

**PROSPECCION GEOFISICA Y GEOQUIMICA EN LA
REGION DE CALIFORNIA (SANTANDER) ¹**

LUIS CARLOS CARVAJAL ² y EDGAR D. RODRÍGUEZ ³

¹ Trabajo Final presentado en cumplimiento parcial de los requisitos exigidos para optar al título de Geólogo. Manuscrito recibido: octubre de 1974.

² Departamento de Geología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Dirección actual: Geophysical Service Incorporated, Bogotá.

³ Departamento de Geología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Dirección actual: Texas Petroleum Co., Bogotá.

ILUSTRACIONES

- FIGURA 1. Localización del Municipio de California (Santander).
- FIGURA 2. Mapa de localización de la región estudiada (La Francia, California).
- FIGURA 3. Localización geológica. Macizo de Santander.
- FIGURA 4. Diagrama que muestra la frecuencia de los rumbos de las diaclasas, sobre 61 datos.
- FIGURA 5. Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para cobre.
- FIGURA 6. Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para plomo.
- FIGURA 7. Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para zinc.
- FIGURA 8. Histograma y curva de distribución de frecuencias acumuladas para plata.
- FIGURA 9. Diagrama de correlación Zn/Ag.
- FIGURA 10. Diagrama de correlación Cu/Ag.
- FIGURA 11. Diagrama de correlación Pb/Ag.
- FIGURA 12. Ilustración esquemática del principio de medida de la resistividad de la Tierra.
- FIGURA 13. Diagrama simplificado del equipo de trabajo utilizado.
- FIGURA 14. Medidas galvánico-resistivas.

MAPAS

- MAPA NÚMERO 1. Mapa geológico.
- MAPA NÚMERO 2. Mapa geoquímico para cobre.
- MAPA NÚMERO 3. Mapa geoquímico para plomo.
- MAPA NÚMERO 4. Mapa geoquímico para zinc.
- MAPA NÚMERO 5. Mapa geoquímico para plata.
- MAPA NÚMERO 6. Mapa geoquímico para arsénico.
- MAPA NÚMERO 7. Mapa galvánico-resistivo.

RESUMEN

Utilizando el método geofísico galvánico-resistivo integrado con el geoquímico (suelos), fue posible definir dos zonas anómalas en el área de California (Santander), una de las cuales coincide con la mina abandonada de "La Francia" y la otra está situada al oriente del sitio denominado "La Plata". Esta última localidad, desconocida hasta el momento, tiene características geofísicas y geoquímicas similares a la localización de "La Francia".

Se registraron resistividades del orden de los 8 kiloohmios-m en las zonas de alteración hidrotermal (silicificación) de los pórfidos tonalíticos, descendiendo hasta los 9 ohmios-m sobre la mineralización conocida, controlada estructuralmente por fracturas y zonas de cizallamiento.

La prospección geoquímica se basó en el análisis de los elementos Cu, Pb, Ag y Zn por absorción atómica y el As por el método de Gutzeit modificado. El tratamiento estadístico para estos elementos logró registrar cantidades altas en plata más que en cualquier otro elemento analizado.

Las isógradas geoquímicas para cada elemento tratado se ajustan como anomalías en las dos zonas descritas anteriormente.

INTRODUCCION

El propósito de este trabajo es la correlación de métodos de Prospección geoquímica y geofísica para comprobar la posible existencia de mineralizaciones auroargentíferas en la región de La Francia, Municipio de California (Santander).

El trabajo de campo se realizó en tres etapas, con una duración máxima de 40 días. La preparación y análisis de muestras y la elaboración del informe, se realizó en 60 días.

A. Localización.

El área de estudio pertenece al distrito minero de California, ubicado en el Departamento de Santander (Fig. 1). La región hace parte de la vertiente SW de la Cordillera Oriental, sobre la quebrada La Plata, afluente del río Vetas, entre las coordenadas $X = 1.302.000$, $Y = 1.127.000$ y $X = 1.304.000$, $Y = 1.132.000$, con una extensión de 10 km², correspondientes a la parte central de la plancha 110-I-C del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

B. Datos geográficos.

El Municipio de California comprende en su mayor parte páramos, los cuales incluyen varias lagunas de tipo glacial. Las aguas corrientes son abundantes debido a las grandes precipitaciones en los páramos. En la zona de trabajo, la quebrada La Plata forma un valle estrecho, con altitudes comprendidas entre 2.700 y 3.200 metros.

El terreno es inapropiado para actividades agropecuarias debido a lo abrupto del relieve, por lo que el área cultivada está muy restringida. Los pobladores de la región son en su mayoría mineros, dedicados a esta actividad desde los tiempos de la Colonia.

California está comunicada con Bucaramanga por una carretera de 54 kms, la cual sigue paralela al río Suratá. Las veredas de La Plata



y La Francia están unidas a California por un camino de herradura que sigue el curso del río Vetas (Fig. 2).

C. *Literatura existente.*

El distrito minero de California ha sido trabajado desde antes del siglo XVI. La literatura reciente sobre los depósitos económicos de esta zona es limitada, aunque se han efectuado algunos estudios por parte de geólogos nacionales y extranjeros, sobre la geología y la geoquímica del área. No se conocen estudios de carácter geofísico.

La zona aurífera de California y Vetas ha sido estudiada por ARCE (1955), NELSON (1955), BUENO (1955), CHAMPETIER DE RIBES Y ALVAREZ (1961), WOKITTEL (1954). No ha habido un muestreo detallado, salvo algunas muestras obtenidas por BUENO (1955) e INGEOMINAS (1971).

Los autores del presente trabajo agradecen a todas las personas cuya colaboración ha sido importante para su realización, en particular a los profesores doctores Jaime Galvis V. y Luis A. Briceño, del Departamento de Geología y al doctor José Velásquez, del Departamento de Química de la Universidad Nacional; igualmente, a los geólogos y auxiliares del Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras (INGEOMINAS), regional de Bucaramanga.

METODOS DE ESTUDIO

La cartografía geológica local fue la base para la prospección geoquímica y geofísica. A partir de un filón conocido (mina La Francia) se tomaron los datos. Los resultados obtenidos permitieron el desplazamiento a otros puntos, para comprobar la existencia de una nueva mineralización. El trabajo comprendió una primera etapa de cartografía geológica (escala 1:10.000), estudio de la frecuencia de rumbos de las diaclasas, la mineralización y sus características; una segunda etapa de muestreo geoquímico en suelos cada 40 metros, sobre 9 traversas de dirección aproximada N 70° W (perpendicular a la dirección de las diaclasas). Se muestrearon 71 localidades, utilizando el horizonte B. Una tercera etapa de prospección galvánico-resistiva, utilizando el método de perfiles horizontales, para determinar las variaciones de resistividad aparente en una dirección horizontal dada; se efectuaron lecturas cada 20 metros, empleando el arreglo de Wenner ($a = 10$). Una cuarta etapa comprendió los análisis de laboratorio y el procesamiento de los datos.

GEOLOGIA REGIONAL

Desde el punto de vista geológico, la región pertenece al antiguo macizo de Santander, localizado en la Cordillera Oriental de Colombia donde ésta se ramifica, para formar al Este la Cordillera de Mérida y al N.N.E. la Serranía de Perijá (Fig. 3).

Las rocas cristalinas del macizo de Santander son predominantemente metasedimentarias y metaígneas (neis de Bucaramanga y Formación Silgará) intruidas por cuerpos plutónicos que varían en composición de diorita a granito de edad mesozoica. Estas rocas del núcleo tienen en sus flancos rocas sedimentarias que varían en edad de Devónico a Terciario (GOLDSMITH et al., 1971).

Las determinaciones radiométricas indican que las rocas más antiguas corresponden al Precámbrico (neis de Bucaramanga).

El macizo de Santander constituye un bloque levantado cuyo límite W es la falla de Bucaramanga (JULIVERT, 1970) que gradualmente viene a ser menos importante hacia el sur y se pierde dentro del macizo.

La falla de Bucaramanga se ha relacionado con la falla de Santa Marta y se ha considerado como una falla de rumbo ("strike slip fault") (RAASVELT, 1956), que choca con la falla de Oca en la Guajira. Esas fallas menores dentro del macizo se pueden reconocer fácilmente por la distribución de las rocas cretáceas externas que están controladas por éstas. En el flanco W del macizo, en la región Matanza-California, hay algunas rocas mesozoicas falladas (Cretáceo y el Grupo Girón); en su totalidad, las fallas están orientadas en el sentido Norte-Sur.

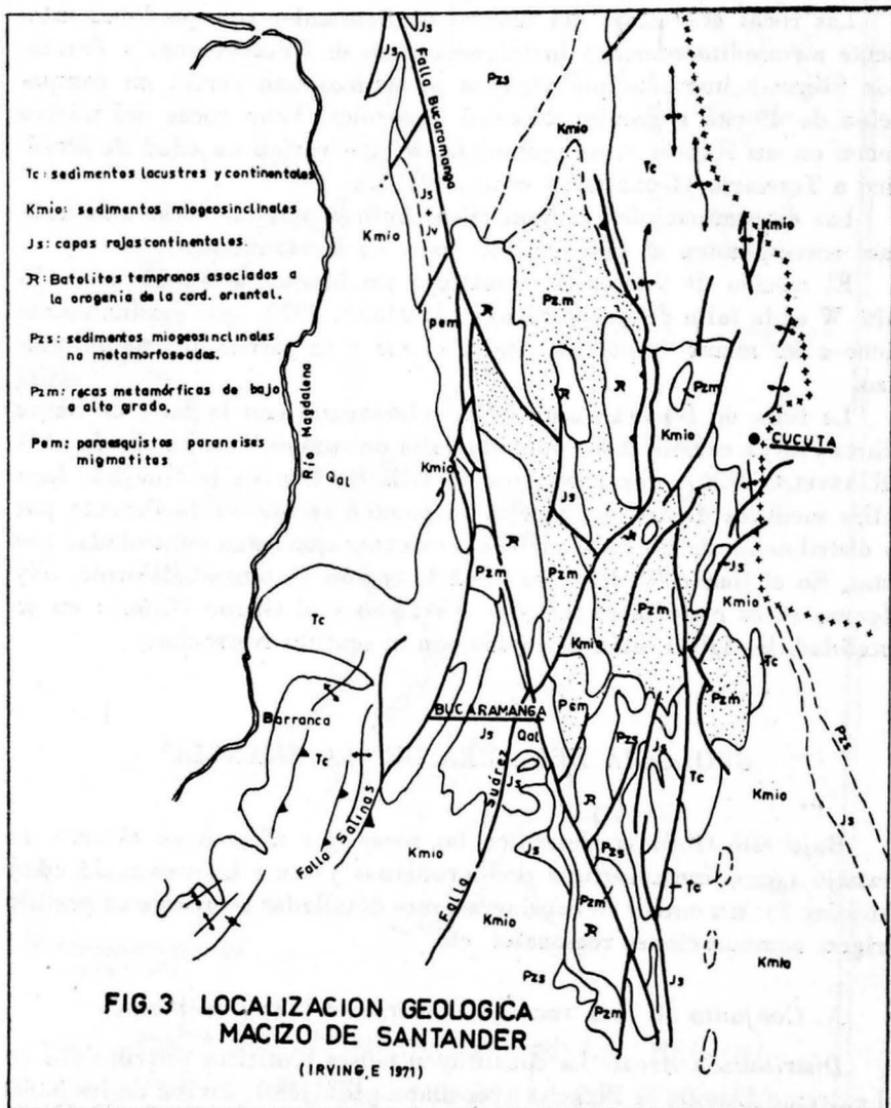
GEOLOGIA DEL AREA DE "LA FRANCIA"

Bajo este título se describen las rocas que afloran en el área de trabajo (rocas metamórficas pre-devonianas y rocas intrusivas de edad Jurásico ?), sin entrar en consideraciones detalladas acerca de su posible origen, comparaciones regionales, etc.

A. Conjunto A. Las rocas metamórficas (Pre-Devónico).

Distribución Areal: La constituyen neises biotíticos distribuidos en el extremo Este de la Plancha (ver mapa geológico), arriba de los 3.000 mts. Se encuentran bien expuestos sobre las quebradas Pancho de la Cruz, Malpaso y en la localidad de Mesetón.

Descripción Petrográfica: Los neises tienen una estructura foliada de grano grueso compuesta de cuarzo, feldespato y biotita, de aspecto



masivo, colores oscuros, debido al predominio de estos minerales y al grado de meteorización.

Este cuerpo metamórfico está intruido por filones de cuarzo a manera de inyecciones ácidas desordenadas. Los rumbos de la foliación de esta roca son Norte-Sur a Norte-Este.

Del análisis de las secciones delgadas (RC 14 y RC 13) se observa la biotita en bandas semiparalelas, más o menos abundante y con pleocroísmo típico de carmelito oscuro a amarillo profundo. El cuarzo, en igual cantidad, se presenta en bandas de segregación; la plagioclasa maclada es de composición An_{12} Albita. Como minerales de alteración están la clorita y la sericita.

Es interesante observar, no solo macro sino microscópicamente, cómo estas rocas homogéneas desarrollan porfiroblastos de feldespatos y son convertidas en "augen neis" por metasomatismo alcalino, debido a la cercanía al cuerpo tonalítico del área.

Espesor: No fue posible medir el espesor de este cuerpo puesto que no se conocen claramente las relaciones con las rocas supra e infrayacentes.

Relaciones con las rocas adyacentes: Estas rocas están afectadas por un intrusivo de carácter granítico hipoabisal. Este cuerpo de textura porfirítica gruesa se transforma en porfirítico de grano fino en su contacto con las rocas metamórficas (resultantes del enfriamiento del magma líquido). Localmente se presentan xenolitos y techos de neises sobre este intrusivo.

Significado geológico. Edad: Los neises aflorantes en el área pertenecen al conjunto litológico denominado "Neis de Bucaramanga". Las determinaciones radiométricas indican que son las rocas más antiguas del macizo, correspondientes al Precámbrico e incluyendo además migmatitas. Estas rocas fueron probablemente parte del Precámbrico del escudo guayanés (WARD et al., 1970).

GOLDSMITH et al. (1971, p. 7) indican que las rocas que conforman el núcleo del macizo (o neis de Bucaramanga) son "una secuencia gruesa de vacas geosinclinales, shales y probablemente rocas volcánicas metamorfosadas en alto grado y en parte migmatíticas de edad Pre-Devoniano...".

B. Conjunto B. Las rocas intrusivas (Jurásico?).

Distribución areal: Constituido por un cuerpo tonalítico de gran extensión no solo dentro sino fuera del área de estudio. Aflora en la mayoría de los caminos (camino a California y camino a Vetas) y especialmente sobre la quebrada La Plata y el río Vetas.

Litología: Formado en su mayoría por una roca de carácter ácido, de texturas porfirítica a fanerítica media. Los porfiroblastos son de cuarzo bipiramidal (15%) y feldespato K (13%); los demás componentes son plagioclasa (1/3 del total de la roca); biotita (1/4 del total de la roca); hornblenda (1/4 del total de la roca); prácticamente no hay piroxenos. La roca corresponde a un pórfido tonalítico (muestras RC12, RC28).

