

***GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DE ARROYO***

***CARTA MANUEL BENAVIDES H13-9 ESC. 1:250 000***

***POR:***

***ING. MIGUEL ANGEL ARIAS  
GUTIÉRREZ***

***REVISÓ:***

***ING. J. CARLOS RIVERA  
MARTÍNEZ***

***SUPERVISÓ:***

***ING. FRANCISCO MOREIRA  
RIVERA***

## **CONTENIDO**

|                                                        |           |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I.- INTRODUCCIÓN.....</b>                           | <b>1</b>  |
| <b>II.- GEOGRAFÍA.....</b>                             | <b>1</b>  |
| II.1.- CLIMA Y VEGETACIÓN .....                        | 1         |
| II.2.- FISIOGRAFÍA E HIDROGRAFÍA.....                  | 1         |
| <b>III.- PARÁMETROS GEOQUÍMICOS.....</b>               | <b>2</b>  |
| III.1.- MUESTREO .....                                 | 2         |
| III.2.- ANÁLISIS .....                                 | 2         |
| <b>IV.- INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA .....</b>            | <b>3</b>  |
| IV.1.- ESTUDIO DE ORIENTACIÓN .....                    | 4         |
| IV.2.- AFINIDAD DE ELEMENTOS .....                     | 4         |
| IV.3.- INTERPRETACION DE LOS ELEMENTOS LITOFILOS ..... | 7         |
| IV.4.- INTERPRETACION DE LOS ELEMENTOS METALICOS.....  | 8         |
| <b>V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>         | <b>11</b> |

### **ANEXOS**

Resultados de análisis geoquímicos.

## ***I.- INTRODUCCIÓN***

Como parte del programa de cartografía geológico-minera se lleva a cabo, paralelamente, un muestreo de sedimentos activos de arroyo. La geoquímica se desarrolla a partir de sedimentos que se colectan en función de una programación que toma en cuenta la densidad del drenaje de la región comprendida en cada carta configurando pétalos de captación. La

densidad de muestreo depende entonces de la densidad y tamaño de los pétalos, diferente en cada carta.

El resultado se presenta en cartas por percentiles independientes a este texto o en una interpretación por análisis factorial que a continuación se desarrolla.

## ***II.- GEOGRAFÍA***

### ***II.1.- CLIMA Y VEGETACIÓN***

El clima prevaleciente en la superficie del país que cubre la carta, es del Grupo de los climas Secos B. Los tipos presentes son: Muy Seco BW, Seco BSo y Semiseco BS<sub>1</sub>. Del tipo Muy Seco, predomina en la mayor parte de la carta el subtipo Muy Seco Semicálido BWhw (x') que se caracteriza por presentar su mayor período de lluvias durante el verano, con un porcentaje mayor al 10.2 de precipitación invernal y tener un invierno fresco. Del tipo Seco se tiene el subtipo Seco Semicálido BSohw que se presenta en la porción sureste de la carta y se caracteriza por sus lluvias veraniegas, teniendo una variante de 5 a 10.2% de precipitación invernal y su invierno es fresco. Del tipo Semiseco se tiene el subtipo Semicálido Templado BS<sub>1</sub>kw (x'), presente también en la esquina sureste de la carta, teniendo su principal período de lluvias durante el verano. Su porcentaje de precipitación invernal es mayor al 10.2 y es de un invierno cálido.

En la mayor parte de la superficie que cubre la carta, predomina un tipo de vegetación típica de las zonas áridas del norte del país, destacándose el Matorral desértico Rosetófilo, que entre sus componentes se puede identificar la Lechuguilla (*Agave Lechuguilla*), Sotoles (*Dasilirion texanum*) y palmas de poca altura (*Yucca* sp). Al oriente del poblado de Boquillas del Carmen, en el área de Puerto Rico, se identifica un área de Matorral Submontano que está constituido por Cenizos (*Leucophyllum* sp), Tenazas (*Pithecellobium brevifolium*), Hoja Ancha (*Flouencia laurifolia* y *Coyotillo Karwinskia* sp). Otro tipo de vegetación presente en la carta es el Chaparral, localizado en la sierra del Burro y en la sierra El Carmen que se desarrolla por abajo de una zona de Bosques de Pino y Encino. Sus componentes son principalmente arbustos pero por su posición topográfica contiene una gran cantidad de pino piñonero (*P.cembroides*). En los valles intermontanos tanto de la sierra del Burro como en la sierra El Carmen, existen extensiones considerables de pastizales naturales.

### ***II.2.- FISIOGRAFÍA E HIDROGRAFÍA***

Fisiográficamente la Carta se ubica en la porción centro oriental de la Provincia de Cuencas y Sierras, y la porción Norte de la Provincia Sierra Madre Oriental, dentro de la Subprovincia Sierra del Norte.

Al Poniente de la carta y dentro de la Provincia de Cuencas y Sierras destaca por su morfología la Sierra Azul cuya orientación preferencial es hacia el norte, la cual esta conformada por un anticlinal arqueado orientado al norte y esta constituido por calizas de edad Cretácico y afectado en su centro por un intrusivo granítico, al Norte de esta estructura se presenta la continuación de la Sierra Alta, continuación oriental de la Sierra El Mulato, la cual esta constituida por rocas volcánicas andesíticas y riolíticas de edad Terciaria.

Al oriente es estas estructuras se tiene la Sierra de Ponce conformada por calizas de edad Cretácico y que en su porción oriental presenta un escarpe de mas de 600 m de desnivel, su rumbo es 25° al NW, considerando este fallamiento de tipo escalonado.

En la porción centro sur de la carta en las áreas Santa Elena, y San Vicente, zona limítrofe entre ambas provincias se observan pequeños lomeríos constituidos por rocas volcánicas (área Santa Elena) y Sierras alargadas de pendientes suaves y escarpes abruptos constituidos por rocas calizas (área San Vicente) que al igual que en la Sierra de Ponce presentan fracturamiento y fallamiento paralelo de rumbo NNW, evidenciando un sistema de fallamiento característico de un graben.

En la porción oriente de la carta, dentro de la subprovincia Sierra del Norte, uno de los rasgos más sobresaliente es el escarpe de más de 1800 m de desnivel, cerrando en la parte poniente de la Sierra del Carmen.

La cual esta conformada por unidades litológicas que van del Paleozoico (?) al reciente, y que son expuestos en este escarpe.

Al sureste de la Sierra del Carmen en el Cerro del Centinela se presentan relieves topográficos de mas de 2500 m.s.n.m., constituidos por rocas de origen ígneo, tanto intrusivo como extrusivo, variando su composición de ácidos como intermedios, presenta una topografía abrupta, de drenaje dendrítico.

En el área de Aguachile y Cuatro Palmas – La Linda predominan drenaje radial, asociados a estructuras

circulares, originadas por eventos ígneos intrusivos, los cuales han levantado y deformado la carpeta sedimentaria.

El proceso de erosión se encuentra en una etapa inicial ya que no todos estos cuerpos ígneos afloran con plenitud.

Para el área oriental de la Carta, y dentro de las subprovincia Sierras del Norte, se abarca una franja de 35 Km. de ancho por 90 Km. de longitud en una dirección aproximada de 20° NW y que esta constituida principalmente por rocas calizas de edad Cretácico (Plataforma Burro – Peyotes), afectada en su parte SE por eventos ígneos intrusivos, ya que estas se conocen fácilmente por sus formas circulares.

