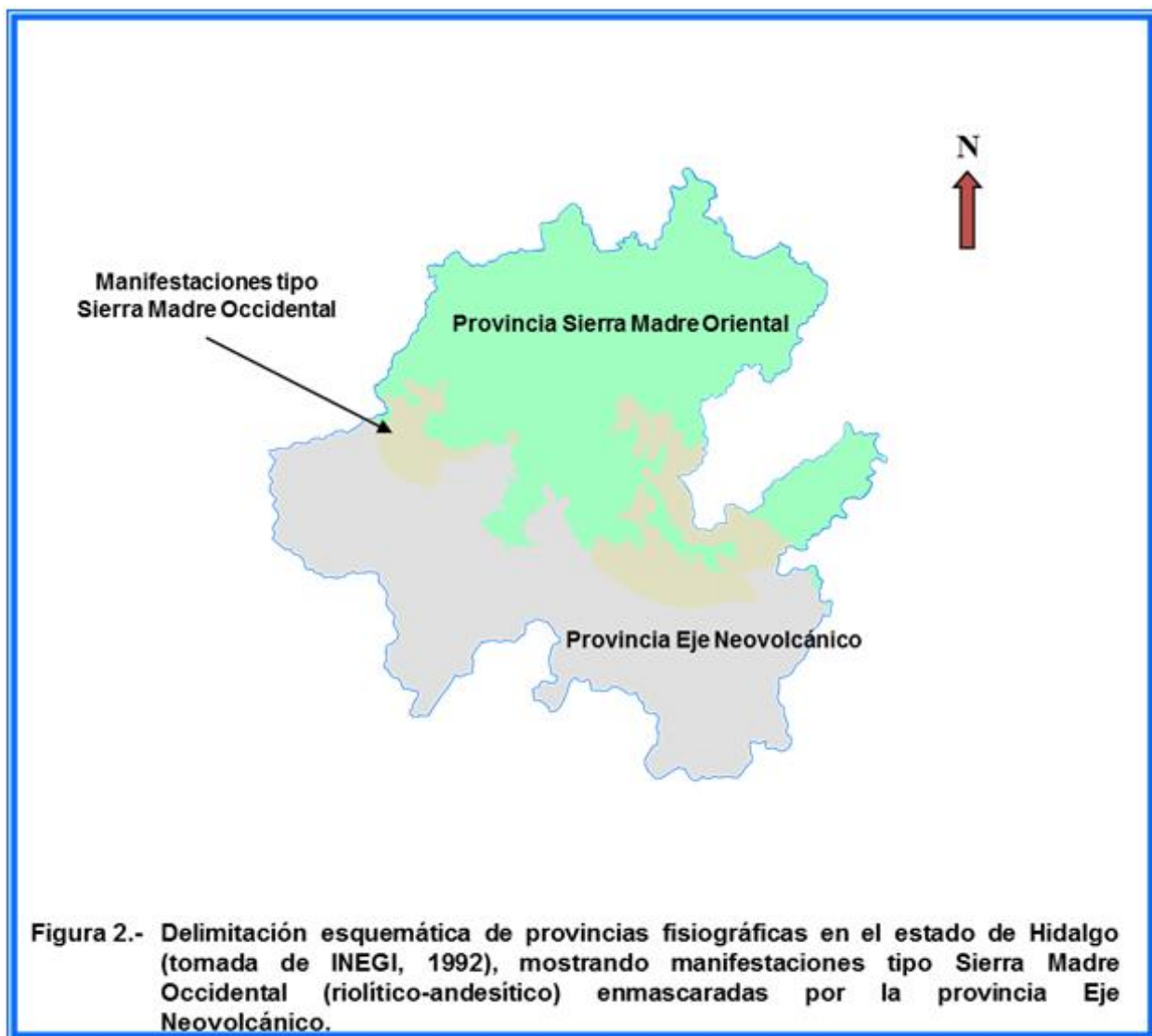
**Salinas P., J. C.**, (1994) Étude structurale du Sud-Ouest mexicain (Guerrero). Analyse microtectonique des déformations ductiles du Tertiaire inférieur. Universidad de Orleans, Orleans, Francia, tesis doctoral, 228 p.