Los feldespatos generalmente están alterados por meteorización. El contenido de hornblenda y biotita varía localmente, orientándose sus cristales cerca al contacto con las rocas metamórficas (textura proclástica) (RC3), tomando el carácter de una cuarzodiorita hornbléndica.

La composición de este intrusivo varía localmente, debido a la fuerte silicificación, en donde prácticamente los feldespatos están ausentes. Forma la topografía más abrupta.

Relaciones con las rocas adyacentes: Este cuerpo produce un contacto intrusivo con las rocas metamórficas del conjunto A.

Observaciones microscópicas: Se hizo el análisis modal de varias secciones delgadas para hacer notar la variación en textura y composición de las rocas. La tonalita tiene textura porfirítica a hipidiomórfica granular, constituida por cuarzo euhedral y en menor proporción anhedral (15%). La ortosa con macla de Carlsbad, presenta un $2V = 70^\circ$ y está oscurecida por alteración (5%) incipiente. La plagioclasa (50%) posee maclas de albita y periclina, su composición es de An_{43} (andésina). La gran mayoría de las plagioclasas están sonadas oscilatoria y sus bordes mirmequitizados.

Es interesante anotar la profilitización de las plagioclasas en calcita masiva secundaria, común en todas las rocas de la región (RC21, etc.). Además, cercano al filón de La Francia este intrusivo presenta sus plagioclasas totalmente sericitizadas (alteración hidrotermal) (RC4).

La hornblenda, en una proporción del 20% es de color verde y su pleocroismo de amarillo verdoso a verde oliva y verde oscuro. Su porcentaje varía localmente (RC3, RC2B) y llega hasta un 40% del total de la roca. Posiblemente hay un reemplazo parcial de hornblenda por biotita (RC18). La biotita en un 15% está totalmente cloritizada por meteorización. La muscovita está muy subordinada.

Las rocas porfiríticas tienen una matriz felsosídica (intercrecimientos de cuarzo y feldespato) con microcristales de segunda generación, algunos de los cuales se hallan reemplazados por calcita.

Los minerales de alteración más comunes son la caolinita, sericita y clorita. Los sulfuros euhedrales, apatito y esfena diseminados constituyen los minerales accesorios más importantes (5%).

A través de las secciones delgadas es común observar el enriquecimiento progresivo en sílice, hasta el punto de que los máficos y las plagioclasas de la roca original desaparecen (RC 12).

Origen y significado geológico: El magma que dio origen a los pórfidos fue intruido forzosamente en las rocas encajantes, como puede observarse por la presencia de techos y xenolitos de neises.

Los fenocristales de cuarzo y feldespato parecen haber cristalizado tempranamente bajo condiciones de enfriamiento lo suficientemente lentas para permitir un buen desarrollo. Muchas muestras presentan cuarzo y feldespato en la pasta, insinuando que las condiciones de rápido enfriamiento al emplazarse cerca a la superficie impidieron el crecimiento de grandes cristales y que los ya formados fueron llevados por el magma, formando así la facies tonalítica.

El cuerpo intrusivo aflorante en el área de trabajo sería de carácter epizonal, si se tiene en cuenta la zonación de las plagioclasas, ya que esta última fase de intrusión (epizonal) se caracteriza por "la presencia de contactos agudos y discordantes", además de tener los "bordes enfriados y desarrollar metamorfismo de contacto con la roca encajante" (HYNDMAN, D. W., 1972, pp. 140).

Los mapas geológicos publicados hasta el presente (INGEOMINAS, Zona III) le asignan a este conjunto de rocas, una edad Jurásica, pero no se han hecho las mediciones radiométricas pertinentes para comprobar esta edad.

Recientemente algunos geólogos del INGEOMINAS, seccional de Bucaramanga, han reportado apófisis y diques de esta roca porfirítica que intruye las rocas cretáceas de la región (Form. Tambor hasta la Form. Rosablanca), planteando así una posible edad terciaria o al menos cretácea para estos cuerpos.

Cerca a la confluencia de los ríos Vetas y La Baja (Fig. 2) se ha cartografiado un intrusivo de carácter granítico a cuarzomonzonítico (Cuadrángulo H-13, Pamplona, INGEOMINAS), pobre en máficos, de grano fino a medio y localmente porfirítico. Probablemente es el mismo cuerpo que aflora en el área de La Francia, si se tiene en cuenta su gran variación en composición y textura.

C. Mineralización de La Francia.

El filón conocido con el nombre de La Francia (véase mapa geológico) ocurre dentro de las tonalitas. Tiene un rumbo aproximado N 15 E y buzamiento de 65° al W. Hay varios socavones, siendo el más importante el túnel número 5 sobre el camino que conduce a la casa de "La Francia". Los demás están derrumbados debido posiblemente a trabajos antiguos de minería.

El filón tiene un espesor aproximado de 0.80 mts. Está constituido por cuarzo mineralizado con pirita finamente diseminada en cristales pequeños; en menor proporción galena argentífera y esfalerita de hábito masivo. La salbanda es angosta.

La pirita es aurífera, pero no hay criterios para saber las condiciones en que se encuentra ese oro libre dentro de la pirita. Según la relación Au/Ag, de algunas muestras colectadas en la mina, y teniendo en cuenta las características del depósito y la mineralización en sí (BUENO, J., 1955) se formula la hipótesis de que este depósito se formó bajo condiciones de temperatura y presión moderadas a bajas o sea es un yacimiento de carácter epitermal.

Las muestras del filón en sección delgada presentan varias generaciones de cuarzo, que se manifiestan por la disparidad en el tamaño de los cristales; hay cuarzo criptocristalino y anhedral, y el último pertenece a la roca original. Algunos otros cristales están reabsorbidos en sus bordes.

Se nota además fuerte sericitización del filón (RC T-5). Algunas muestras manifiestan alteración hidrotermal con reemplazo parcial de las plagioclasas por calcita y de anfíboles por clorita. Algunos anfíboles de la roca original no alcanzaron a ser reemplazados totalmente (RC T 5A) por la sílica que acompañó el emplazamiento del filón.

Posiblemente durante el proceso de alteración de los ferromagnesianos hubo desprendimiento de hierro el cual se combinó con el azufre añadido a la roca encajante por los flúidos mineralizantes, formando la pirita. En donde la alteración hidrotermal es fuerte, la roca toma una coloración clara a blanca, debido a la abundancia de minerales claros como cuarzo, plagioclasa y sericita, al reemplazar los minerales oscuros.

Es muy probable que las soluciones hidrotermales que depositaron los filones de fuentes magnéticas residuales de la cristalización de los pórfidos tonalíticos, tenían abundante cantidad de agua, azufre, CO₂ y que fueron las responsables del grado de alteración hidrotermal de las rocas de California.

Estructuralmente la mineralización está controlada por fracturas cuyos espacios abiertos han servido para la circulación y deposición de los mineralizantes.

Con la finalidad de conocer la relación que existe entre el sistema de fracturas del intrusivo de La Francia y el rumbo dominante del filón, se procedió a cartografiar los sistemas de diaclasas predominantes en el área de trabajo (véase mapa geológico). Estas en su mayoría estaban rellenas de material arcilloso-cuarzoso y sus aberturas oscilaban entre los 3 y 5 cms.

Como se puede observar sobre el diagrama de frecuencia de rumbos de estas diaclasas (Fig. 4), hay una dirección dominante de las fracturas

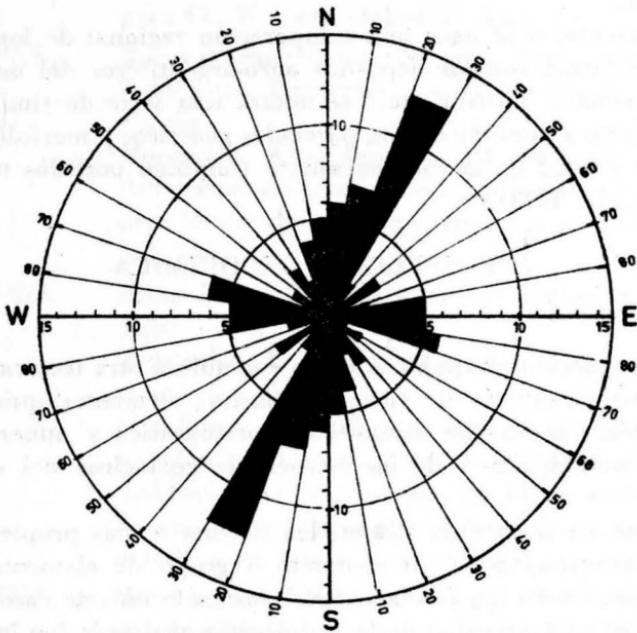


FIGURA 4: DIAGRAMA QUE MUESTRA LA FRECUENCIA DE LOS RUMBOS DE LAS DIACLASAS, SOBRE 61 DATOS.
 (prospección geoquímica y geofísica en "Lo Francia", California)

entre los 20 y los 30 grados al NE, orientación que coincide más o menos con la observada en el yacimiento conocido.

Se nota además que las fallas mayores de la región (como la de Cutilla a 3 km al E de La Francia) tienen dirección N a NE (Plancha H-13, INGEOMINAS); es razonable interpretar los filones de La Francia como resultado de esfuerzos tensionales en un sistema de cizallamiento NE.

Finalmente, si se hace una comparación regional de los yacimientos de California con los depósitos auro-argentíferos del oeste colombiano (Marmato, Titiribí, etc.) se notará una serie de similitudes, no sólo en cuanto a mineralización, parecidos genéticos y morfológicos, sino en el tipo y edad de la roca encajante (también pórfidos tonalíticos) (CARVAJAL, L., 1973).

PROSPECCION GEOQUIMICA

A. *Objetivos.*

La prospección geoquímica, como cualquiera otra técnica geológica, debe reunir el estudio de varios o muchos elementos químicos, con investigación paralela de composición petrográfica y mineralógica de muestras individuales y de las estructuras geológicas del distrito estudiado.

Se basa en la medida sistemática de una o más propiedades químicas (concentración de un elemento o grupo de elementos) de un material que ocurre en forma natural (el suelo en este caso).

El objetivo primordial de la prospección realizada fue la búsqueda de metales en diferentes partes de un depósito conocido y su posible extensión para el hallazgo de nuevos yacimientos.

B. *Suelos.*

Los suelos de la región de La Francia presentan algunas características que es necesario describir para la mejor comprensión de los resultados geoquímicos allí obtenidos.

El suelo es de tipo residual y en casi todos los puntos muestreados se observan los horizontes A-B-C, cuyos espesores son variables.

El horizonte B es la zona de mayor acumulación de minerales de arcilla, óxidos de Fe-Mn y material orgánico, por ello este horizonte se eligió para el muestreo.

El color de este horizonte en la región es castaño claro a oscuro, presenta signos de oxidación y su espesor es de 15 cmts.

El horizonte C presenta material meteorizado, fragmentos de roca y cuarzo bipiramidal cuyo tamaño varía de unos pocos milímetros hasta varios cmts. El espesor es de 60 cmts.

C. *Características geoquímicas de los elementos muestreados*
(HAWKES, H., WEEB, J., 1962).

- ARSENICO:** Rocas ígneas félsicas: 1.5 ppm; *Suelos:* Av. 5; rango, 1-50 ppm. *Asociación:* Calcófilo; Au, Ag, Eu, Co.
Aplicación en prospección: El contenido de As en los suelos ha sido usado en prospección como rastreador para Co, W y especialmente Au y Ag.
- COBRE:** Rocas ígneas félsicas: 30 ppm; *Suelos:* Av. 20; rango, 2-100 ppm. *Asociación:* Calcófilo; Pb, Zn, Mo, Ag, Au, Sb, Se.
Movilidad: Alta, donde el pH está bajo 5.5.
Aplicación en prospección: En suelos residuales sirve para buscar depósitos de cobre; en prospección biogeoquímica.
- PLOMO:** Rocas ígneas félsicas: 48 ppm; *Suelos:* Av. 10; rango, 2-200.
Asociación: Calcófilo; Ag en depósitos de metales preciosos, Fe, Zn, Cu.
Movilidad: Generalmente baja, limitada por la precipitación con materia orgánica y limonita.
Aplicación en prospección: El Pb en suelos residuales da una fuerte indicación de yacimientos ricos en Pb, debido a su relativa inmovilidad.
- PLATA:** Rocas ígneas félsicas: 0.15 ppm; *Suelos:* Av. 10.
Asociación: Calcófilo; Au, Sb, As, Pb, Zn en yacimientos de sulfuros.
Movilidad: Baja, limitada por la solubilidad del AgCl.
Aplicación en prospección: Por su asociación con el Au, la plata se usa como rastreador en estudios de oro en suelos.
- ZINC:** Rocas ígneas félsicas: 60 ppm; *Suelos:* Av. 50; rango, 10-300.
Asociación: Calcófilo; Cu, Pb, Ag, Au, Sb, As.
Movilidad: Moderadamente alta.
Aplicación en prospección: Como resultado de la fijación del zinc en los sesquióxidos y arcillas en suelos residuales, la prospección basada en el análisis de suelos para zinc es muy útil.

D. *Muestreo geoquímico.*

Se hizo una recolección sistemática de muestras de suelo, utilizando el horizonte B, en traversas separadas 100 metros y perpendicu-

lares a la dirección de las diaclasas. Las características geológicas locales, así como la topografía, drenaje y clima se tuvieron en cuenta tanto en el muestreo como en su análisis posterior.

E. Preparación de las muestras.

La preparación de muestras para el análisis geoquímico comenzó con secado en una mufla a 110°C durante 24 horas, tamizado en malla 100 (ASTM) y peso de 0.5 gramos de la fracción tamizada.

Se procedió a la digestión de la muestra en ácido nítrico al 20% en caliente; para los elementos Pb, Zn, Cu y Ag, y se llevó a volumen constante (25 mililitros). Este tratamiento pone en solución los iones de cada elemento que se desea determinar.

El método para la determinación del arsénico en suelos descrito por ALMOND (1953) se basó en la intensidad de una mancha, usando un aparato de Gutzeit modificado en que por acción del zinc, en una solución de ácido clorhídrico, el arsénico (III) se reduce a arsenita (AsH_3); este gas de arsina reacciona con una solución de cloruro mercuríco para formar un compuesto amarillo naranja. Se usaron patrones artificiales de manchas en base de yoduro de potasio. (LAKIN et al., 1963).

No se efectuó ningún tipo de análisis para el oro.

F. Análisis.

El método de análisis elegido fue el de espectrofotometría de absorción atómica, por considerarse actualmente uno de los procesos más sensitivos basado en la excitación de los átomos por el calor de una llama y la medida de la absorción causada por esos átomos que químicamente no están enlazados con la llama.

Se prefiere la disolución del ácido nítrico (HNO_3) para los elementos Cu, Pb, Zn, ya que el anión nitrato (NO_3^-) causa el mínimo de interferencia (WARD et al., 1969).