Cabe señalar que esta estructura presenta lineamientos de dirección NE – SW, perpendiculares al lineamiento principal, y que al parecer fragmentan esta estructura en tres porciones.

### **III.- PARÁMETROS GEOQUÍMICOS**

#### **III.1.- MUESTREO**

Para la programación del muestreo se empleó la carta topográfica Ciudad Acuña H14-7 de INEGI, a escala 1:250,000, remarcando el drenaje, con el objeto de delimitar de forma clara las cuencas y subcuencas hidrológicas que surcan la región. Posteriormente se definieron los pétalos de captación, considerando la información geológico-minera existente del área, con la finalidad de ubicar los puntos de muestreo que por sus características definen la concentración de los iones metálicos en los sedimentos de un área específica. Dichos puntos, fueron seleccionados sobre las corrientes tributarias, metros antes de su descarga al dren troncal o principal, en la confluencia de arroyos.

Con la ubicación de las muestras en el plano correspondiente, se inició la recolección en los cauces de los arroyos, tomando el sedimento activo formado por partículas finas del tamaño de los limos y arcillas, con la ayuda de una cuchara de jardinero, tratando de eliminar todo vestigio de materia orgánica.

En el campo, la ubicación de las muestras se llevó a cabo con la ayuda de un posicionador (GPS, Garmin 12XL), marcándola en el terreno con pintura y listón, conteniendo la nomenclatura de la carta y número de muestras. Al mismo tiempo se tamizó a -80 mallas, recolectando el sedimento en bolsas de papel kraft para su análisis, también se realizó el llenado de la ficha de control respectiva.

El total de muestras colectadas fue de 319 unidades, distribuidas en una superficie de 8485 km<sup>2</sup>, lo cual arroja una densidad de una muestra por cada 26.6 km<sup>2</sup> (figura 1).

#### **III.2.- ANÁLISIS**

Las muestras se analizaron en el Centro Experimental Oaxaca, propiedad del Organismo; mediante el método de emisión de plasma (ICP), que consiste en digerir la muestra sólida en horno de microondas, para pasar a solución acuosa a través de una disolución parcial mediante agua regia; una vez que las muestras están en solución, se filtran y se leen en el ICP, en forma directa los elementos: Ag, Al, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sc, Sr, Tl, U, W y Zn.

El As, Bi, Sb, Se, Sn y Te, se determinan de la misma solución a través de un generador de hidruros, debido a que éstos producen el hidruro de ese elemento, mejorando considerablemente su límite de detección al ser leídos en el ICP.

El Au se analiza mediante el método combinado ensaye-copelación-lectura en absorción atómica, el cual permite bajar los límites hasta 1 ppb. En la tabla 1, se muestra la técnica utilizada por el laboratorio y los límites de detección por elemento.

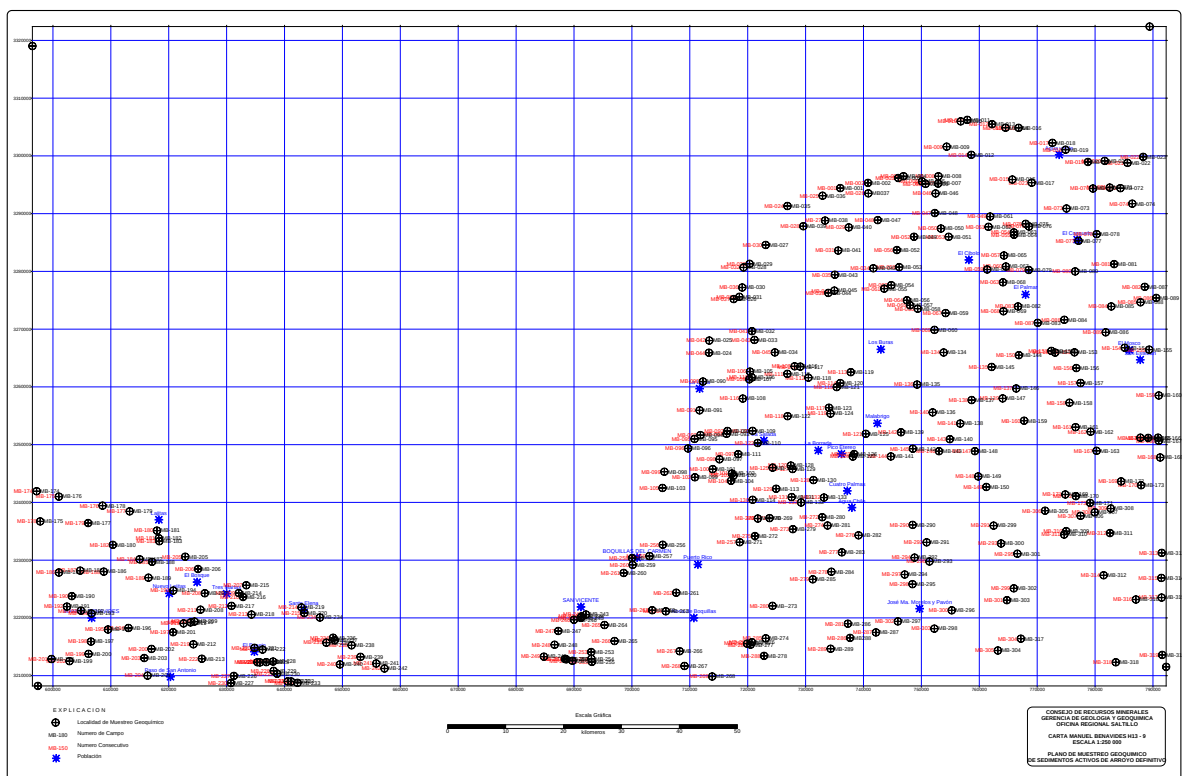


Figura 1

#### IV.- INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA

|                         |   |                                         |      |     |      |    |     |
|-------------------------|---|-----------------------------------------|------|-----|------|----|-----|
| DIGESTION               |   | ICP.- Emisión Espectroscópica de Plasma |      |     |      |    |     |
|                         |   | Ag                                      | 0.8  | Mg  | 2.0  | Te | 0.3 |
|                         |   | Al                                      | 2.0  | Mn  | 4.0  | U  | 0.1 |
|                         |   | Ba                                      | 2.0  | Mo  | 1.0  | W  | 5.0 |
|                         |   | Bi                                      | 0.3  | Na  | 8.0  | Zn | 2.0 |
|                         |   | Be                                      | 0.5  | Ni  | 1.0  |    |     |
|                         |   | Ca                                      | 0.5  | P   | 9.0  |    |     |
|                         |   | Cd                                      | 0.5  | Pb  | 2.0  |    |     |
|                         |   | Co                                      | 1.0  | Se  | 1.0  |    |     |
|                         |   | Cr                                      | 0.6  | Sb  | 6.0  |    |     |
|                         |   | Cu                                      | 1.0  | Sn  | 3.0  |    |     |
|                         |   | Fe                                      | 3.0  | Sr  | 1.0  |    |     |
|                         | K | 5.0                                     | Tl   | 6.0 |      |    |     |
| AguaRegia<br>(HCl-HNO3) |   | Generación de Hidruros                  |      |     |      |    |     |
|                         |   | As                                      | 0.04 | Se  | 0.07 |    |     |
|                         |   | Bi                                      | 0.09 | Sn  | 0.12 |    |     |
|                         |   | Sb                                      | 0.25 | Te  | 0.15 |    |     |
|                         |   | Ensaye al fuego/ lectura en E.A.A.      |      |     |      |    |     |
|                         |   | Au                                      | 1ppb |     |      |    |     |

Todos los elementos en ppm, con excepción del oro.

