

REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO – MINERAS

BOLETIN GEOLOGICO

---

VOLUMEN XIX, No. 1

1971

RECURSOS MINERALES  
DE PARTE DE LOS DPTOS DE  
CUNDINAMARCA, BOYACA Y META

por

Donald H. Mc Laughlin

U. S. Geological Survey

y

Marino Arce H.

Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras

*La responsabilidad de los conceptos emitidos en este Boletín Geológico  
corresponde exclusivamente a sus autores.*

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN . . . . .	1
INTRODUCCION . . . . .	3
AGRADECIMIENTOS . . . . .	3
GEOLOGIA GENERAL . . . . .	5
PANORAMA TECTONICO Y AMBIENTE DEPOSICIONAL	5
ESTRATIGRAFIA . . . . .	7
CRETACEO . . . . .	7
Formación Cáqueza . . . . .	7
Formación Fómeque . . . . .	9
Formación Une . . . . .	10
Formación Chipaque . . . . .	10
Formación Guadalupe Inferior . . . . .	10
Formación Guadalupe Superior . . . . .	11
Formación Guaduas . . . . .	12
TERCIARIO . . . . .	12
Arenisca del Cacho . . . . .	12
Formación Bogotá . . . . .	12
Estratos Terciarios más jóvenes . . . . .	13
EVAPORITAS . . . . .	13
LOCALIZACION DE LOS DEPOSITOS . . . . .	15
Minas de sal . . . . .	15
Fuentes saladas . . . . .	15
Depósitos de yeso . . . . .	15
SUCESION ESTRATIGRAFICA Y EDAD DE LAS EVAPORITAS	16
BERRIASIANO - VALANGINIANO . . . . .	16
BARREMIANO TARDIO - COMIENZOS DEL APTIANO . . . . .	16
APTIANO TARDIO . . . . .	16
TURONIANO - CONIACIANO TARDIO . . . . .	17
ESTRUCTURA DE LAS CAPAS SALINIFERAS . . . . .	17
Mina de Upín . . . . .	18
Fuente de Gachetá . . . . .	19
Mina de Zipaquirá . . . . .	19
Mina de Nemocón . . . . .	19

	<u>Página</u>
Minas y fuentes de Tausa . . . . .	23
Minas de Sesquilé . . . . .	23
Depósitos de sal que se infieren de las estructuras geológicas . . . . .	26
AFLORAMIENTOS . . . . .	26
Rute . . . . .	26
Depósitos de yeso . . . . .	28
Rocas sedimentarias ricas en hierro . . . . .	30
Estratos carbonáceos . . . . .	30
ROCAS EXPUESTAS EN LAS MINAS. . . . .	31
Halita . . . . .	31
Arcillolita . . . . .	31
Anhidrita . . . . .	32
Arenisca . . . . .	32
COMPOSICION. . . . .	32
Elementos trazas. . . . .	35
ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS DE LOS DEPOSITOS	35
Estratificación cruzada y truncación . . . . .	35
Capas y fragmentos de arcillolita. . . . .	37
Contacto basal de la halita en la mina de Zipaquirá	40
ESTRUCTURA INTERNA DE LOS DEPOSITOS DE HALITA	41
Mina de Zipaquirá . . . . .	41
Mina de Nemocón . . . . .	41
Mina de Upín . . . . .	42
Mina de Sesquilé. . . . .	42
AMBIENTE DE DEPOSITACION. . . . .	42
TAMAÑO Y LOCALIZACION DE LAS CUENCAS EVAPORITICAS	42
Berriasiano-Valanginiano . . . . .	42
Barremiano Superior - Aptiano Inferior . . . . .	42
Aptiano Superior . . . . .	43
Turoniano - Coniaciano Inferior . . . . .	43
RELACIONES DE FACIES ENTRE LOS INTERVALOS	
SALINIFEROS . . . . .	43
Material arcilloso asociado con sal . . . . .	44
Significado del hierro . . . . .	45

	<u>Página</u>
Significado del material carbonáceo . . . . .	45
DEFICIENCIA DE SULFATOS . . . . .	45
DEFICIENCIA DE ÓXIGENO . . . . .	47
CLIMA . . . . .	48
CAMBIOS POSDEPOSICIONALES . . . . .	48
SOLUCION Y RECRISTALIZACION . . . . .	48
Halita masiva . . . . .	48
Anhidrita granular . . . . .	49
Yeso en Lusitania, Santa María de Batá y Gachalá	49
Bajo contenido de bromo en la halita . . . . .	49
Halos de halita asociados con fragmentos de arcillolita	50
Cristales grandes de halita y venas . . . . .	51
REDUCCION DE SULFATOS . . . . .	51
Inclusiones de gas . . . . .	51
Lentes de calcita fibrosa . . . . .	51
Azufre nativo . . . . .	52
Esfalerita . . . . .	52
Caliza . . . . .	52
ORIGEN Y DESARROLLO DE LOS ANTICLINALES DE SAL	52
Control estructural de los sitios de depositación	52
Formación de los anticlinales de sal . . . . .	54
Anticlinales primarios de sal . . . . .	54
Anticlinales secundarios de sal . . . . .	55
Estructuras opuestas . . . . .	56
TEORIA DEL DIAPIRISMO COMPARADA CON LA DE RELACIONES	
DE CONCORDANCIA . . . . .	57
Evidencias que favorecen el diapirismo . . . . .	57
Evidencias que favorecen la posición estratificada de	
la sal . . . . .	58
Conclusiones . . . . .	59
RESERVAS DE SAL ESTRATIFICADA EN LA CORDILLERA	
ORIENTAL . . . . .	59
Mina de Zipaquirá . . . . .	59
Mina de Nemocón . . . . .	59
Mina de Upín . . . . .	59
Mina de Sesquilé . . . . .	60