El aparato empleado fue un PERKIN ELMER modelo 303.

Las condiciones del aparato para el análisis de los elementos Pb, Zn, son:

Pb

Respuesta 10 — Escala 1 — Corriente 1.5 miliamperios.

Ganancia 4.8 — Rendija 4 — Rango UV.

Lambda = 325 milimicrones — Altura quemador 0.

Flujo aire = 5 — Acetileno 6 — Lecturas DCRI.

Zn

Respuesta 10 — Escala 1 — Corriente 15 miliamperios.

Ganancia 5.8 — Rendija 5 — Rango UV.

Lambda = 215 — Altura quemador 0.

Flujo aire = 5 — Acetileno 6 — Lecturas DCR1.

Las condiciones para Cu y Ag son:

Cu

Respuesta 10 — Escala 1 — Corriente 15 miliamperios.

Ganancia 4 — Rendija 4 — Rango UV.

Lambda = 320 — Altura quemador 0.

Ag

Respuesta 10 — Escala 1 — Corriente 15 miliamperios.

Ganancia 3.72 — Rendija 6 — Rango UV.

Lambda = 225 — Altura quemador 0.

Flujo aire = 5 — Acetileno 6 — Lecturas DCR1.

Las lecturas tomadas se leen directamente en partes por millón.

G. Interpretación de los datos geoquímicos.

Teniendo en cuenta los resultados de los análisis de suelos para los elementos indicados atrás, se procedió a efectuar los cálculos de "background", desviación aritmética y factor de correlación, para cada uno de los elementos estudiados.

Como se trata de delimitar áreas de suelos con concentraciones anómalas, para un elemento dado es de suma importancia determinar de la manera más precisa posible su "background" y "threshold" pues los valores seleccionados van a incidir directamente en los resultados definitivos del estudio geoquímico y en los pasos posteriores de la exploración.

Por estas razones todos los cálculos para definir estos valores se hicieron por procesos matemáticos y gráficos, basados en métodos estadísticos convencionales.

Tratamiento estadístico.

a) "Background" (B): Se llama "background" la abundancia normal de un elemento en material terrestre no mineralizado (HAWKES & WEBB, 1962, p. 30).

El cálculo matemático del "background" se hace de la siguiente forma: se seleccionan grupos continuos dentro de un intervalo aritmé-

tico con una amplitud conveniente de ppm. En el presente trabajo, los intervalos escogidos fueron de una amplitud de 10 ppm. para Pb, Zn, Cu y Ag.

Dentro de los grupos que contienen mayor número de muestras se encuentra la mediana; para determinar su valor exacto en ppm. se usa la fórmula:

$$B = G \cdot \frac{N/2 - Fe}{F_1} \cdot A$$

donde B = "Background".

G = Límite inferior del grupo mayor en ppm.

N = Número de muestras.

Fe = Frecuencia acumulada hasta el grupo anterior.

F₁ = Frecuencia del grupo mayor.

A = Amplitud del intervalo.

La desviación standard (sd) se calcula mediante la fórmula:

$$sd = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{N - 1}}$$

donde Δ es la diferencia entre el "background" y el contenido de metal de cada muestra en ppm ($\Delta = \text{background} - \text{análisis de la muestra en ppm.}$) y N = número de muestras.

La desviación aritmética (Da) está dada por la suma de los Δ , dividida por N:

$$Da = \frac{\sum \Delta}{N}$$

Factor de distribución (D). Este factor se halla para saber si la distribución de los elementos es normal:

$$D = \frac{\text{Desviación aritmética}}{\text{Desviación standard}}$$

Siendo normal el resultado se aproxima a un máximo de 0.792.

El "threshold" (T) es el límite superior de la fluctuación normal del "background" (HAWKES & WEEB, 1962, pp. 27). Cuando el factor de distribución de un elemento es normal, su "threshold" se calcula por las siguiente fórmula:

$$T = B + 2 \text{ sd}$$

Si no lo es, se agrega el factor $\frac{(\text{sd})^2}{B}$

Factor de correlación. Este factor indica las relaciones que pueden existir entre dos mineralizaciones.

Se halla colocando en papel logarítmico los resultados del análisis de cada muestra en ppm de un elemento contra otro sobre un sistema de ejes coordenados, en los cuales cada eje es la línea del "background" de cada mineralización; se consideran cuatro cuadrantes que se numeran en la dirección que siguen las manecillas del reloj, aplicándose con los resultados obtenidos la siguiente fórmula:

$$\rho = \text{Sen} \left[\frac{\pi \text{ lc} + 3\text{c} - 2\text{c} - 4\text{c}}{2 \text{ lc} + 2\text{c} + 3\text{c} + 4\text{c}} \right]$$

donde c = número de puntos colocados en cada cuadrante. Obtenido este valor puede deducirse que: $\rho = 1$, hay relación; $\rho = 0$, no hay relación; $\rho = -1$, hay relación inversa.

Proceso gráfico.

Histogramas: El histograma es un diagrama que resulta al colocar la frecuencia del grupo contra el límite superior de cada grupo (ppm.). (MIESCH, 1967).

Dentro del histograma se pueden presentar una o dos agrupaciones principales de valores denominadas poblaciones, casos en los cuales se llamarían unimodales o bimodales.

Los histogramas pueden ser asimétricos hacia la derecha o hacia la izquierda.

Curva acumulativa: Es un gráfico similar al anterior, pero donde la abscisa corresponde a una escala de probabilidades, y la ordenada a una escala logarítmica o aritmética según la distribución; se colocan las frecuencias acumuladas contra el logaritmo o límite de clase de las ppm. del elemento estudiado, resultando así una recta por medio de la cual puede hallarse el valor del "background" y el "threshold"; se pueden conocer así los límites para considerar anomalías posibles y probables con una buena aproximación a los valores calculados matemáticamente (LEPELTIER, 1969).

Mapas de anomalías geoquímicas.

Teniendo como base el mapa topográfico 1.5000 del área trabajada, se localizaron todos los puntos donde se colectaron las muestras, ano-

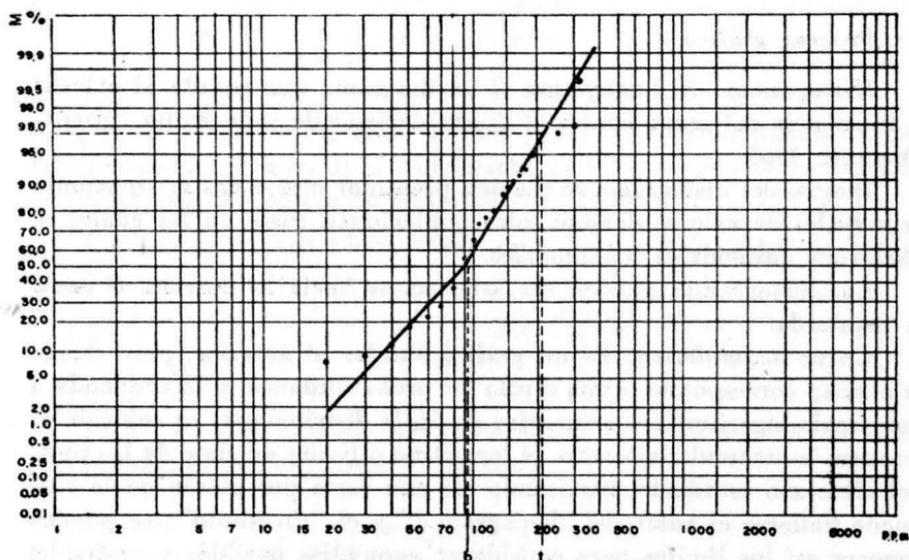
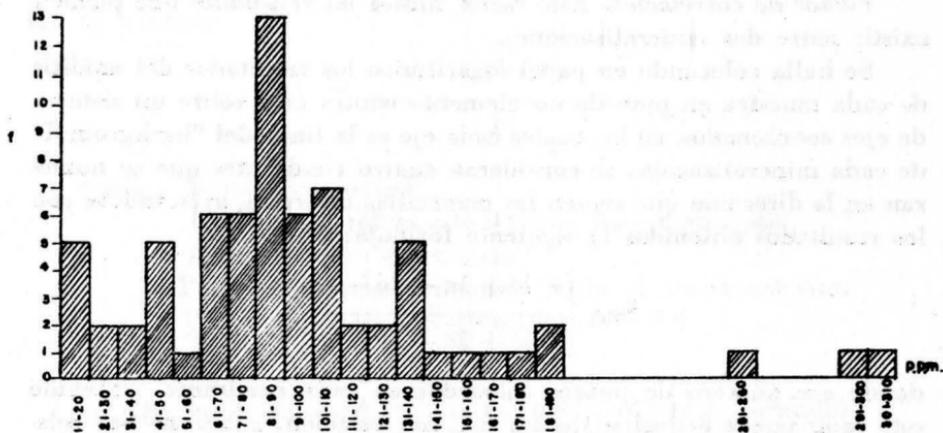


FIG 5. HISTOGRAMA Y CURVA DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS ACUMULADAS PARA COBRE EN 71 MUESTRAS

tando en cada uno el resultado del análisis de la muestra en ppm, de un elemento.

Con los resultados obtenidos en los cálculos efectuados para los valores de "background" y "threshold", se trazaron curvas isógradas geoquímicas que limitan las áreas incluidas dentro de dichos valores.

Las áreas localizadas por encima de los valores de "threshold" se consideran como anómalas.

H. Resultados.

El tratamiento estadístico se hizo matemática y gráficamente coincidiendo los resultados en su totalidad.

Los histogramas y curvas de frecuencia acumulada para plomo, cobre, zinc y plata se muestran en la figura 5 a 8. La mayoría de estos histogramas muestran una distribución normal, lo mismo el factor de distribución cercano a 0.7972; la plata muestra un histograma (Fig. 6) con una asimetría notable hacia la derecha, indicando que este elemento está presente en cantidad anómala.

Los parámetros estadísticos para los elementos analizados dieron los siguientes resultados:

ZINC

Background = 73.08 ppm. Threshold = 153.24 ppm.

PLOMO

Background = 51.93 ppm. Threshold = 91.5 ppm.

COBRE

Background = 95.01 ppm. Threshold = 200.58 ppm.

PLATA

Background = 18.97 ppm. Threshold = 89.19 ppm.

Las figuras 9 a 11 muestran diagramas de correlación entre el zinc, cobre y plomo respecto a la plata. El factor es positivo para estas tres asociaciones manifestando una mejor correlación con el zinc ($\rho = 0.5422$).

La elaboración de las curvas isógradas geoquímicas indican claramente dos zonas anómalas, una de éstas a 200 metros al este de la casa de "La Francia", de rumbo aproximado NE, correspondiente a la mina abandonada de "La Francia", y otra al NE entre la casa "La Plata" y la quebrada El Caney con rumbo aproximado N-S.

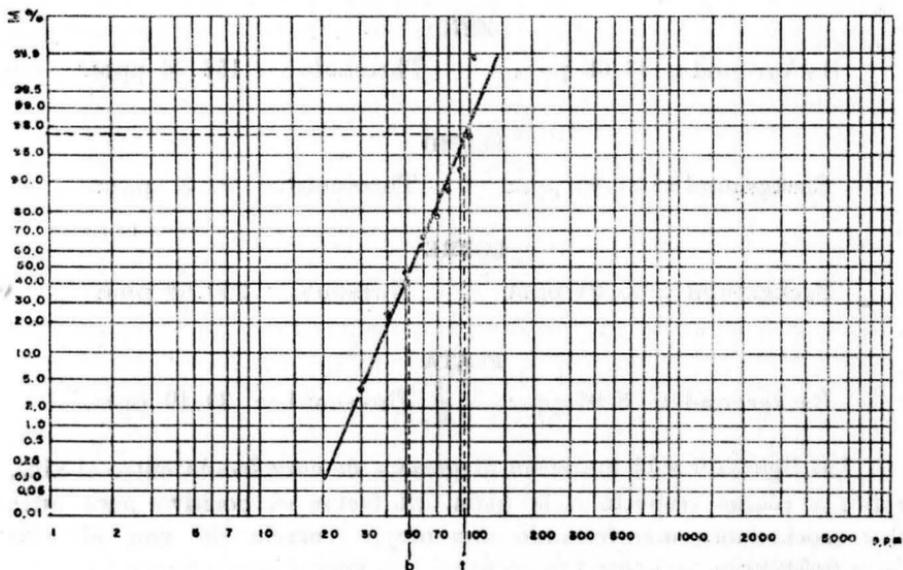
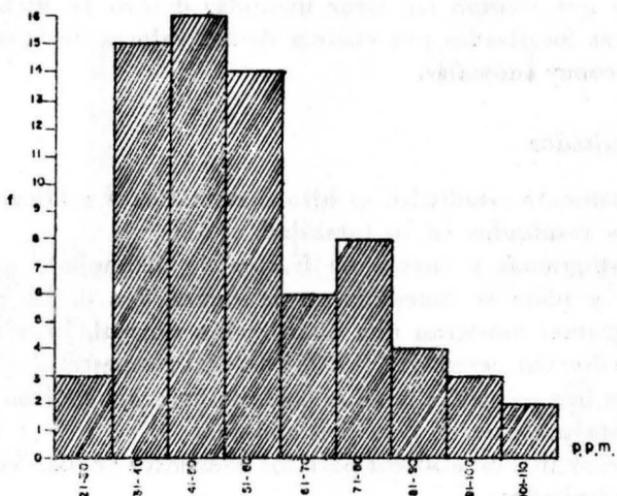


FIG 6. HISTOGRAMA Y CURVA DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS ACUMULADAS PARA PLOMO EN 71 MUESTRAS

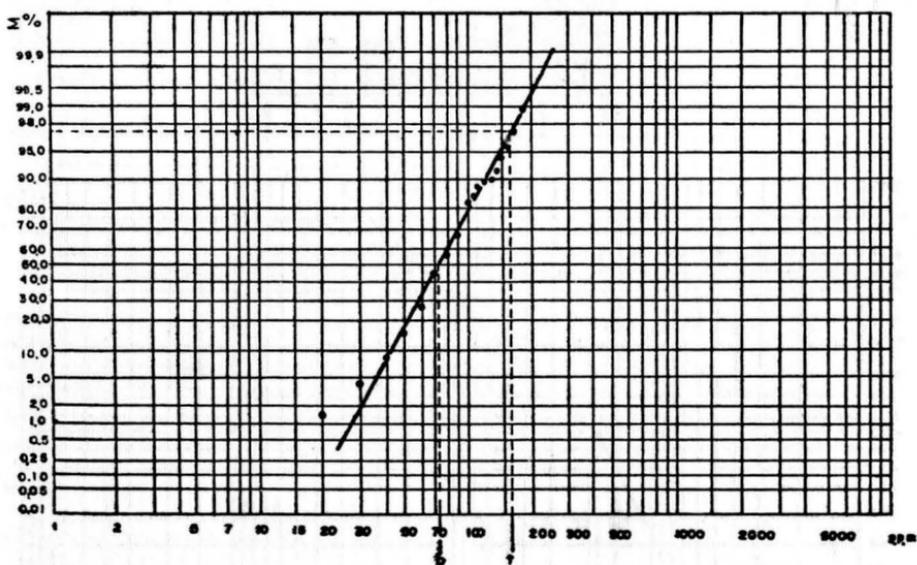
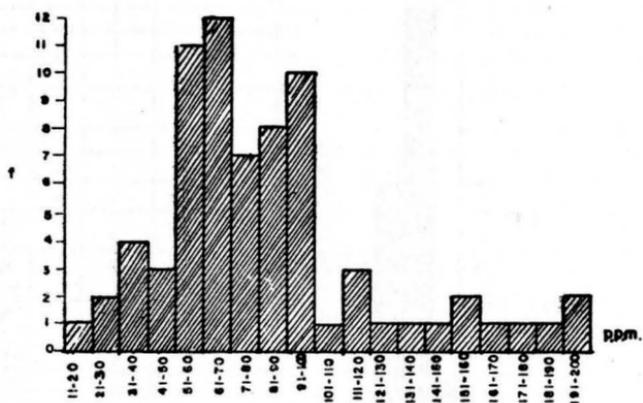