Tabla 1.- Técnica Química

#### **IV.1.- ESTUDIO DE ORIENTACIÓN**

Para el presente estudio se realizaron dos estudios de orientación, distribuidos en las localidades mineralizadas conocidas como Puerto Rico (Zn, Pb) y Cuatro Palmas (F). En la primera de ellas, se exploró y explotó a pequeña escala un yacimiento de minerales semioxidados de zinc y plomo con valores de plata emplazados a lo largo de la falla conocida como Las Norias, dentro de las calizas de la Formación Cupido. La mineralogía presente en esta área mineralizada es galena, esfalerita, malaquita, anglesita, celestita, hemimorfita, cerusita, goethita, smithsonita, cuprita, hidrómica, calcita, barita, dolomita y cuarzo. Es de los yacimientos considerados como de tipo Mississippi Valley, sin embargo su origen no está plenamente definido.

En el área de Cuatro Palmas, la mineralización es a base de fluorita, la cual actualmente es explotada en forma comercial por la empresa Minera Múzquiz de

la ciudad de Múzquiz, Coah., donde tiene instalada una planta de beneficio para procesar este mineral. Los yacimientos de esta región generalmente ocurren en el contacto de las calizas de la Formación Santa Elena y diques de composición riolítica, en forma de mantos, vetas, bolsadas, rellenando oquedades remplazando las calizas en forma muy irregular. La fluorita normalmente se presenta asociada a calcita, cuarzo, hematita y limonita, siendo en este caso de origen hidrotermal.

En los dos casos, el muestreo de orientación consistió en la toma de 30 muestras de sedimento activo de arroyo, equidistantes 50 metros una de otra, sobre el cauce del arroyo principal que drena la zona mineralizada, cubriendo una distancia aproximada de 1.5 km desde la localidad de la mina hasta la última muestra.

#### **IV.2.- AFINIDAD DE ELEMENTOS**

La selección de elementos de la mineralización, se basó en la afinidad de los elementos, obteniendo parámetros de la relación o grado de dependencia entre varios tipos de mineralización, concepto de gran utilidad para determinar si dos elementos están asociados o si uno de ellos puede utilizarse como guía para buscar otro.

Con el análisis factorial realizado tanto para los estudios de orientación como para el muestreo de la población total, (Tablas n° 2, 3 y 4), se obtuvieron agrupamientos de elementos en base a la variabilidad de los datos procesados, de tal manera que los factores determinados presentan una característica común en lo que se refiere a variables observándose en la tabla la asociación existente entre elementos, la cual se representa por un valor geoquímico conocido como coeficiente de correlación, que indica si dos elementos están asociados en el espacio y si uno puede utilizarse como guía para buscar el otro. Cuando el coeficiente de correlación tiende a +1, indica una excelente asociación entre ellos, cuando tiende a cero, significa una completa independencia entre los elementos analizados y cuando tiende a -1, indica una relación inversa.

La matriz de componente rotada, nos indica que de existir una población de importancia ubicada atrás de la nubosidad principal podríamos verla y ubicarla en alguno de los factores, de tal manera que el valor de cada celda es el coeficiente de correlación, facilitando el análisis de dependencia de estos elementos donde se observan los componentes (factores), los cuales

indican que estos elementos tienen correlación, definiéndose cinco factores o componentes.

Los componentes que definen la mineralización metálica en cada una de las localidades donde se realizaron muestreos de orientación, así como en el de la población final, fueron determinados por los elementos que tienen un factor de correlación mayor que 0.5, de tal manera que en cada una de las localidades muestreada se definió de la siguiente manera:

Área Puerto Rico.- La asociación mineralógica que constituye la mena del yacimiento se define en el componente 1, donde aparecen los elementos metálicos Zn, Pb, Mo, Cu y Ag, asociados a los elementos calcófilos Sb, Cd, As, Ba, Co, Ni, y Sr (Tabla N° 2).

Área Cuatro Palmas.- En la matriz de componentes rotados correspondiente al muestreo de orientación realizado en esta mina (Tabla N° 3), se observa que en el componente 3 aparece el Flúor asociado a Be, Na, K y Ca, por lo que este componente es el representativo de la asociación mineralógica de este yacimiento.

Población Total del Muestreo Regional.- Tomando en consideración los diferentes tipos de yacimientos minerales existentes en la superficie que cubre la carta, así como sus relaciones genéticas, mineralógicas, litológicas y de ocurrencia, se considera que en la matriz de correlación del

muestreo regional, existen diferentes componentes que ilustran las diferentes asociaciones mineralógicas presentes en el área de la carta, de tal manera que el componente 1, donde se presenta el Fe y Zn, es representativo para los yacimientos de Fe, Ag, Pb, y Zn que se localizan el área mineralizada de Sierra Azul, mientras que el 5 donde aparecen los elementos metálicos Ag y Cu, asociados a Cr, es el representativo del tipo de yacimientos de Zn, Pb, Cu y Ag del área de Puerto Rico. En ninguno de los componentes de la matriz de correlación del muestreo regional se encontró al flúor con un factor de asociación por arriba de 0.5, aun cuando en la superficie que cubre la carta existen áreas importantes con mineralización de fluorita que han sido explotadas en diferentes épocas, por lo que se define que los alcances de este método de exploración para minerales de fluorita tiene sus limitaciones. Por último el componente 2, donde aparecen los

elementos de carácter litófilo como Al, K y Mg, es el representativo de las características litológicas de la carta.

Como podrá observarse, los elementos Au, y Pb, no resultaron afines con ningún elemento en la matriz de componentes rotados, pero se considera que deben ser incluidos en la edición de los planos geoquímicos correspondientes a la carta, debido al ambiente geológico prevaleciente en la misma.

Una vez obtenida la correlación existente entre los elementos analizados en cada una de las localidades muestreadas, así como la población final del muestreo regional, se define que los elementos indicadores de la mineralización para toda la carta son Zn, Pb, Cu, Ag, Au, F y Mo, definiéndose los parámetros estadísticos de cada uno de ellos