**Suter, M.**, (1987) Structural traverse across the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt in east-central Mexico. Geological Society of America Bulletin. Vol. 98, p. 249-264.

**Vázquez, T. R.**, (1989) Estudio metalogenético del Estado de Zacatecas, tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, Fac, de Ing. México, D. F., 285 p.

## FIGURAS





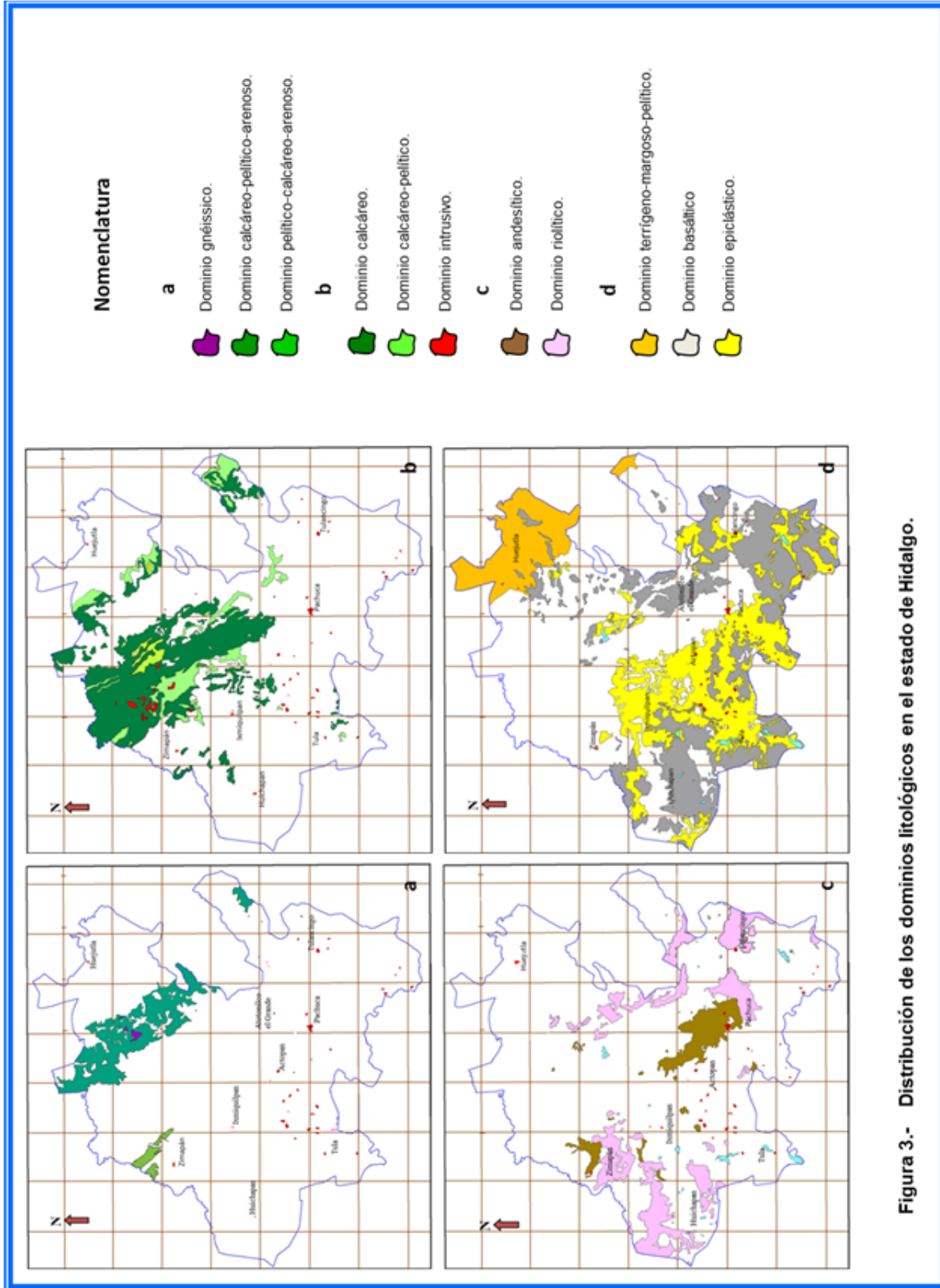


Figura 3.- Distribución de los dominios litológicos en el estado de Hidalgo.