FIG. 7 . HISTOGRAMA Y CURVA DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS ACUMULADAS PARA ZINC EN 71 MUESTRAS

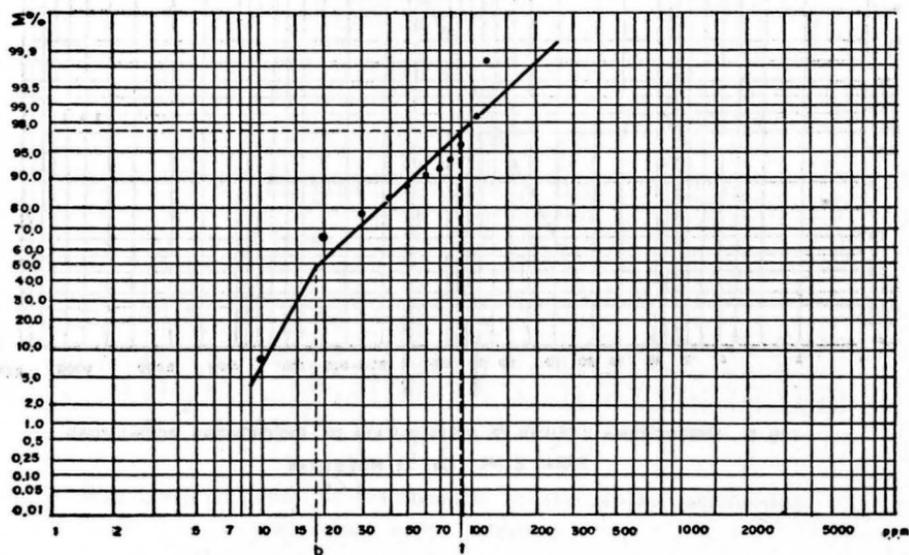
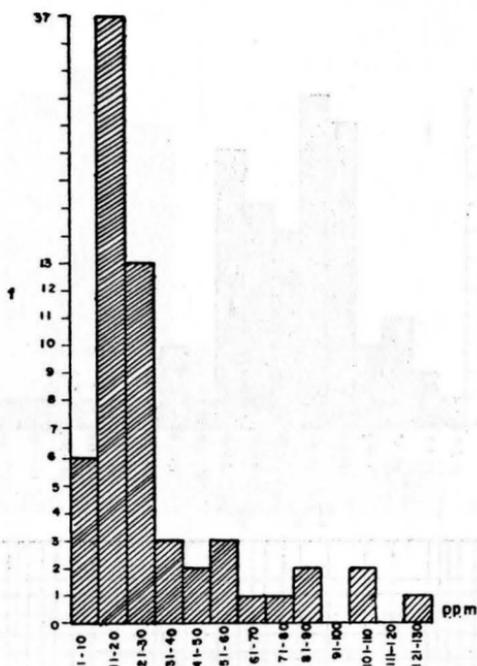


FIG 9 HISTOGRAMA Y CURVA DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS ACUMULADAS PARA PLATA EN 71 MUESTRAS

FIGURA 9.

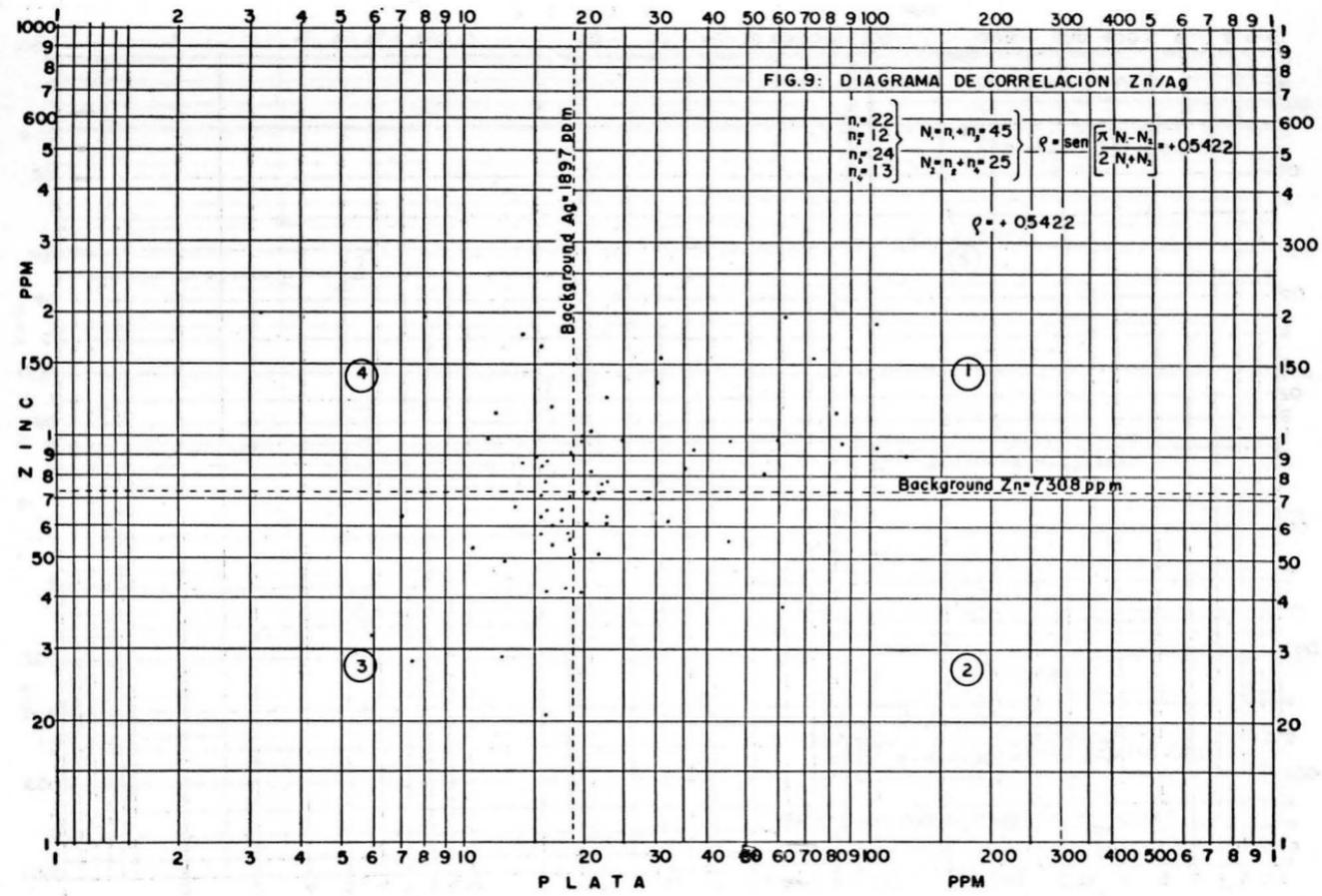


FIGURA 10.

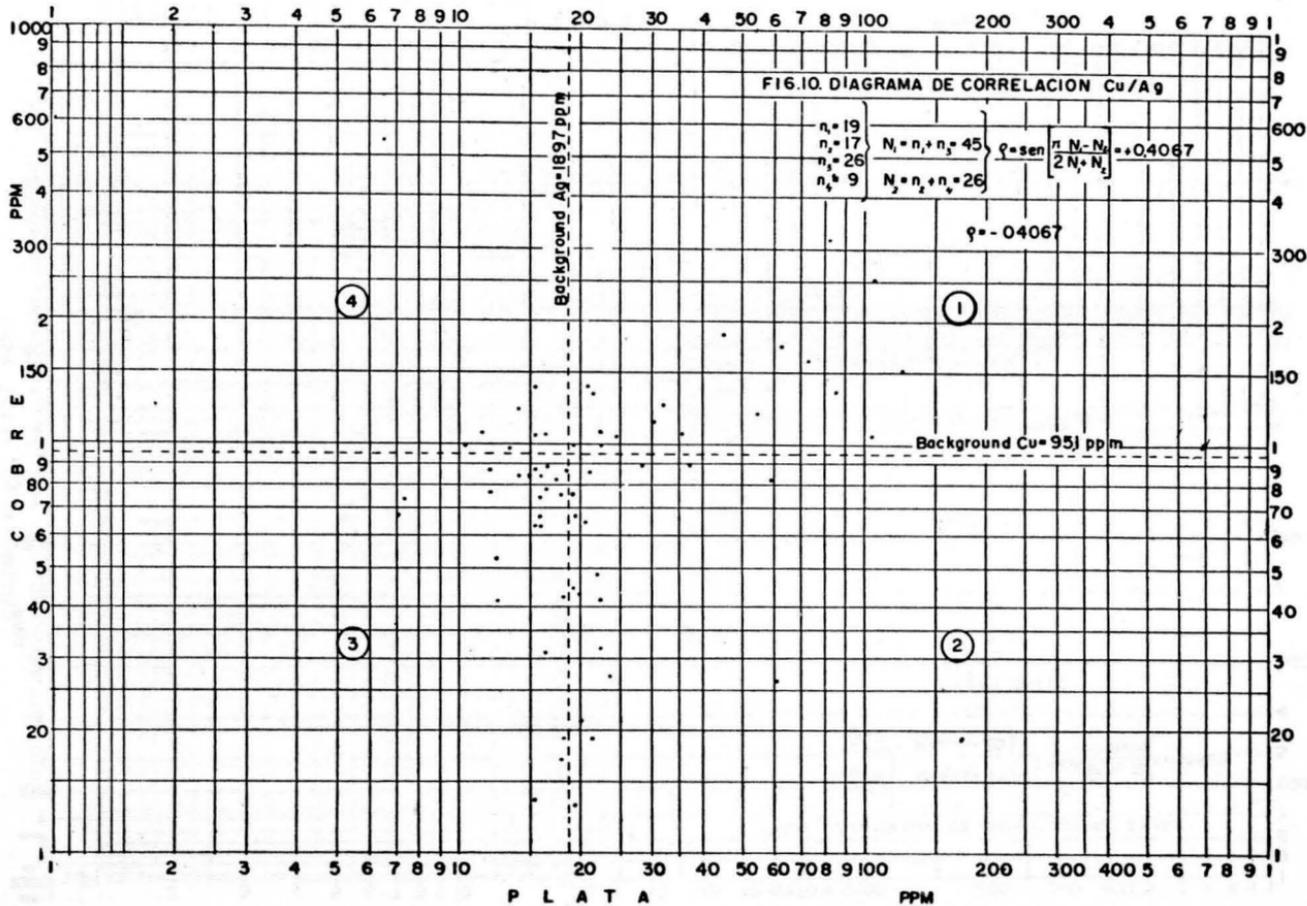
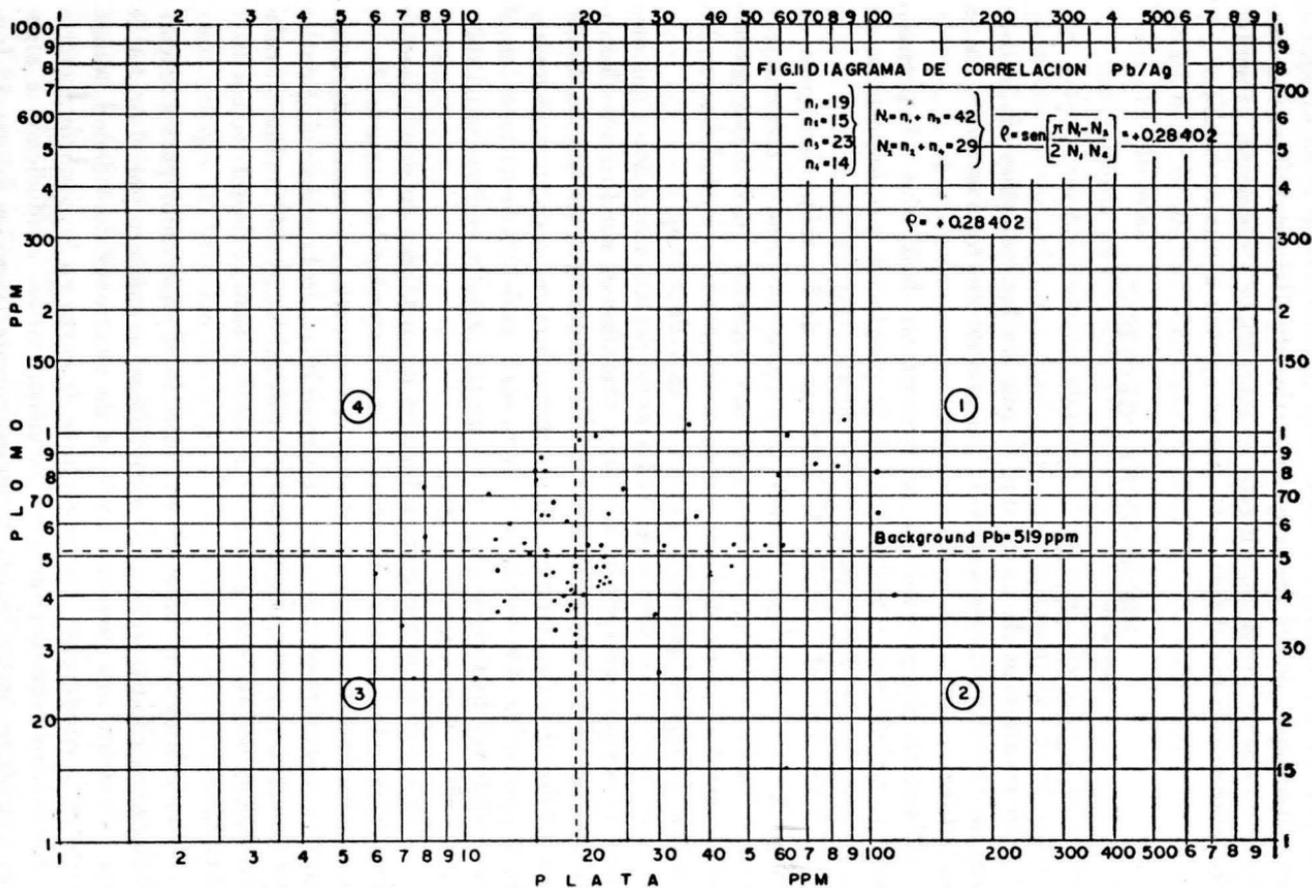


FIGURA II.