**Matriz de componentes rotados(a) Mina Puerto Rico**

|    | Componente |    |          |    |          |    |          |    |           |
|----|------------|----|----------|----|----------|----|----------|----|-----------|
|    | 1          |    | 2        |    | 3        |    | 4        |    | 5         |
| Sb | 0.949      | Be | 0.97     | Na | 0.849    | Sn | 0.867    | Au | 0.903     |
| Cd | 0.949      | P  | 0.942    | Cr | 0.763    | Bi | 0.718    | Cu | 0.204     |
| Zn | 0.945      | U  | 0.939    | K  | 0.428    | Al | 0.148    | Pb | 0.178     |
| As | 0.942      | Fe | 0.906    | Ca | 0.374    | K  | 0.102    | Mn | 0.135     |
| Ba | 0.93       | Mg | 0.903    | Al | 0.358    | Co | 0.101    | Zn | 0.134     |
| Pb | 0.903      | Sc | 0.884    | Ag | 0.311    | Be | 0.1      | Ca | 0.122     |
| Co | 0.878      | Mn | 0.88     | Bi | 0.31     | Sr | 0.08229  | Sn | 0.108     |
| Mo | 0.873      | Al | 0.84     | Ni | 0.222    | U  | 0.04939  | Cd | 0.07193   |
| Ni | 0.769      | K  | 0.762    | Sc | 0.144    | Na | 0.04035  | Mo | 0.05928   |
| Cu | 0.737      | Cu | 0.55     | U  | 0.132    | Cr | 0.0393   | P  | 0.05716   |
| Sr | 0.672      | Cr | 0.375    | P  | 0.08435  | Mo | 0.02197  | Fe | 0.03952   |
| Ag | 0.53       | Co | 0.283    | Be | 0.04399  | Ca | 0.006192 | Be | 0.01068   |
| Mn | 0.397      | Bi | 0.241    | Sr | 0.04043  | P  | 0.005515 | Sc | -0.004566 |
| Fe | 0.382      | Pb | 0.219    | Fe | 0.01455  | Ag | -0.02607 | Ag | -0.008077 |
| Mg | 0.25       | Zn | 0.15     | Co | 0.006744 | Sb | -0.04166 | Al | -0.01933  |
| Be | 0.144      | Cd | 0.09701  | Cu | -0.01353 | Fe | -0.04377 | K  | -0.02186  |
| U  | -0.0309    | Ba | 0.07385  | Mn | -0.03967 | Au | -0.05962 | U  | -0.02806  |
| Ca | -0.06048   | Mo | 0.01633  | Pb | -0.04636 | As | -0.06577 | Na | -0.04752  |
| Au | -0.08496   | Na | 0.00604  | Ba | -0.06247 | Cd | -0.08545 | Co | -0.07959  |
| Bi | -0.09496   | Au | -0.02586 | Mg | -0.08248 | Mg | -0.09141 | Sb | -0.08331  |
| Cr | -0.105     | Sb | -0.06717 | Sn | -0.106   | Pb | -0.09208 | As | -0.09514  |
| K  | -0.118     | Ni | -0.12    | Mo | -0.124   | Mn | -0.105   | Mg | -0.116    |
| Na | -0.146     | As | -0.151   | Cd | -0.138   | Ni | -0.117   | Sr | -0.16     |
| P  | -0.164     | Sn | -0.193   | Sb | -0.14    | Zn | -0.143   | Cr | -0.188    |
| Al | -0.17      | Ag | -0.274   | Au | -0.147   | Ba | -0.169   | Ba | -0.214    |
| Sn | -0.198     | Sr | -0.526   | Zn | -0.161   | Sc | -0.188   | Bi | -0.262    |
| Sc | -0.231     | Ca | -0.877   | As | -0.18    | Cu | -0.251   | Ni | -0.363    |

Tabla N° 2

**Matriz de componentes rotados(a) Mina Cuatro Palmas**

|           | Componente   |           |              |           |              |           |              |           |              |
|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
|           | 1            |           | 2            |           | 3            |           | 4            |           | 5            |
| <b>Ba</b> | <b>0.92</b>  | <b>Ni</b> | <b>0.963</b> | <b>Be</b> | <b>0.903</b> | <b>Sb</b> | <b>0.774</b> | <b>Mg</b> | <b>0.806</b> |
| <b>Co</b> | <b>0.86</b>  | <b>Sr</b> | <b>0.878</b> | <b>Na</b> | <b>0.888</b> | <b>Bi</b> | <b>0.59</b>  | <b>Mn</b> | <b>0.654</b> |
| <b>Al</b> | <b>0.782</b> | <b>Cd</b> | <b>0.872</b> | <b>F</b>  | <b>0.887</b> | <b>Au</b> | 0.488        | <b>As</b> | 0.384        |
| <b>Mo</b> | <b>0.735</b> | <b>Se</b> | <b>0.84</b>  | <b>K</b>  | <b>0.86</b>  | <b>P</b>  | 0.472        | <b>Ca</b> | 0.328        |
| <b>Fe</b> | <b>0.699</b> | <b>Cu</b> | <b>0.743</b> | <b>Ca</b> | <b>0.62</b>  | <b>As</b> | 0.469        | <b>P</b>  | 0.278        |
| <b>Sc</b> | <b>0.659</b> | <b>P</b>  | <b>0.606</b> | <b>As</b> | 0.492        | <b>Mn</b> | 0.428        | <b>Sc</b> | 0.174        |
| <b>Cr</b> | <b>0.502</b> | <b>Cr</b> | <b>0.551</b> | <b>Mo</b> | 0.432        | <b>Cu</b> | 0.384        | <b>Co</b> | 0.151        |
| <b>Se</b> | 0.413        | <b>Ca</b> | 0.474        | <b>Sr</b> | 0.268        | <b>Zn</b> | 0.216        | <b>Zn</b> | 0.151        |
| <b>Sr</b> | 0.287        | <b>As</b> | 0.371        | <b>Al</b> | 0.267        | <b>Sc</b> | 0.211        | <b>Cr</b> | 0.149        |
| <b>P</b>  | 0.269        | <b>Bi</b> | 0.286        | <b>Pb</b> | 0.154        | <b>U</b>  | 0.166        | <b>Ni</b> | 0.114        |
| <b>K</b>  | 0.266        | <b>Sc</b> | 0.266        | <b>Ba</b> | 0.127        | <b>Pb</b> | 0.165        | <b>Al</b> | 0.09375      |
| <b>Na</b> | 0.23         | <b>Ba</b> | 0.235        | <b>Se</b> | 0.09486      | <b>Co</b> | 0.151        | <b>Sn</b> | 0.07391      |
| <b>Mg</b> | 0.156        | <b>Zn</b> | 0.189        | <b>Ni</b> | 0.03029      | <b>Se</b> | 0.147        | <b>Pb</b> | 0.07281      |
| <b>Ag</b> | 0.15         | <b>Be</b> | 0.16         | <b>Cd</b> | -0.0338      | <b>Mo</b> | 0.139        | <b>Fe</b> | 0.06978      |
| <b>F</b>  | 0.139        | <b>Co</b> | 0.124        | <b>Bi</b> | -0.04081     | <b>Ni</b> | 0.133        | <b>Be</b> | 0.06826      |
| <b>Sb</b> | 0.133        | <b>Sb</b> | 0.06293      | <b>Sn</b> | -0.146       | <b>Ag</b> | 0.124        | <b>Ba</b> | 0.05499      |
| <b>Mn</b> | 0.06344      | <b>Au</b> | 0.02848      | <b>Co</b> | -0.155       | <b>Fe</b> | 0.06265      | <b>Bi</b> | 0.01454      |
| <b>As</b> | 0.04528      | <b>F</b>  | 0.0177       | <b>U</b>  | -0.167       | <b>Cd</b> | 0.06128      | <b>Au</b> | 0.009627     |
| <b>Ni</b> | 0.04378      | <b>Mo</b> | -0.02753     | <b>Au</b> | -0.191       | <b>Sn</b> | 0.05307      | <b>U</b>  | 0.006381     |
| <b>Be</b> | -0.08613     | <b>Na</b> | -0.115       | <b>Mg</b> | -0.206       | <b>Sr</b> | 0.009648     | <b>Cu</b> | -0.04793     |
| <b>Cu</b> | -0.161       | <b>K</b>  | -0.169       | <b>Zn</b> | -0.21        | <b>Ca</b> | -0.0326      | <b>K</b>  | -0.05377     |
| <b>Bi</b> | -0.223       | <b>Mn</b> | -0.185       | <b>Cu</b> | -0.244       | <b>Be</b> | -0.04178     | <b>Cd</b> | -0.05919     |
| <b>Sn</b> | -0.247       | <b>Pb</b> | -0.189       | <b>P</b>  | -0.262       | <b>Cr</b> | -0.08854     | <b>F</b>  | -0.09365     |
| <b>Cd</b> | -0.326       | <b>U</b>  | -0.192       | <b>Ag</b> | -0.276       | <b>Al</b> | -0.113       | <b>Sr</b> | -0.09937     |
| <b>Ca</b> | -0.345       | <b>Ag</b> | -0.252       | <b>Sb</b> | -0.295       | <b>Mg</b> | -0.135       | <b>Se</b> | -0.135       |
| <b>Au</b> | -0.363       | <b>Mg</b> | -0.287       | <b>Sc</b> | -0.394       | <b>K</b>  | -0.174       | <b>Na</b> | -0.181       |
| <b>Pb</b> | -0.728       | <b>Fe</b> | -0.298       | <b>Mn</b> | -0.471       | <b>Na</b> | -0.221       | <b>Sb</b> | -0.223       |
| <b>U</b>  | -0.735       | <b>Sn</b> | -0.339       | <b>Cr</b> | -0.477       | <b>F</b>  | -0.224       | <b>Mo</b> | -0.323       |
| <b>Zn</b> | -0.854       | <b>Al</b> | -0.364       | <b>Fe</b> | -0.597       | <b>Ba</b> | -0.6363      | <b>Ag</b> | -0.526       |