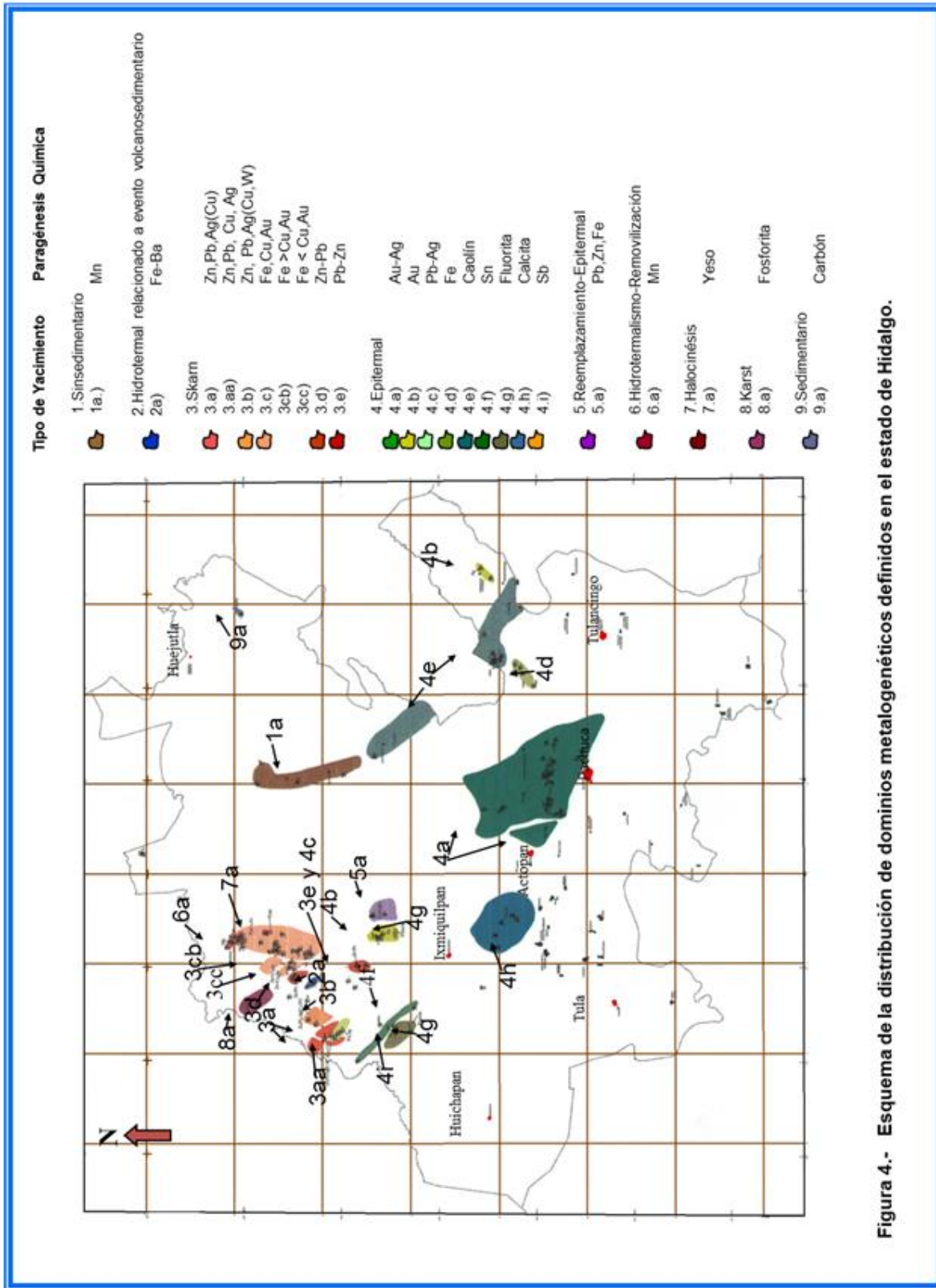


Figura 4.- Esquema de la distribución de dominios metalogénicos definidos en el estado de Hidalgo.