Estas anomalías se manifiestan para los elementos muestreados, pero con cierta amplitud para el zinc; y más estrechamente para la plata y el plomo.

El arsénico define una zona anómala sobre la mineralización abandonada, siendo menos manifiesta en "La Plata", donde se presentan concentraciones más bajas pero que se ajustan a una anomalía.

PROSPECCION GEOFISICA

A. *Introducción teórica.*

La resistividad de un medio es una de las tres propiedades que determinan el comportamiento de los campos electromagnéticos en un material.

Las otras dos propiedades son la constante dieléctrica y la permeabilidad magnética. La resistividad es la propiedad más importante en la determinación del flujo de corriente eléctrica.

La resistividad eléctrica de las rocas y de los minerales posee un rango bastante amplio y depende de un gran número de factores.

A continuación se consideran algunos aspectos teóricos que gobiernan la resistividad en las rocas y menas, siempre relacionándolas con los hechos geológicos que interesan en el área de trabajo.

Los materiales aflorantes en la zona pertenecen a los siguientes tipos de conductores: semiconductores electrónicos, conductores electro-líticos y dieléctricos o aislantes. Se debe anotar, que no hay un límite tan agudo entre los conductores y semiconductores o entre semiconductores y aislantes. La distinción en esta clase está basada no tanto en el valor de la conductividad como en su mecanismo de conducción (ANDERSON, 1960) (PARKHOMENKO, 1967).

Los semiconductores son materiales no metálicos en donde la conducción se efectúa por movimiento de electrones. La mayoría de los minerales de mena, óxidos, telururos, sulfuros, etc., son semiconductores. Interesan los siguientes rangos de variabilidad de la resistividad en los sulfuros que se citan a continuación: galena, 10^{-1} a 10^{-3} ohm-m; esferlerita, 1 a 10^{-4} ohm-m; pirita, 10^2 a 10^{-3} ohm-m; calcopirita, 1 a 10^{-4} ohm-m.

Los valores muy bajos de conductividad observados para semiconductores en comparación con los metálicos, se explican por el hecho de que solamente una pequeña fracción de electrones de valencia toman parte en la conducción. Los portadores de carga en los semiconductores y dieléctricos están activados en la misma forma, conduciendo a algunas similitudes entre los dos grupos de materiales. La diferencia fundamental está en la movilidad de esos portadores de carga. Los electro-

nes se pueden mover más libremente sobre las barreras de energía entre átomos, mientras que los iones tienen muchas más barreras para vencer o superar en el movimiento de una posición reticular a otra.

Los materiales dieléctricos están representados en el presente caso por rocas y minerales formadores de rocas. Es bien conocido que la conductividad de las rocas varía sobre límites amplios más que cualquiera de las otras propiedades físicas. Sin embargo, la mayoría de los minerales son aislantes.

La corriente en un material dieléctrico se transporta no solamente por iones (caso más común) sino por electrones. El cuarzo y el feldspato son dos ejemplos de materiales en que la naturaleza de la conductividad depende de la intensidad del campo. En campos débiles, la conducción se hace por iones, mientras que en presencia de campos fuertes, la conducción es por electrones. Para comprender cabalmente los criterios de distinción entre los varios mecanismos de conducción es necesario tener en cuenta la Ley de Faraday, el efecto Hall y las fuerzas electrodinámicas.

Muchos autores (PARASNIS, 1966; SLICHTER, 1955; MUSKAT, 1960; SEIGEL, 1952) dan tablas de rangos de variación de resistividad en los materiales dieléctricos, como es el caso de las rocas graníticas, en relación con la edad y la litología. Así, rocas graníticas, de edad mesozoica, cuya porosidad es tan baja que no tienen contenido de agua poral, tienen resistividades del orden de los 500 a los 2.000 ohm-m.

Finalmente, un hecho típico observado en las rocas ígneas intrusivas está dado por las variaciones de resistividad local, determinadas en gran proporción por la presencia o ausencia de fracturas llenas de material conductor. En estos casos la conducción es electrolítica, y el medio conductor es una solución acuosa de sales comunes. La resistividad dependerá por lo tanto de la cantidad de agua presente, su salinidad y forma de distribución dentro de las fracturas.

Se han establecido patrones teóricos de conducción eléctrica para rocas con sistemas de fracturas orientadas en determinadas direcciones. Así, por ejemplo, para tres sistemas de fracturas ortogonales (caso en que el flujo de corriente es siempre en ángulos rectos a uno de los tres sistemas de fracturas) este patrón muestra un máximo de resistividad cada vez que la dirección del flujo de corriente es normal a una de las direcciones de fractura. Este patrón se cumple también en casos de otros conjuntos orientados de fracturas (KELLER et al., 1960, VAN NOSTRAND & COOK, 1969).

B. Instrumentación.

El equipo utilizado para hacer las medidas de resistencia eléctrica es producido por la firma Geophysical Instrument Supply Company

(Gisco), con especificación técnica ABEN AC Terrameter. Consta de dos cajas metálicas livianas, compactas y tropicalizadas: la caja G N° 5312 y la V N° 5311.

La caja G proporciona la corriente (4 c.p.s.) mientras que la caja V posee los circuitos necesarios para medir la resistividad del terreno.

El principio básico para las medidas de resistividad con este equipo, es el de una corriente controlada que pasa entre dos electrodos colocados en el terreno a una distancia determinada, mientras que se mide la diferencia de potencial entre otros electrodos (dos en el presente caso), localizados en el área de investigación (Figs. 12 y 13).

El Tetrameter lee directamente la resistencia de la corriente en el terreno. Multiplicando la resistencia obtenida en cada medida, por un factor geométrico apropiado a la configuración y separación de los electrodos ($2\pi a$ según el arreglo de Wenner para el caso actual), se obtiene una serie de resistividades aparentes.

La profundidad de penetración depende de la separación de los electrodos y se incrementa con la distancia entre ellos. Además hay que considerar la conductividad relativa, espesor de las rocas, variación lateral de la conductividad y en general la interferencia causada por conductores que están cerca a la superficie. En el presente caso se utilizó una configuración de electrodos, que suministró 10 mts. como máxima profundidad de penetración. El uso de ondas cuadradas de muy baja frecuencia de corriente alterna, para crear la diferencia de potencial, evita las dificultades debidas a la polarización de los electrodos y reduce los efectos capacitivos a un mínimo.

C. Métodos galvánico-resistivos.

En investigaciones geofísicas orientadas a la búsqueda de yacimientos minerales, se usan los métodos galvánico resistivos que sirven para medir la resistividad terrestre. Generalmente se usan dispositivos de cuatro electrodos no polarizables; los efectos del material cerca a los contactos de corriente pueden reducirse en gran proporción, evitando fenómenos de polarización en la tierra debido a las diferencias en la actividad química. La corriente viaja a través del par de electrodos externos y se miden las diferencias de potencial establecidas por esta corriente, entre dos electrodos internos. De esta manera se determinan las variaciones de resistividad aparente en una dirección horizontal (Fig. 13).

Si el terreno fuese homogéneo, sería posible calcular los potenciales y la dirección de la corriente, conociendo las posiciones de los puntos en donde ésta entra y sale. Bajo condiciones no homogéneas, tales como presencia de buenos y malos conductores, se deflectan las líneas de corriente y se distorsionan los potenciales normales.

PRINCIPIO DE MEDIDA

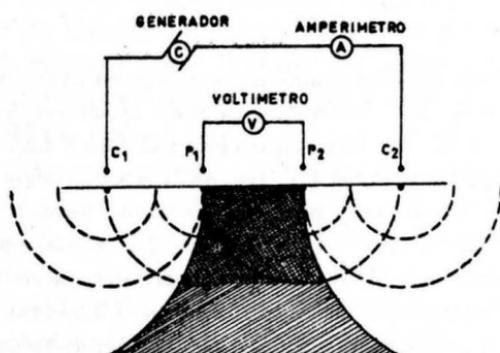
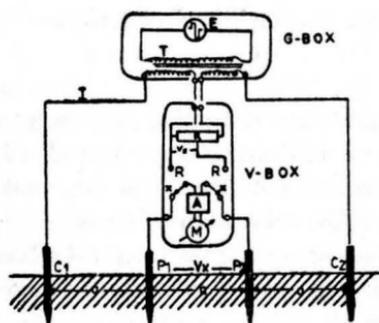


FIG 12. ILUSTRACION ESQUEMATICA DEL PRINCIPIO DE MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD DE LA TIERRA. LA PARTE SOMBREADA INDICA EL VO LUMEN CUYA RESISTENCIA ES MEDIDA. (HOWELL, 1956)



E: OSCILADOR TRANSISTORIZADO. T: TRANSFORMADOR

FIG 13: DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL EQUIPO DE TRABAJO UTILIZADO (ABEM AC TERRAMETER)

Partiendo de dos consideraciones teóricas básicas (ley de Ohm y ecuación de Divergencia de la Corriente) es posible combinarlas en una ecuación de Laplace que incluya funciones de potencial escalar y su gradiente y calcular el potencial total en un punto de observación.

Teniendo en cuenta la corriente que fluye entre dos electrodos, la diferencia de potencial entre los dos puntos de medida y las distancias entre los varios electrodos, se puede calcular la resistividad según la

$$\text{ecuación } \rho = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

Las cantidades de esta ecuación, que representan solamente el efecto de la separación de los electrodos, pueden apartarse y expresarse como factor geométrico K. En la prospección galvánica hay dos tipos de trabajo: el perfilaje horizontal (o "trench") y el sondeo eléctrico vertical (S.E.V.), empleándose en cada uno de estos casos una configuración preferencial de electrodos; es común en el perfilaje, usar el arreglo de Wenner, mientras que en los sondeos parece que se obtienen mejores resultados con el arreglo de Schlumberger (BHATTACHARYA & PATRA, 1968). Para el arreglo de Wenner, el factor geométrico es $2\pi a$, siendo a la distancia entre cada par de electrodos. Cabe anotar que el aparato utilizado en la realización del trabajo, mide directamente, mediante un

potenciómetro, la relación $\frac{\Delta V}{I}$.

D. Interpretación de los datos resistivos.

Resultados.

Los primeros datos de resistividad fueron interpretados por métodos empíricos que aún son utilizados. Otros métodos incluyen interpretación directa por transformación de los datos de resistividad en información geológica, utilizando fórmulas matemáticas.

Hay muchos ensayos o pruebas para calcular la conductividad eléctrica de los cristales o granos distribuidos a través de una matriz conductiva o resistiva.

Hasta el presente, los modelos que se han estudiado teóricamente incluyen granos conductivos en la forma de esferas con diámetros uniformes, elipsoides de revolución tridimensionales, cubos, etc., distribuidos a través de una matriz resistiva.

Las curvas de resistividad aparente o patrones teóricos pueden servir de base para sacar conclusiones generales no limitadas a cualquier problema específico y facilitan la escogencia de técnicas de campo en la exploración de cuerpos mineralizados y estructuras geológicas; por

ejemplo, está demostrado que un cuerpo aproximadamente esférico enterrado más profundamente que su radio, sería difícil encontrarlo con métodos de resistividad; que un perfil que corta el afloramiento de un dique vertical presenta por lo menos dos picos de resistividad y no uno como sería de esperarse (VAN NOSTRAND & COOK, 1967).

En la actualidad, las conclusiones acerca de la conductividad eléctrica de las rocas (y por consiguiente de su resistividad) han sido bosquejadas por una gran variedad de investigaciones. Estas incluyen composición mineral, fábrica, textura, tamaño, forma y distribución de los granos, contenido de líquido, etc., pero la mayoría de las correlaciones entre éstos y otros factores han sido insuficientemente establecidas; por lo tanto, una generalización a partir de un modelo creado, es incompatible en la práctica.

De acuerdo a lo expuesto, las anomalías eléctricas de los posibles conductores subterráneos en el área de La Francia, se dedujeron a partir de los contrastes fuertes de resistividad entre los conductores y la roca huésped; sin embargo, esos contrastes específicos se deben a factores tales como la variedad de fábrica de los sulfuros presentes, diseminación de los mismos, mineralogía, intercrecimientos, naturaleza y cantidad de la ganga, productos de alteración tales como óxidos, sulfatos y sales, fracturas, filtración de agua, etc.

Como se indicó en capítulos anteriores, los filones auríferos de la mina de La Francia presentan diversidad mineralógica; la galena argentífera y la esfalerita muestran hábito masivo; la pirita está finamente diseminada; el oro libre se presenta dentro de la estructura de la pirita y los productos secundarios están distribuidos a través del yacimiento.

Todos estos materiales se comportan como sulfuros semiconductores; los valores más bajos de resistividad dentro de un grupo de minerales semiconductores están representados precisamente por los anteriormente mencionados (PARKHOMENKO, 1967).

Si se considera una cantidad determinada de material de ganga (cuarzo en este caso), los granos de pirita observables pueden estar eléctricamente aislados unos de otros; en tal situación los cristales están dispersos a través del material estéril de alta resistividad, y la resistividad de la mena será aproximadamente aquélla de la del material de la ganga.

Esta situación no se presenta en el caso actual, ya que la multiplicidad de factores mineralógicos y estructurales de los filones, permiten un descenso local de la resistividad.

Otro de los posibles factores que influirían en la variación de la resistividad en el área sería la presencia de impurezas en los metales semiconductores; por lo tanto, los valores reales de conductividades en muestras particulares se desviarían ampliamente de los valores dados en

los textos de exploración eléctrica. Tales impurezas tienen un gran efecto en la resistividad del material cuando están distribuidas uniformemente a través de él.

La variación local de la resistividad en las estaciones 1-12, 1-13, 2-9, 2-10, 3-6, 4-9 y 4-10 por un lado y 5-12, 5-13, 8-11 y 8-12 por otro (Fig. 14), es posible que se deba igualmente a las reacciones químicas que causan generalmente patrones distintivos alrededor de ciertos cuerpos mineralizados. En el presente caso, tratándose de menas sulfuradas, la oxidación generalmente tiene lugar encima de la tabla de agua, formándose por lo tanto sulfato de hierro y óxidos de hierro hidratados (limonitas), trayendo como consecuencia una variación fuerte del voltaje local.