	<u>Página</u>
<b>OTROS MINERALES NO METALICOS . . . . .</b>	<b>60</b>
<b>ROCA FOSFORICA . . . . .</b>	<b>60</b>
Depósitos del Pre-Guadalupe Inferior . . . . .	60
Depósitos de la Formación Guadalupe Inferior . . . . .	60
Depósitos de la Formación Guadalupe Superior . . . . .	61
<b>CALIZA . . . . .</b>	<b>61</b>
<b>DEPOSITOS MENORES . . . . .</b>	<b>62</b>
<b>YESO. . . . .</b>	<b>62</b>
<b>AZUFRE . . . . .</b>	<b>62</b>
<b>CAOLINITA . . . . .</b>	<b>63</b>
<b>ESMERALDAS . . . . .</b>	<b>63</b>
<b>MINERALES METALICOS. . . . .</b>	<b>64</b>
<b>HIERRO . . . . .</b>	<b>64</b>
Depósitos de hierro de Pericos. . . . .	64
Otras ocurrencias de hierro en la Sabana de Bogotá	68
Tibirita . . . . .	69
Ubalá . . . . .	70
Cerro de Montecristo . . . . .	71
<b>COBRE . . . . .</b>	<b>73</b>
Cerro del Cobre . . . . .	73
Farallones de Medina . . . . .	74
<b>PLOMO . . . . .</b>	<b>75</b>
<b>ZINC. . . . .</b>	<b>76</b>
El Rincón . . . . .	76
Llano Grande . . . . .	78
La Playa (Quebrada Negra) . . . . .	78
<b>RECOMENDACIONES . . . . .</b>	<b>81</b>
<b>EVAPORITAS . . . . .</b>	<b>81</b>
<b>ZIPAQUIRA . . . . .</b>	<b>81</b>
Perforaciones en el subsuelo . . . . .	81
Investigación sísmica dentro de la mina . . . . .	82
Pozos estratigráficos (“Slim Holes”) . . . . .	82
<b>NEMOCON. . . . .</b>	<b>84</b>
Perforaciones dentro de la mina . . . . .	84
Investigación sísmica dentro de la mina . . . . .	84
Pozos estratigráficos (“Slim Holes”) . . . . .	85

	<u>Página</u>
SESQUILE . . . . .	85
Pozos estratigráficos . . . . .	85
UPIN . . . . .	88
Dentro de la mina . . . . .	88
Superficial . . . . .	89
FUENTES SALADAS . . . . .	89
TAUSA . . . . .	89
Pozos estratigráficos . . . . .	89
GACHETA Y MAMBITA . . . . .	91
CATEOS DE SAL . . . . .	91
PANTANO REDONDO . . . . .	91
PERICOS . . . . .	92
YESO . . . . .	94
OTROS MINERALES NO METALICOS . . . . .	94
ROCA FOSFORICA . . . . .	94
CALIZA . . . . .	94
CAOLINITA . . . . .	95
MINERALES METALICOS . . . . .	95
HIERRO . . . . .	95
Pericos y otras ocurrencias en el área de la Sabana de Bogotá . . . . .	95
Tibirita . . . . .	95
Ubalá (Nueva Vizcaya) . . . . .	95
Cerro de Montecristo . . . . .	96
COBRE . . . . .	96
Cerro del Cobre . . . . .	96
Farallones de Medina . . . . .	96
PLOMO . . . . .	
ZINC . . . . .	97
BIBLIOGRAFIA . . . . .	97

## ILUSTRACIONES

	<u>Página</u>
	<b>CUADROS</b>
Cuadro 1. Composición mineralógica del rute calculada a partir del análisis químico (minas de Zipaquirá y Nemocón).	27
Cuadro 2. Análisis químico de 5 muestras de sal de la mina de Zipaquirá . . . . .	33
Cuadro 3. Análisis químico de 12 muestras de sal de la mina de Upín . . . . .	34
Cuadro 4. Análisis parciales de 26 muestras de residuos de fuentes Saladas de la Cordillera Oriental . . . . .	36
Cuadro 5. Análisis químicos en porcentaje de 53 muestras del yacimiento de hierro de Pericos . . . . .	67