Tabla N° 3

**Matriz de componentes rotados(a) Manuel Benavides Regional**

|    | Componente |    |          |    |           |    |           |    |           |
|----|------------|----|----------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|
|    | 1          |    | 2        |    | 3         |    | 4         |    | 5         |
| Fe | 0.959      | Al | 0.916    | Se | 0.84      | Sn | 0.696     | Ag | 0.817     |
| Mn | 0.899      | K  | 0.906    | Sr | 0.768     | Pb | 0.498     | Cr | 0.63      |
| U  | 0.869      | Mg | 0.673    | Mo | 0.717     | Be | 0.482     | Cu | 0.611     |
| Co | 0.86       | Sc | 0.654    | Ni | 0.695     | Au | 0.448     | Au | 0.356     |
| Zn | 0.824      | Ni | 0.457    | As | 0.501     | As | 0.404     | Sc | 0.185     |
| Be | 0.719      | Cu | 0.439    | Sb | 0.424     | Sb | 0.309     | Sn | 0.172     |
| P  | 0.599      | Ba | 0.427    | Cu | 0.369     | Bi | 0.308     | Ba | 0.12      |
| Sc | 0.594      | As | 0.418    | F  | 0.346     | Mo | 0.278     | Sr | 0.07301   |
| Cr | 0.466      | P  | 0.247    | Ca | 0.337     | Cr | 0.16      | Mg | 0.06457   |
| Bi | 0.427      | Mn | 0.219    | Zn | 0.302     | Zn | 0.132     | Ni | 0.06256   |
| Na | 0.426      | Cr | 0.196    | Cr | 0.297     | Ag | 0.09095   | Mo | 0.03768   |
| Pb | 0.424      | Co | 0.195    | Na | 0.29      | K  | 0.08332   | Co | 0.03564   |
| Ba | 0.375      | Be | 0.172    | P  | 0.207     | P  | 0.0708    | K  | 0.03314   |
| Sb | 0.339      | Bi | 0.161    | Sc | 0.137     | U  | 0.05443   | Fe | 0.01501   |
| Al | 0.25       | Ca | 0.141    | Au | 0.114     | Ca | 0.04939   | Na | 0.01228   |
| F  | 0.24       | Zn | 0.125    | Fe | 0.06833   | Al | 0.01525   | Zn | 0.00762   |
| As | 0.19       | U  | 0.121    | Co | 0.06321   | Sc | 0.01446   | Al | 0.002321  |
| Mg | 0.161      | Pb | 0.0409   | Mg | 0.05544   | Mn | 0.008263  | Be | -0.007845 |
| Ni | 0.132      | Sb | 0.01236  | Bi | 0.0282    | Cu | -0.008645 | Ca | -0.01406  |
| Au | 0.09839    | Fe | 0.00955  | Be | -0.009028 | Fe | -0.112    | P  | -0.08443  |
| Cu | 0.07043    | Na | -0.01397 | U  | -0.04512  | F  | -0.141    | Mn | -0.09045  |
| Mo | 0.03643    | Ag | -0.03963 | K  | -0.07078  | Ni | -0.157    | As | -0.134    |
| Sn | 0.03072    | Se | -0.04617 | Pb | -0.07998  | Se | -0.185    | Se | -0.139    |
| K  | -0.04895   | Sn | -0.04659 | Sn | -0.084    | Mg | -0.251    | Pb | -0.167    |
| Se | -0.117     | Sr | -0.07712 | Ba | -0.08744  | Co | -0.324    | U  | -0.23     |
| Ag | -0.162     | F  | -0.102   | Al | -0.137    | Sr | -0.437    | F  | -0.417    |
| Sr | -0.194     | Au | -0.173   | Mn | -0.169    | Ba | -0.52     | Bi | -0.421    |
| Ca | -0.775     | Mo | -0.224   | Ag | -0.206    | Na | -0.701    | Sb | -0.477    |

Tabla N° 4

#### **IV.3.- INTERPRETACION DE LOS ELEMENTOS LITOFILOS**

En la matriz de componentes rotada correspondiente al muestreo regional, se observa que en el componente 2 se asocian los elementos que son afines con unidades litológicas como Al, K, Mg y Sc.

La distribución en el espacio de la asociación de estos elementos químicos, permitió definir su asociación con algunas de las localidades litológicas existentes en el área de la carta, como puede observarse en la figura 2, en la cual se muestra una clara asociación de los halos de mayor concentración de estos elementos con la roca ígnea intrusiva de composición sienítica que constituye el cerro Colorado, en la parte sureste de la carta.

De acuerdo a la litología existente en la superficie de la carta, se realizaron planos de distribución monoelemental por aluminio, potasio, magnesio, calcio y sodio para conocer su relación con las diferentes unidades litológicas, definiéndose que en el caso del aluminio, presenta casi el mismo comportamiento que el obtenido en el plano del componente 2; en el caso del potasio, su mayor concentración se asocia a un área que fue cartografiada como depósito aluvial, que se localiza en la parte este – centro de la carta, en lo que localmente se conoce como cañón El Cibolo. Esta asociación posiblemente tenga su explicación en que en esta zona el sedimento aluvial tiene un alto contenido de potasio, derivado de la erosión de las rocas ígneas que tienen un alto contenido de nefelina en su composición. Esta zona de alto contenido de

potasio, también se manifiesta con la misma intensidad en el plano del aluminio.

En el plano de distribución monoelemental por magnesio, se observan dos halos de alta concentración en la esquina suroeste de la carta, los cuales se asocian a los paquetes de tobas andesíticas, que afloran en esta porción de la carta. Uno mas se ubica en la parte sur-central de la carta y se asocia a un área de depósitos aluviales, los cuales se pueden considerarse como potencialmente contenedores de sales de magnesio, también muy característicos de los suelos de climas semidesérticos como el que prevalece en la carta. Por último, se tiene otro halo de gran intensidad en la parte sureste de la carta, el cual se asocia preferentemente al cuerpo ígneo intrusivo que ha sido clasificado como sienita de nefelina, que constituye el cerro Colorado.