Se intentó hacer un estudio estadístico de las medidas galvánico-resistivas de la región, pero los resultados no mostraban ninguna conclusión geológica racional. Se revisó la literatura existente sobre este tópico y se notó que en general a estos datos no se les da un tratamiento estadístico específico, debido a la multiplicidad de variables que entran en las consideraciones galvánicas. De tal manera que se tomó el 95% del total de los datos, observándose un rango de resistividades que va desde los 61.5 ohm-m a los 2.418 ohm-m. Estos valores se tomaron como representativos de la resistividad promedia de las rocas aflorantes en la zona.

Fue interesante observar en las estaciones geofísicas 1-9, 2-3 a 2-7, 6-12 y 8-10, la alteración hidrotermal (silicificación) de los pórfidos tonalíticos, que coinciden con picos en los perfiles galvánicos (Fig. 14) y tienen resistividades que van de los 380 ohm-m a los 8.167 ohm-m.

Se delimitaron sobre el mapa zonas anómalas (mapa 7) en base a los valores bajos de resistividad observados en los perfiles de cada travesía. Estos valores registrados a lo largo del rumbo del filón de La Francia pueden servir de base para interpretar el área de La Plata como posible mineralización, ya que estos datos están dentro del rango de variación permisible para considerarlos como posibles anomalías. Esta mineralización tendría en la región de La Plata una dirección N-S cruzando la quebrada del mismo nombre, hasta la altura de la estación 6-42 (a pesar de que estos valores no son tan bajos como debía esperarse).

Realmente en geofísica las interpretaciones se discuten más fácilmente al usar diferentes técnicas, y ese fue el pensamiento inicial, ya que se trataba de estudiar las respuestas a la prospección por corrientes de conducción y por inducción electromagnética.

Teniendo en cuenta que cada método geofísico tiene sus propias limitaciones en el tipo de información que suministra es imprescindible combinar dos o más métodos geofísicos para que proporcionen información adicional, ayudando a reducir la ambigüedad propia en la interpretación de estos datos.

MEDIDAS GALVANICO-RESISTIVAS

ARREGLO DE WENNER. SEPARAC. DE ELECTRODOS 10M. RESISTIVIDAD APARENTE EN Kohm-m

MINA LA FRANCIA CALIFORNIA-SANTANDER

PERFILES RESISTIVOS

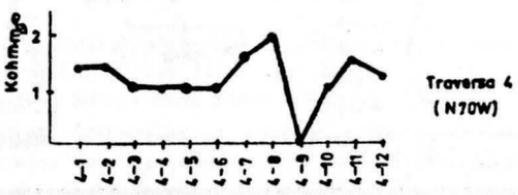
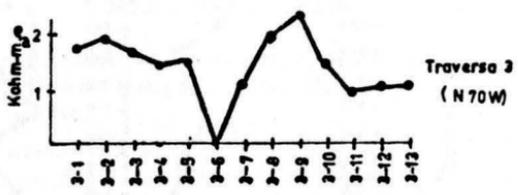
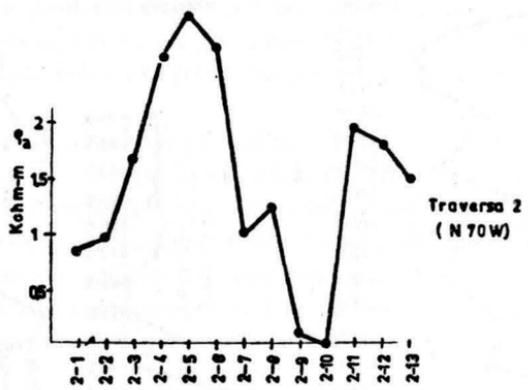
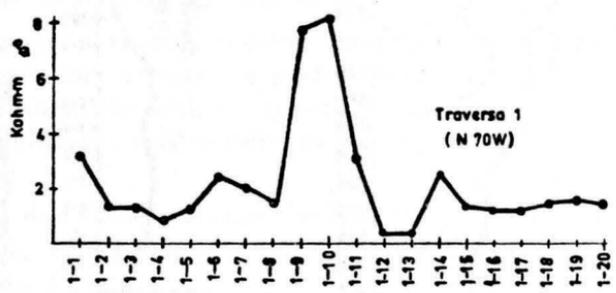


Fig. 14

Continúa

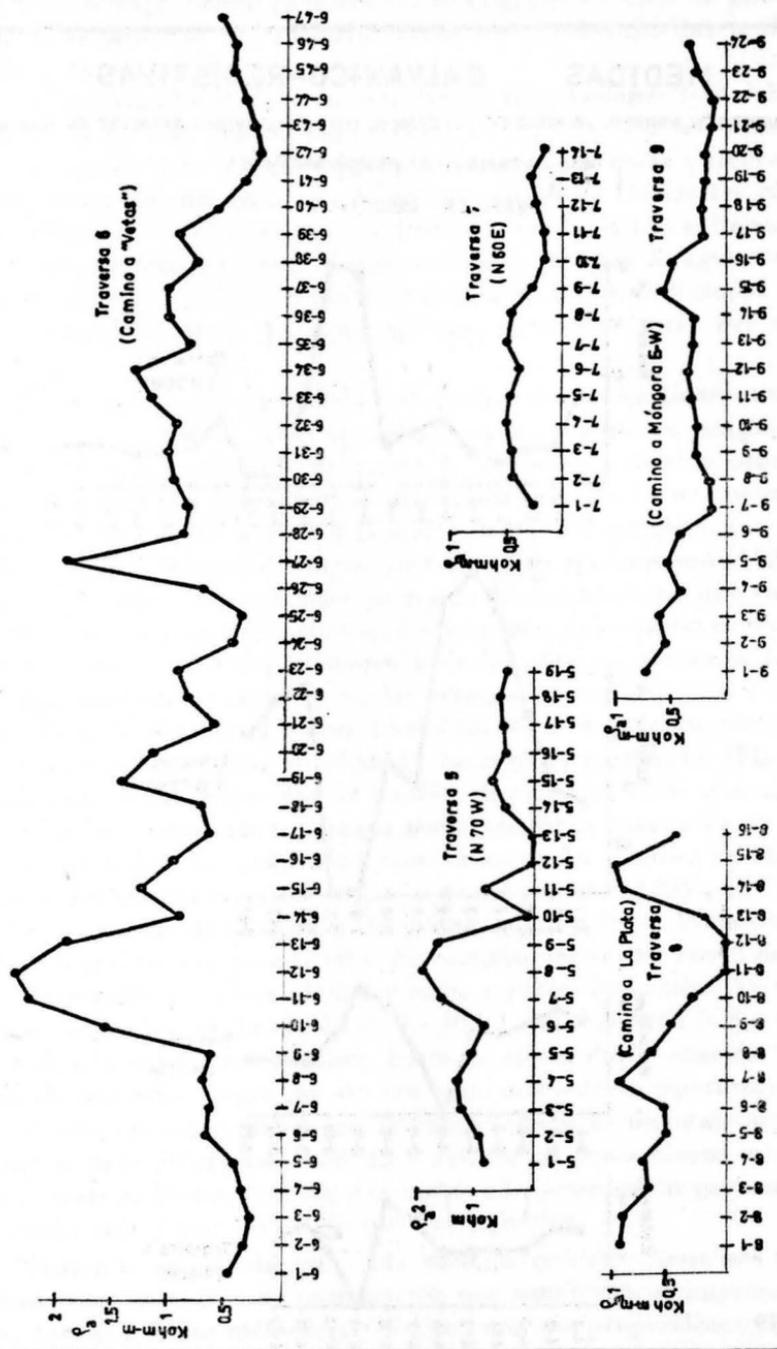


Fig. 14 (Cont.)

Luis S. Carvajal

CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

1. La correlación de los métodos geofísicos y geoquímicos en la búsqueda de depósitos minerales de tipo filoniano es confiable para el distrito minero de California, si se tiene en cuenta el control estructural (zonas de cizallamiento, brechamiento, etc.) que rige el comportamiento de estas mineralizaciones y el tipo de alteración hidrotermal (silicificación) que opera en los cuerpos intrusivos del área, presentándose un contraste fuerte de resistividad en estas zonas.

2. En el área de La Francia la mineralización está controlada por fracturas que siguen una orientación preferencial N 20°-30° E, probablemente como resultado de esfuerzos tensionales en un sistema de cizallamiento NE, posiblemente relacionado con la falla de Cucutilla, cercana al área de trabajo.

3. Se definen dos zonas anómalas por las técnicas geofísicas y geoquímicas utilizadas, correspondientes a la mina abandonada La Francia y la parte E de La Plata.

4. El método geofísico requiere más de dos técnicas adecuadas (eléctrica y electromagnética en este caso) para conocer diferentes respuestas de las propiedades eléctricas de las rocas a un problema determinado.

Se recomienda un muestreo geoquímico para suelos más sistemático, menos espaciado y que ocupe áreas aledañas más amplias; posteriormente, apertura de trincheras en zonas confirmadas.

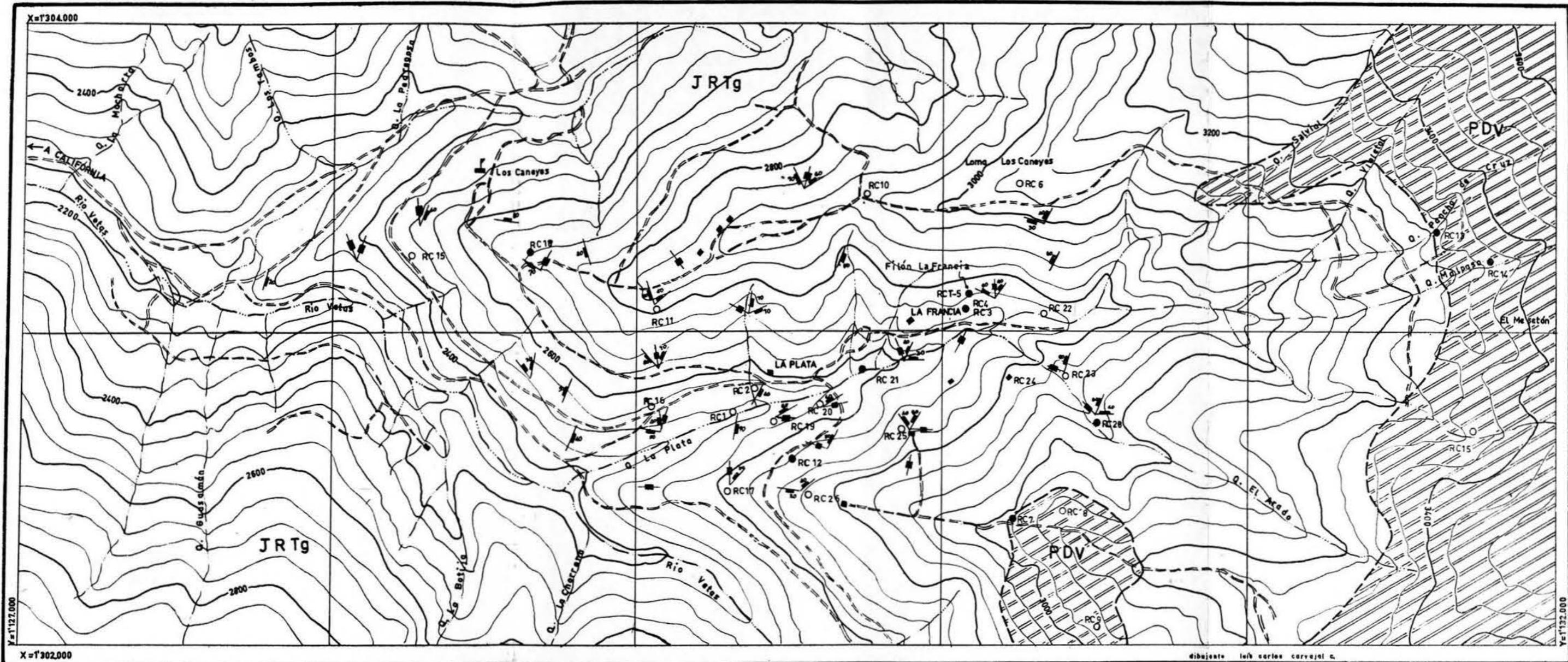
Para yacimientos con características morfológicas y genéticas similares a las del área de trabajo y zonas vecinas (occidente colombiano, Titiribí, Marmato, etc.) es recomendable utilizar técnicas geofísicas y geoquímicas combinadas.

BIBLIOGRAFIA

- ALMOND, L., 1953. Field Method for the Determination of traces of arsenic in Soils: confined spots procedure using a modified Gutzeit apparatus. *Anal. Chemistry*, vol. 25, N° 11, p. 1766.
- ALBERDING, K., 1957. Application of principles of wrench-fault tectonics of Moody and Hill, Northern South America. *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 68, N° 6, pp. 785-789.
- ANDERSON, L. A., 1960. Electrical properties of sulfide ores in igneous and metamorphic rocks near East Union, Maine. In: *Short Papers in Geological Sciences*. U. S. Geological Survey Prof. Paper 400 B, pp. 125-128.
- ARCE, M., 1951. *Minerales radioactivos en las pegmatitas uraníferas del Norte de Santander, Colombia*. Servicio Geológico Nacional, Bogotá. Informe 793, p. 11.
- BLATTACHARYA, P. K., PATRA, H. P., 1969. *Direct Current in Geoelectric sounding*. Elsevier Publ. Co., Amsterdam.

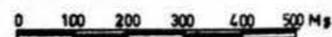
- BUENO, J. A., 1955. Yacimientos de uranio y otros metales en la región de La Baja, Municipio de California, Departamento de Santander: Colombia. *Bol. Geológico*, vol. III, Nº 3, pp. 1-83.
- CARVAJAL, L. C., 1973. *Provincia Magmática y Metalogenética Neo-terciaria*. Universidad Nacional, Depto. de Geología, Bogotá, pp. 3-13 (Informe inédito).
- CHAMPETIER DE RIBES, G., ALVAREZ, A., 1961. *Informe de la comisión de reconocimiento en la región de California-Vetas*, Departamento de Santander. Servicio Geológico Nacional, Bogotá, Informe 1374, p. 18.
- KELLER, G. V., FRISCHKNECHT, F. C., 1960. *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*. Elsevier Publ. Co., Amsterdam, p. 323.
- GOLDSMITH, R., MARVIN, R., MEHNERT, H., 1971. *Radiometric Ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes*. Prepared on behalf of the A.I.D., U.S.G.S. and the Government of Colombia. Washington (Multilith).
- HAWKES, H. WEBB, J., 1962. *Geochemistry in Mineral Exploration*. Harper & Row, Publishers, New York, pp. 90-220.
- HOWELL, B., 1959. *Introduction to Geophysics*. Mc Graw-Hill Book Co., New York, pp. 355-374.
- HYNDMAN, D. W., 1972. *Petrology of Igneous and Metamorphic Rocks*. Mc Graw-Hill Book Co., New York, p. 24.
- INGEOMINAS, 1971. *Mapa Geológico del Cuadrángulo H-13, Pamplona*. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras, Bogotá.
- IRVING, E., 1970. *Evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia*. *Bol. Geológico*, vol. XIX, Nº 2, pp. 1-90.
- JULIVERT, M., 1970. Cover and basement Tectonics in the Cordillera Oriental of Colombia, South America, and a comparison with some other folded chains. *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 81, Nº 12, pp. 3623-3646.
- LAKIN, H., WARD, F., CANNEY, 1973. Analytical Methods Used in Geochemical Exploration by the U.S.G.S. *U. S. Geological Survey Bulletin* 1152, p. 40.
- LEPELTIER, C., 1969. A simplified statistical treatment of Geochemical data by graphical representation. *Economic Geology*, vol. 64, pp. 538-550.
- MIESCH, A. T., 1967. *Methods of Computation for Estimating Geochemical abundance*. U. S. Geological Survey Prof. Paper 574-V, p. 26.
- MUSKAT, M., 1960. *Interpretation of Earth resistivity measurements*. Am. Inst. of Mining & Metall. Engineers, Tech. Publication 1761, pp. 25-50.
- NELSON, W. H., 1955. Examen petrográfico de las muestras radioactivas procedentes de California, La Baja, Santander, Colombia. *Bol. Geológico*, vol. III, Nº 3, anexo 1, pp. 1-19.
- PARASNIS, D. S., 1956. The electrical resistivity of some sulphide and oxide minerals and their ores. *Geophysical Prospecting*, vol. IV, Nº 3, pp. 249-279.
- PARASNIS, D. S., 1966. Mining geophysics. In: *Methods in Geochemistry and Geophysics*, 3. Elsevier Publ. Co., Amsterdam.
- PARKHOMENKO, E. I., 1967. *Electrical Properties of Rocks*. Plenum Press, New York, p. 19.
- RAASVELDT, H. C., 1956. Fallas de rumbo en el nordeste de Colombia. *Revista del Petróleo*, vol. 7, Nº 64, pp. 19-26.
- SEIGEL, H. O., 1952. Ore body size determination in electrical prospecting. *Geophysics*, vol. 17, Nº 4, pp. 907-914.

- SLICHTER, L., 1955. Geophysics applied to prospecting for ores. *Economic Geology*, vol. 50, pp. 885-969.
- VAN NOSTRAND, R. G., COOK, K. L., 1967. *Interpretation of Resistivity Data*. U. S. Geological Survey Prof. Paper 499.
- WARD, D., GOLDSMITH, R., 1970. Recursos minerales de parte de los Departamentos de Norte de Santander y Santander, Inventario Minero de Colombia. *Bol. Geológico*, vol. 18, N° 3, 140 p.
- WARD, D., NAKAGAWA, H., 1969. Atomic absorption Methods of Analysis Useful in Geochemical Exploration. *U. S. Geological Survey Bulletin* 1289, pp. 2-9.
- WOKITTEL, R., 1954. *Recursos de Alta, Baja y Vetas*. Colombia. Servicio Geológico Nacional, Bogotá. Informe 1030.



MAPA GEOLOGICO DE LA REGION "LA FRANCIA" CALIFORNIA (SANTANDER)

(PARTE CENTRAL DE LA PLANCHA 110-I-C DEL I.G.A.C)



POR

LUIS CARLOS CARVAJAL C.
EDGAR D. RODRIGUEZ

- Rumbo y buzamiento de diacnasa.
- Rumbo de diacnasa vertical.
- Contacto litológico.
- Camino Escuela.

MAPA No.1

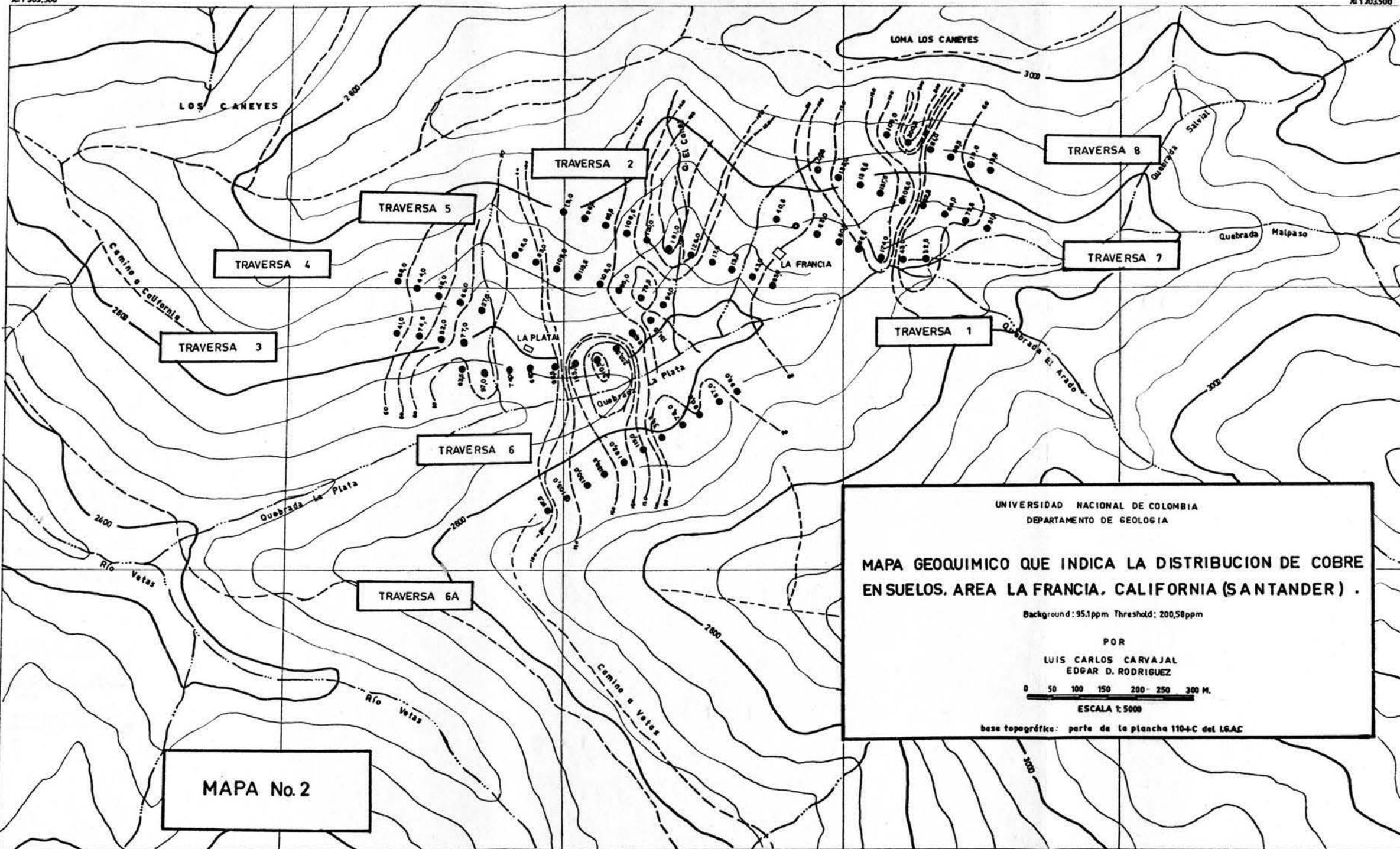
- ? Jurásico **JRTg** } Pórfido Tonalítico.
- Predevónico **PDV** } Neiss biotítico (Neiss de Bucaramanga)
- Estación geológica.
- Estación geológica con sección delgada.
- Filón de la "Francia"

dibujante: Isidoro Carvajal C.

X=1303.500

X=1303.500

Y=1131.000



MAPA No. 2

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

MAPA GEOQUIMICO QUE INDICA LA DISTRIBUCION DE COBRE EN SUELOS. AREA LA FRANCIA, CALIFORNIA (SANTANDER) .

Background: 95.1ppm Threshold: 200.58ppm

POR
 LUIS CARLOS CARVAJAL
 EDGAR D. RODRIGUEZ

0 50 100 150 200 250 300 M.