La distribución monoelemental del calcio define en forma muy objetiva las sierras constituidas por gruesos bancos de calizas cretácicas que se localizan en la superficie de la carta. En la esquina suroeste se definen perfectamente las sierras Azul y Ponce,

quedando como áreas de valores bajos, las zonas donde afloran tobas andesíticas y aluviones. En la parte sur-centro de la carta, están perfectamente identificadas las sierras San Vicente y la parte noroeste de la sierra El Carmen, definiéndose muy objetivamente con áreas de valores bajos, las áreas donde el marco geológico está constituido por tobas andesíticas y granitos en la misma sierra El Carmen. En la parte oriental de la carta, está perfectamente delineado el paquete calcáreo que constituye la serranía El Burro, con sus áreas de valores bajos que representan el cerro Colorado y sus áreas aluviales.

Por último, el plano de distribución monoelemental del sodio, define perfectamente la zona donde aflora un grueso paquete de tobas andesíticas al norte del poblado de Manuel Benavides, en la esquina suroeste de la carta.

Por todo lo anteriormente descrito, se concluye que los planos que muestran la distribución de los elementos de carácter litófilo, definen con mucha claridad la distribución de las diferentes unidades litológicas que afloran en la superficie de la carta.

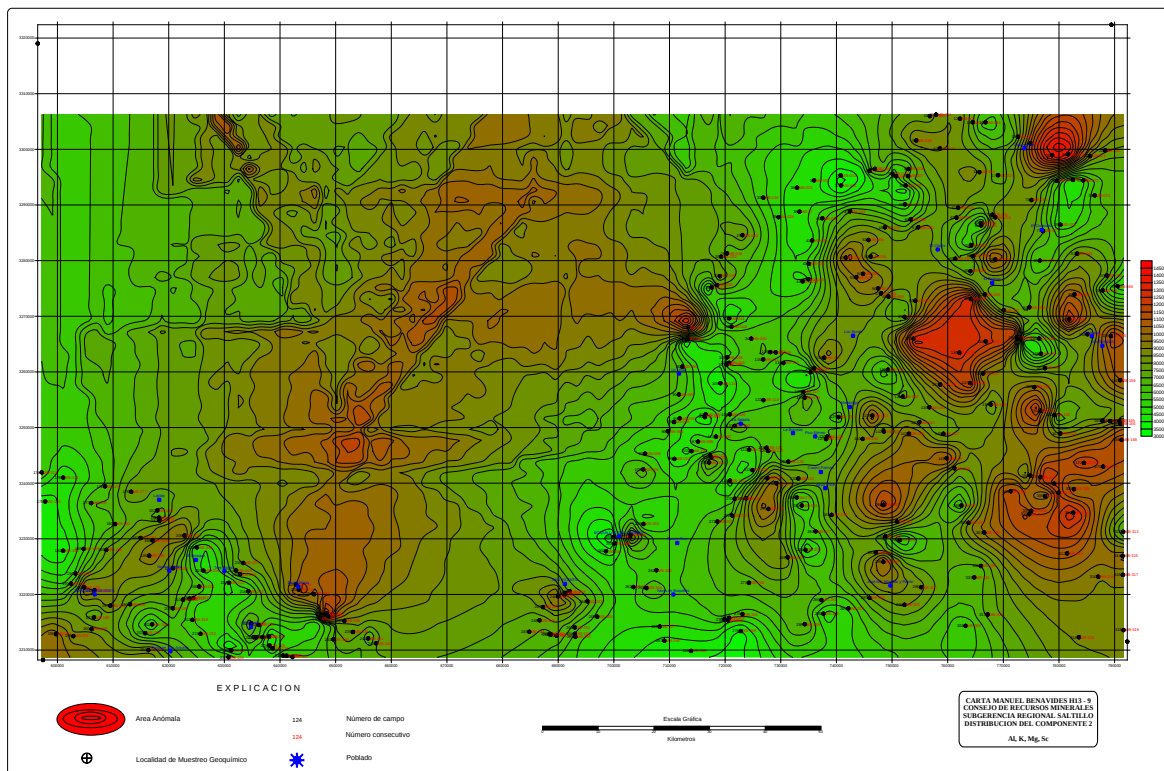


Figura 2

#### IV.4.- INTERPRETACION DE LOS ELEMENTOS METALICOS

En la afinidad determinada en el componente 1 de la matriz de correlación del muestreo de la población final de la carta, se observó que los elementos afines son Fe, Zn y Co y al realizar el plano de la

distribución en el espacio de este componente (Figura N° 3), se observa que se definen 4 halos de mayor concentración de alta intensidad; dos de ellos se ubican en la esquina suroeste de la carta, uno al norte del poblado de Manuel Benavides, en límite internacional, que se asocia al afloramiento de un grueso paquete de tobas riolíticas y el segundo al sur del mismo poblado, que se asocia al afloramiento de un cuerpo ígneo de composición diorítica. Otro halo de alta intensidad se ubica al sur del poblado de Boquillas del Carmen, donde el contexto geológico está definido por un cuerpo ígneo intrusivo de

composición granítica que afecta rocas calcáreas del Cretácico Inferior, las cuales a su vez están cubiertas por tobas andesíticas que también están afectadas por un cuerpo intrusivo. En este marco geológico, se encuentra el distrito minero El Jardín, ubicado en la sierra El Carmen. La última de las áreas anómalas detectadas, es la localizada en la parte sureste de la carta y manifiesta perfectamente la ubicación del cuerpo ígneo intrusivo de composición sienítica que constituye el cerro Colorado.