ESCALA 1:5000

base topográfica: parte de la plancha 1104-C del LGAC

X=1302.000

X=1302.000

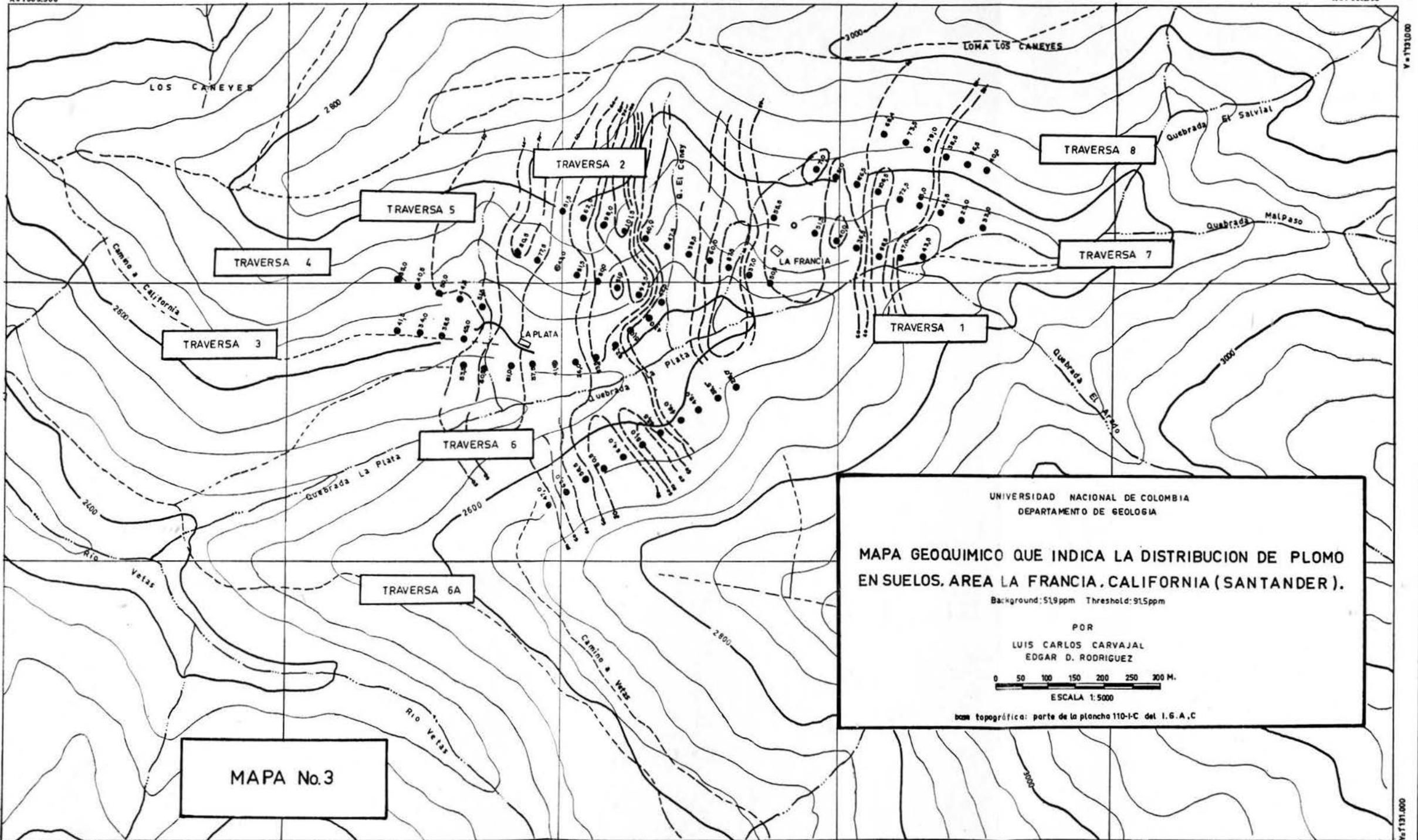
Y=1129.500

Y=1131.000

elaborado por el departamento de geología

X=1303.500

X=1'303.500



MAPA No.3

X=1302.000

X=1302.000

dibujó Luis Carlos Carvajal

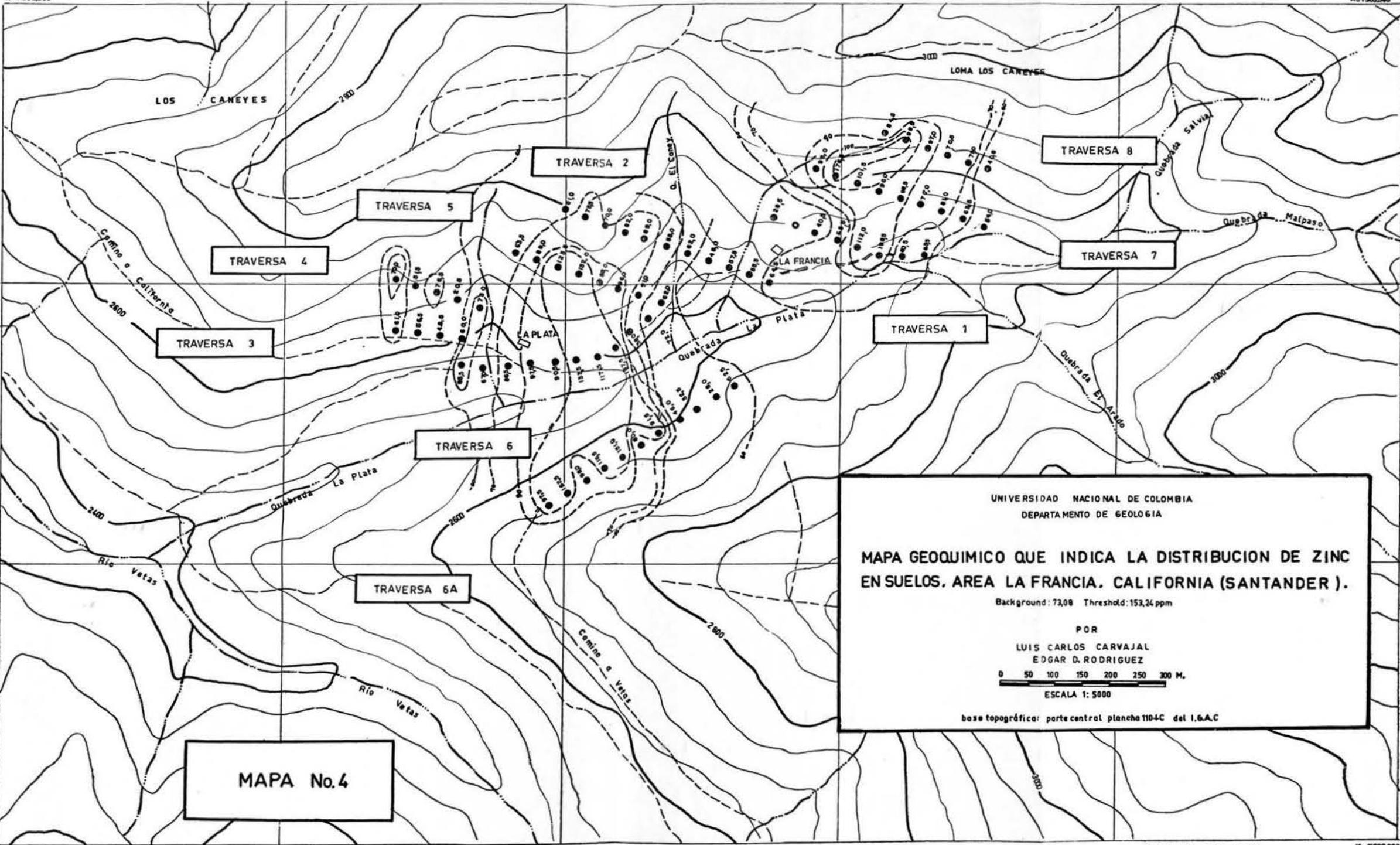
Y=1310.000

Y=1311.000

X=1303500

X=1303500

Y=1131000



MAPA No.4

Y=1128500

X=1302000

dibujó los datos cartográficos

X=1302000

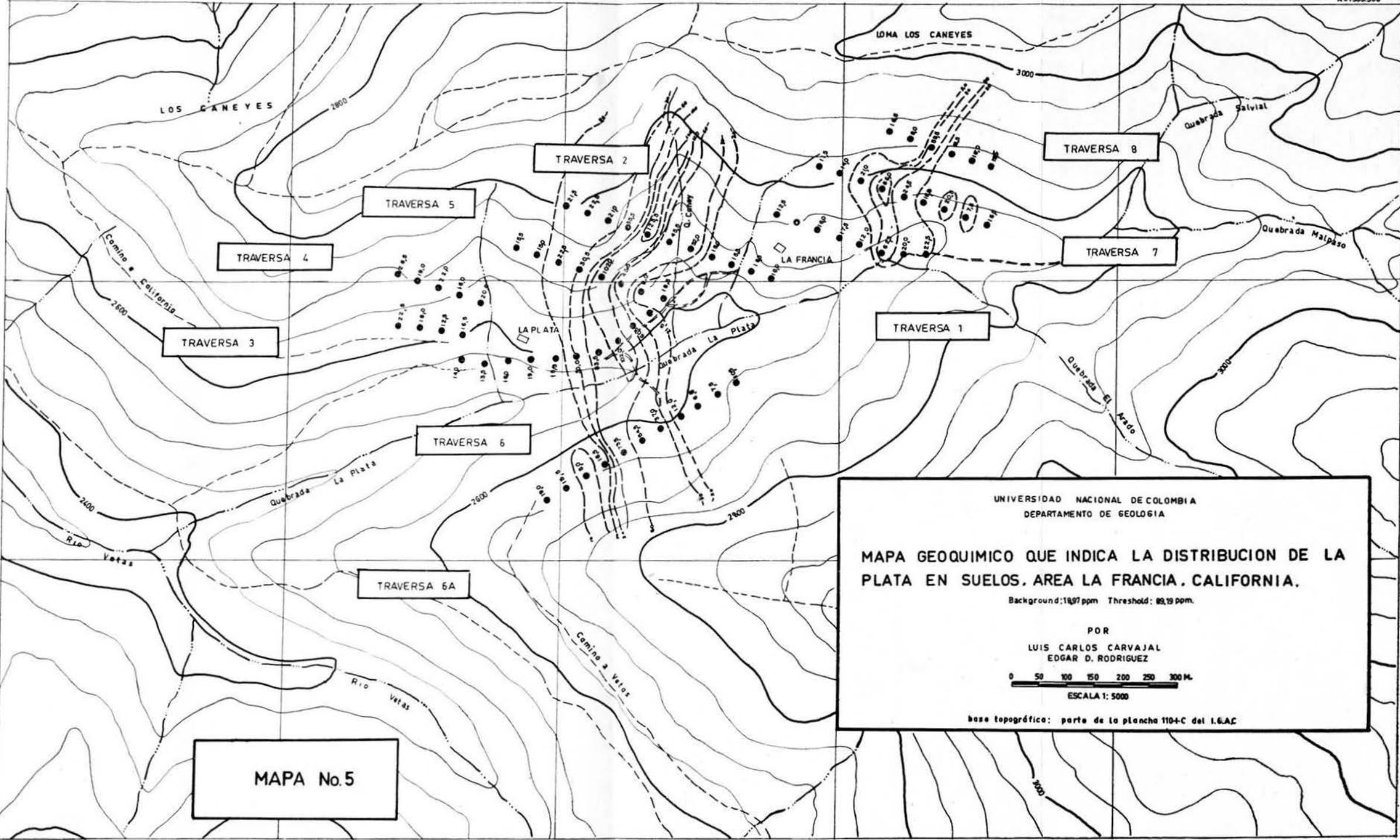
Y=1128500

X= T303.500

X= T303.500

Y= T131.000

Y= T131.000



TRAVERSA 3

TRAVERSA 4

TRAVERSA 5

TRAVERSA 2

TRAVERSA 8

TRAVERSA 7

TRAVERSA 1

TRAVERSA 6

TRAVERSA 6A

MAPA No.5

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

MAPA GEOQUIMICO QUE INDICA LA DISTRIBUCION DE LA PLATA EN SUELOS. AREA LA FRANCIA. CALIFORNIA.

Background: 1897 ppm Threshold: 89,19 ppm.

POR
LUIS CARLOS CARVAJAL
EDGAR D. RODRIGUEZ

0 50 100 150 200 250 300 M.
ESCALA 1: 5000

base topográfica: parte de la plancha 110+C del I.G.A.C.

X= T302.000

Mapa de Luis Carlos Carvajal

X= T302.000

X=1302.500

X=1303.500

Y=1131.000

LOS CANEYES

LOMA LOS CANEYES

TRAVERSA 2

TRAVERSA 8

TRAVERSA 5

TRAVERSA 4

TRAVERSA 7

TRAVERSA 3

LA FRANCIA

TRAVERSA 1

TRAVERSA 6

LA PLATA

TRAVERSA 6A

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

MAPA GEOQUIMICO QUE INDICA LA DISTRIBUCION DE ARSENICO
EN SUELOS. AREA LA FRANCIA. CALIFORNIA (SANTANDER).

POR

LUIS CARLOS CARVAJAL
EDGAR D. RODRIGUEZ

0 50 100 150 200 250 M.

ESCALA 1:5000

base topográfica: parte de la plancha 110-C del INAC

MAPA No. 6

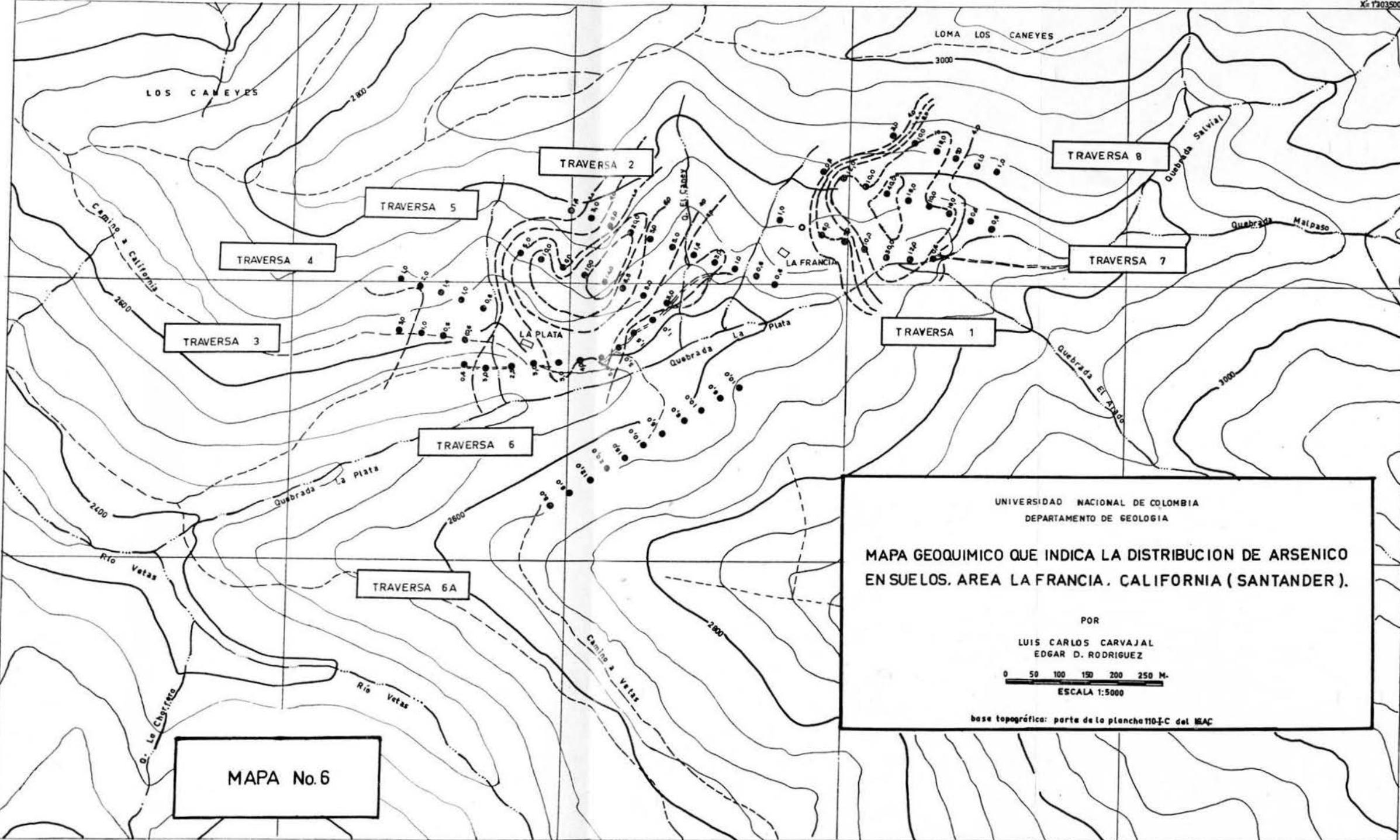
Y=1126.500

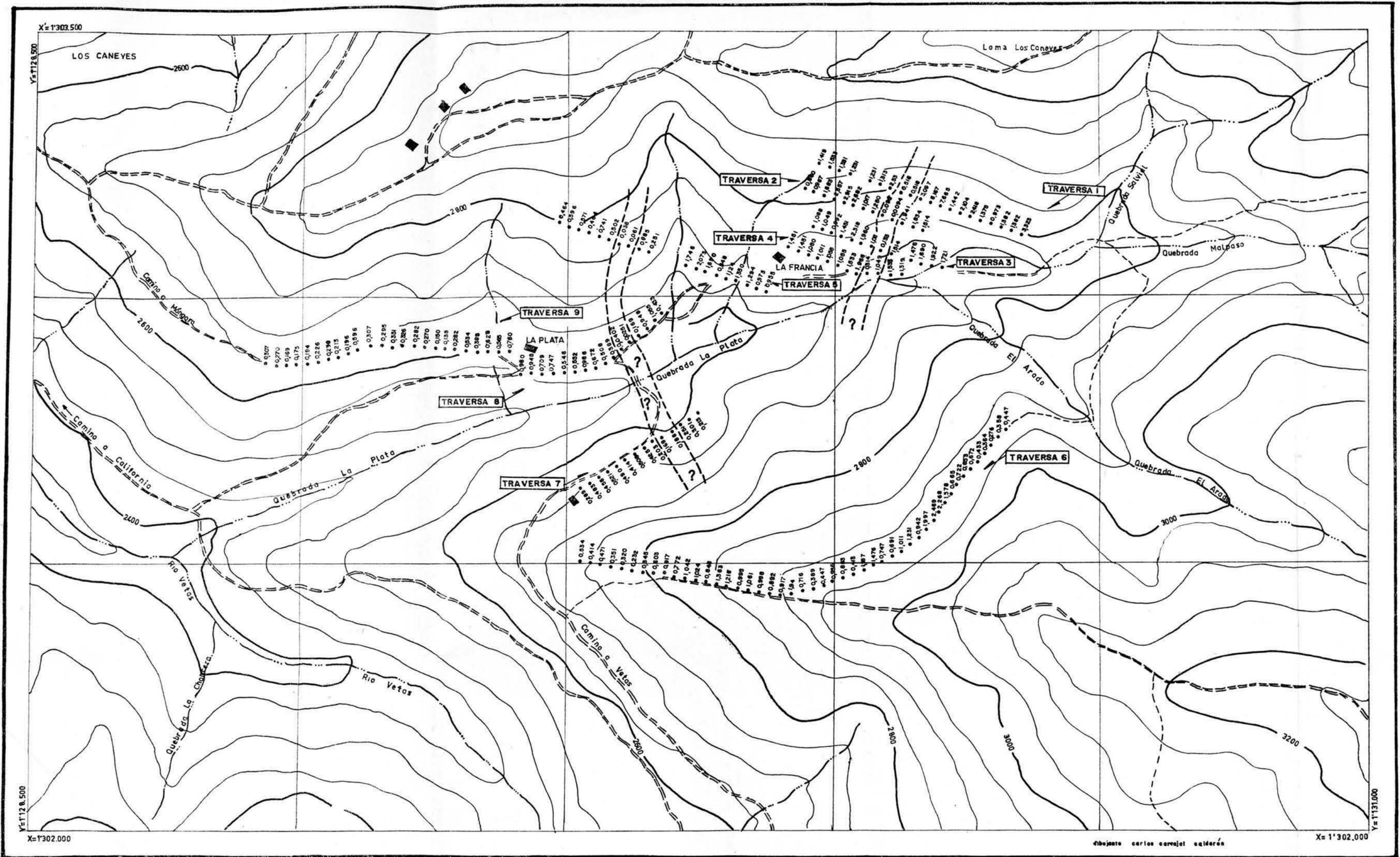
X=1302.000

dibujó Luis Carlos Carvajal

Y=1131.000

X=1302.000



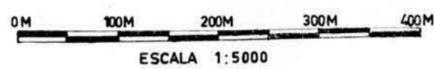


dibujante carlos carvajal calderón

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
SECCION DE GEOFISICA

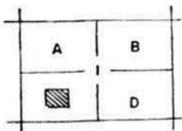
MEDIDAS GALVANICO RESISTIVAS MINA LA FRANCIA CALIFORNIA(SDER)

SEGUN EL ARREGLO DE WENNER SEPARACION DE ELECTRODOS 10M RESISTIVIDADES APARENTES EN KILO-OHMS-M



POR
LUIS CARLOS CARVAJAL CALDERON C.
EDGAR DAVID RODRIGUEZ B.

MAPA No.7

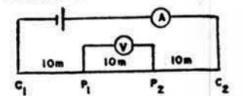


Base topográfica: Parte central de la plancha IIO-I-C del I.G.A.C

CONVENCIONES



CONFIGURACION DE ELECTRODOS



Lecturas hechas cada 20m según $C_1 C_2 / 2$

Nota: El rumbo de las traversas 1, 2, 3, 4 y 5 es N70W, las demás siguen el rumbo de los caminos.

profundidad de penetración máxima 10 metros