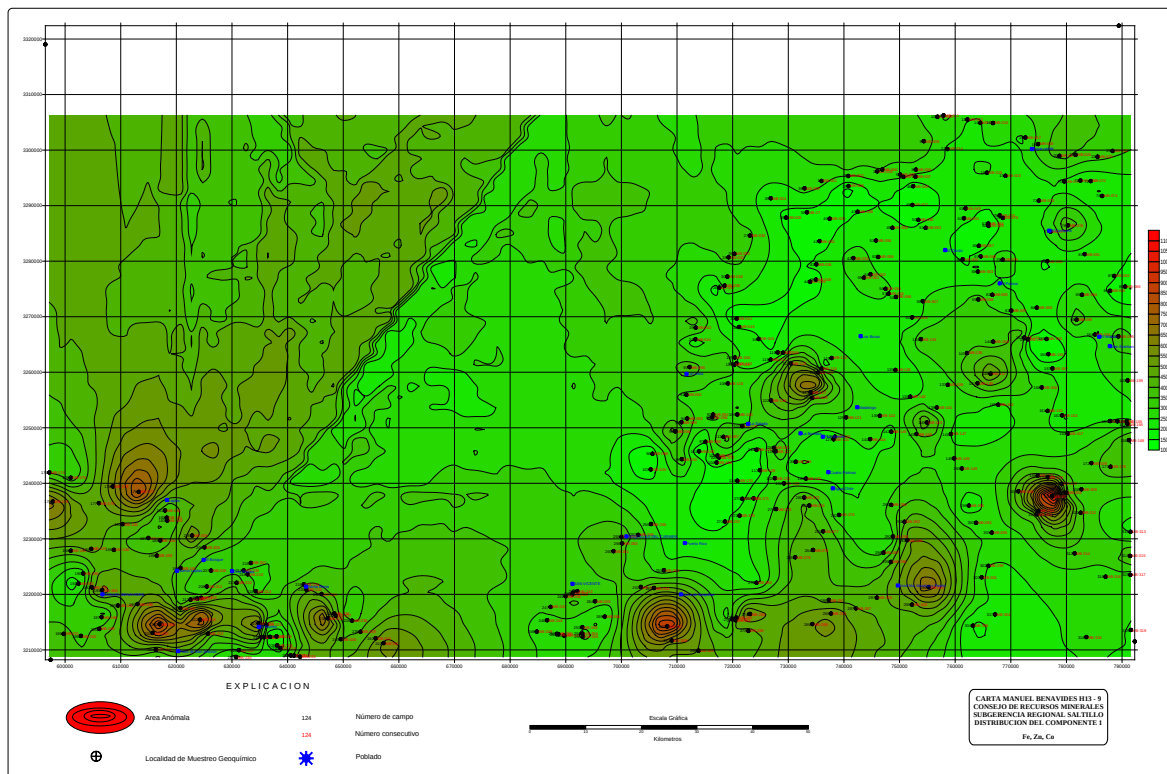


Figura 3

Se manifiestan otros dos halos anómalos aunque de menor intensidad, uno en la parte norte del intrusivo de composición sienítica que constituye el cerro Pico Etéreo y otro al sur del poblado José Ma. Morelos y Pavón, que se relaciona al cuerpo intrusivo de composición sienítica que constituye el cerro El Conejo, el cual está afectando rocas calcáreas del Cretácico Inferior y tobas andesíticas.

En todas las áreas anómalas definidas, se tienen referencias de mineralización, sobre todo de fluorita y mayormente desarrollada en el Pico Etéreo y cerro Colorado, donde se han explotado yacimientos de fluorita asociados a los cuerpos ígneos aflorantes en estas localidades.

Es importante hacer mención que al realizar los planos monoelementales de Fe y Zn, cada uno por separado, se define con claridad cual elemento predomina en cada una de las anomalías, detectadas. De esta manera se pudo establecer que las anomalías del cerro Colorado, Pico Etéreo y Manuel Benavides, se atribuyen al Fe; la anomalía José Ma. Morelos y Pavón está generada por el alto contenido de Zn y por último, la anomalía que se asocia al distrito minero El Jardín, está dada por los dos elementos con la misma intensidad.

En el componente 5 de la matriz de correlación correspondiente al muestreo regional, se encontraron

asociados la plata, el cobre y el cromo y al elaborar el plano de su distribución en el espacio (Figura 4), se definieron dos halos anómalos de mayor intensidad, uno localizado en la parte sur – central de la carta y otro en la porción suroeste de la misma. El primero de ellos se asocia al distrito minero de El Jardín, donde se tienen referencias de la explotación de yacimientos de fluorita relacionados a un cuerpo ígneo intrusivo de composición granítica que se encuentra afectando un paquete de rocas calcáreas del Cretácico Inferior y a un cuerpo de tobas andesíticas que cubren al paquete de rocas sedimentarias, que en esta localidad constituyen parte de lo que es la sierra El Carmen. El segundo halo anómalo de gran intensidad se relaciona

al cuerpo ígneo intrusivo de composición diorítica que aflora en la sierra Los Encinos.

Al realizarlos planos de distribución monoelemental de Ag y Cu por separado, se define que la anomalía que se asocia al distrito minero El Jardín, está dada por la plata y la anomalía de la sierra Los Encinos, está provocada por el cobre. De esta manera se define que los elementos metálicos plata, cobre y zinc, se encuentran asociados al distrito minero El Jardín y en la sierra Los Encinos se encuentran asociados valores altos de cobre y plata.

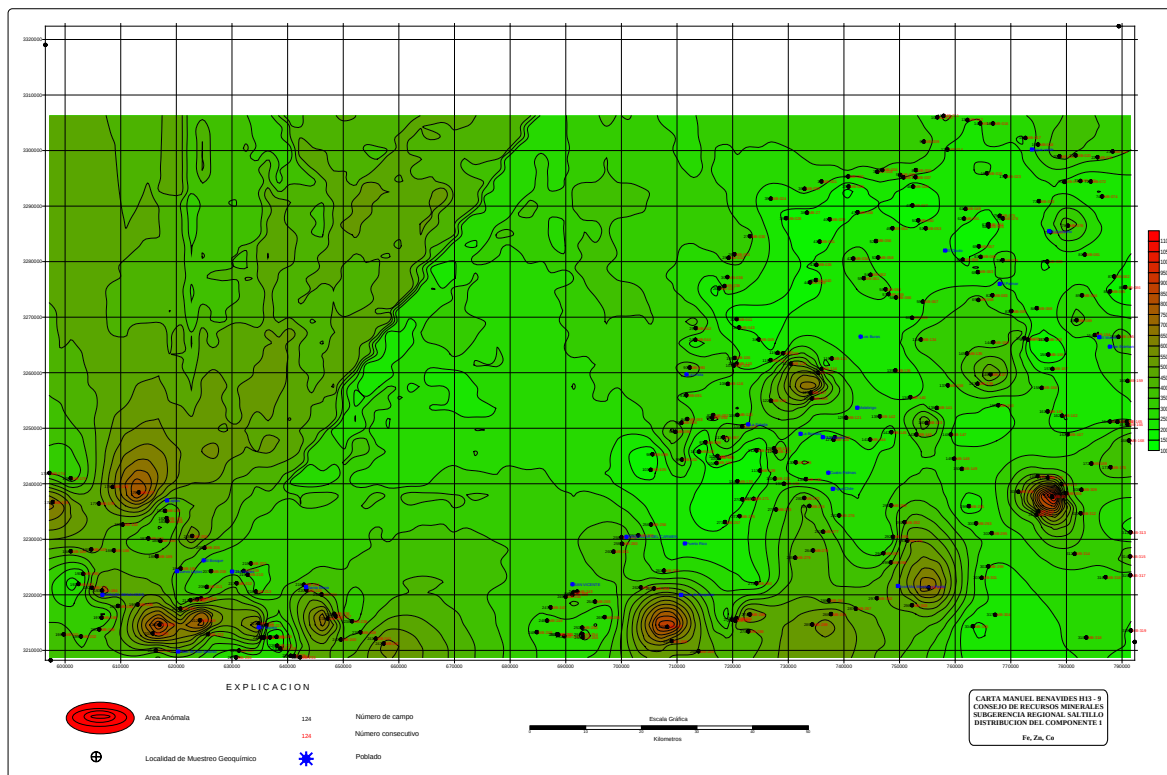


Figura 4

Aun cuando el flúor no se detectó asociado en ninguno de los componentes de la matriz de correlación correspondiente al muestro regional, se elaboró un plano que permitiera conocer la distribución en el espacio de este elemento, ya que en la superficie que cubre esta carta se localizan importantes distritos mineros de fluorita que se han venido explotando en forma comercial desde hace muchos años, incluso dando margen a la instalación de plantas de beneficio para procesar este mineral en la ciudad de Múzquiz, Coah. Con este plano, se lograron definir dos halos anómalos de gran intensidad (Figura 5); uno de ellos, define claramente

el distrito minero de Aguachile – Cuatro Palmas, que es uno de los distritos mineros desarrollados desde hace mucho tiempo y el otro se manifiesta al surponiente del poblado José Ma. Morelos y Pavón, donde el contexto geológico está dado por tobas riolíticas que cubren roca calcárea del Cretácico Inferior. Esta área resulta de interés ya que a la fecha no se tienen referencias de que existan yacimientos de fluorita en esta área, lo que la convierte en una zona nueva recomendable para su exploración por fluorita.

Por otra parte es igualmente importante mencionar que dentro de la superficie que cubre la carta existen

yacimientos minerales metálicos que no reflejan su existencia en ninguno de los planos que muestran la distribución en el espacio de los componentes que asocian los elementos que constituyen estos yacimientos. En este caso están las minas San Carlos y Puerto Rico, en cuya constitución mineralógica están los elementos plata, plomo, zinc y en menor

proporción el cobre. Esta situación posiblemente sea atribuible a que la distancia que existe entre las localidades de los yacimientos y las localidades de muestreo es demasiado grande, pues en ambos casos las muestras más próximas fueron colectadas a más de 5 km de distancia de los yacimientos.

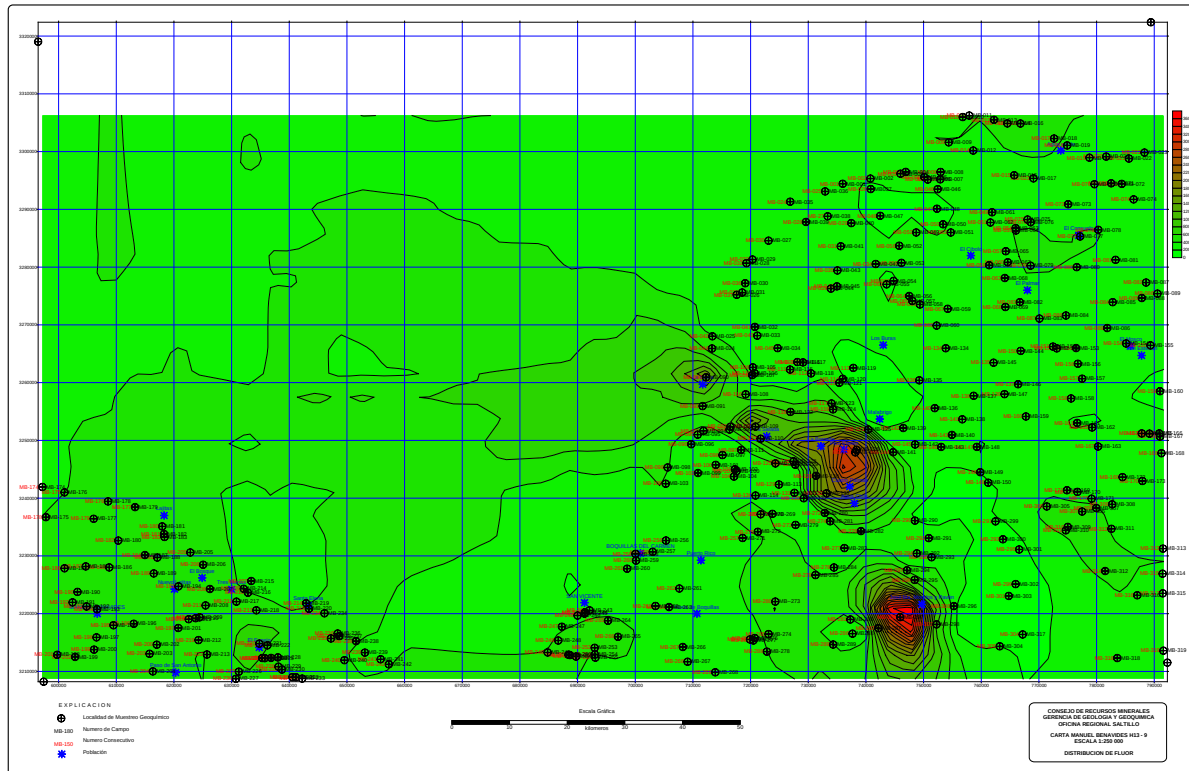


Figura 5

## V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos con los planos de distribución de cada uno de los componentes obtenidos en la matriz de correlación del muestreo regional realizado y al conocimiento que se tiene de la carta, se llega a las siguientes conclusiones:

Dentro de la superficie que cubre la carta, existen localidades mineralizadas con fluorita, asociadas tanto a rocas ígneas como a rocas sedimentarias, las cuales han sido explotadas por muchos años y que han representado la fuente de suministro de este mineral para una de las plantas de beneficio instaladas en la ciudad de Melchor Múzquiz, Coah., las cuales no fueron detectadas en ninguno de los componentes de la matriz de correlación, pero que sin embargo, al realizar el plano de distribución monoelemental de flúor, se definió perfectamente toda el área que constituye el distrito minero de Aguachile – Cuatro

Palmas, por lo que se considera que en este caso, todas las áreas que se detectaron como anómalas por flúor, son altamente prospectables y es recomendable su exploración a semidetalle.

En cuanto a la mineralización de zinc, plomo y plata, el estudio realizado detectó áreas anómalas que a la fecha no se tienen reportadas como productoras de minerales que contienen estos elementos, por lo que todas estas áreas se consideran de interés para su estudio a semidetalle, ya que las condiciones geológicas que prevalecen en la región son propicias para localizar yacimientos con este tipo de mineralización. Por otra parte es necesario comentar que áreas mineralizadas con estos elementos como son Puerto Rico y San Carlos, que han sido exploradas por minerales de zinc, plomo y en menor proporción cobre, no fueron detectadas en el estudio

realizado, esto posiblemente por la gran distancia que existe entre las localidades mineralizadas y las localidades de muestreo, que en los dos casos es de mas de cinco kilómetros, lo que pone de manifiesto que en este ambiente geológico estos elementos no emigran por arriba de esta distancia.

Por lo que respecta al oro, este elemento se detecto con coeficiente de asociación mayor a 0.5 en el componente 4 de la matriz de correlación del muestreo regional, por lo que se pensó que este elemento se encontraría en estado libre y que pudiera ser prospectable en algunas áreas dentro de la carta, sin embargo al realizar el plano degradado donde se muestra su distribución en el espacio, no definió zonas anómalas de alta intensidad, sino mas bien zonas de baja intensidad de mucha distribución por lo que se considera que no representan zonas de interés para la búsqueda de este mineral.

En lo que se refiere a los elementos de carácter litófilo como calcio, potasio, magnesio y aluminio, los planos que muestran su distribución tanto como asociación mineralógica como su distribución monoelemental, reflejan perfectamente las características litológicas que prevalecen en la carta, pudiendo deferenciarse con mucha claridad los ambientes sedimentarios de los ambientes con actividad ígneas, lo que pone de manifiesto la efectividad de este estudio para la discriminación por medios litológicos para cualquier programa de exploración que se pretenda realizar en la región que cubre esta carta.

Finalmente como áreas prospectivas resultantes del presente estudio, se pueden recomendar las áreas de Aguachile – Cuatro Palmas (fluorita), Puerto Rico (zinc-plomo), San Carlos (zinc-plomo), la parte poniente de la sierra El Carmen, a la altura del poblado Noria de Boquillas (zinc), la sierrita localizada al sureste del poblado de Manuel Benavides (zinc) y el área del cerro Colorado, al oriente de la carta.