## FIGURAS

1	Mapa índice de Colombia que muestra la localización de los cuadrángulos citados en el texto . . . . .	4
2	Mapa índice que muestra las principales provincias estructurales de Colombia modificado por Geophoto Services, Inc. . . . .	6
3	Correlaciones regionales de las formaciones cretáceas modificadas de Thompson, 1966 . . . . .	8
4	Ubicaciones conocidas de fuentes saladas, depósitos de yeso y minas de sal en el sector central de la Cordillera Oriental. Colombia . . . . .	14
5	Corte transversal esquemático que muestra la estructura del depósito de sal de Zipaquirá . . . . .	20

	<u>Página</u>
6	Reconstrucción palinspática generalizada del área de Nemocón. . . . . 21
7	Sección transversal diagramática del depósito de sal de Nemocón. . . . . 22
8	Sección transversal diagramática del anticlinal de Tausa. . . . . 24
9	Sección transversal diagramática a través del depósito de sal de Sesquilé . . . . . 25
10	Localización de los recursos minerales de la Zona IV, excluyendo el carbón. . . . . 29
11	Lentes de calcita fibrosa con septas bien desarrolladas. . . . . 38
12	Sal arcillosa que contiene numerosos fragmentos de arcillolita. . . . . 39
13	Diagrama esquemático del ambiente deposicional salino. . . . . 46
14	Diagrama esquemático que muestra el desarrollo de los anticlinales saliníferos y estructuras opuestas resultantes en la Sabana de Bogotá . . . . . 53
15	Dibujo de una sección delgada de una muestra del depósito de hierro de Pericos (Por J.W. Butter, Jr.). . . . . 66
16	Croquis del afloramiento de hematita especular en el Río Tormenta, Cundinamarca . . . . . 72
17	Ubicación de pozos “Slim Holes” propuestos para la exploración de la mina de Zipaquirá . . . . . 83
18	Ubicación de pozos “Slim Holes” propuestos para la mina de sal de Nemocón, Cundinamarca . . . . . 86
19	Ubicación de pozos “Slim Holes” propuestos para la exploración de las salinas de Sesquilé . . . . . 87
20	Ubicación de pozos “Slim Holes” propuestos para la exploración del área de Tausa . . . . . 90

21	Ubicación de pozos “Slim Holes” propuestos para la exploración del área de Pantano Redondo. . . . .	93
----	---	----

**PLANCHAS**

- Plancha I Mapa geológico del Cuadrángulo K-11, Zipaquirá, Colombia.
- Plancha II Corte transversal a través de la Cordillera Oriental.
- Plancha III Mapa de la superficie en la vecindad de la mina de Upín, Restrepo (Dpto. del Meta).
- Plancha IV Mapa tectónico del Cuadrángulo K-11, Zipaquirá. (en bolsillo).
- Plancha V Mapa geológico subterráneo de la mina de sal, Nemocón, Cundinamarca. (en bolsillo).
- Plancha VI Mina de sal - Zipaquirá -Primer Nivel - (en bolsillo).
- Plancha VII Mina de sal - Zipaquirá -Segundo Nivel- (en bolsillo).
- Plancha VIII Mina de sal - Upín, Restrepo (Meta).
- Plancha IX Mapa geológico del hierro de Pericos (Municipio de Guasca, Cundinamarca (en bolsillo).
- Plancha X Mapa geológico de reconocimiento del Cerro de Montecristo (en Bolsillo).

\*\*\*

## RESUMEN

Por lo menos cuatro niveles de evaporitas están interestratificados con las rocas sedimentarias cretácicas en el “área de Bogotá” de la Cordillera Oriental de Colombia. El intervalo más oriental y a la vez el más antiguo es probablemente de edad Berriasiano-Valanginiano. El siguiente intervalo es posiblemente de finales del Barremiano a comienzos del Aptiano y está seguido por un intervalo deposicional posiblemente de finales del Aptiano. El nivel más occidental y mejor conocido se formó durante el Turoniano y comienzos del Coniaciano en la Sabana de Bogotá. Este último contiene los depósitos de sal de mayor espesor conocidos y es probablemente el de mayor extensión geográfica.

En la parte oriental del área estudiada se encuentran tres depósitos de yeso probablemente de edad Berriasiano-Valanginiano. Estos depósitos pueden haber sido lixiviados de acumulaciones de sal preexistentes. No se encuentra expuesto ningún otro tipo de evaporitas pero se conocen numerosas fuentes saladas.

Las altas concentraciones salinas de estas fuentes, la cantidad sustancial de  $H_2S$  comunmente emitida en ellas y la presencia de rute (residuos de sal lixiviada), hace suponer que sus orígenes no son profundos ni distantes.

La sal gema expuesta en las tres minas accesibles (Zipaquirá, Nemocón y Upín), tiene en común una laminación característica debido a alternación de capas de halita relativamente pura con halita arcillosa. Dispersos en todos los depósitos de sal, se encuentran pequeños fragmentos de arcilla negra, margosa, comunmente piritosa. Esta litología también se encuentra presente en capas gruesas de arcilla interestratificadas concordantemente con los estratos de sal. La anhidrita es rara y parece más común en la mina de Zipaquirá que en las de Nemocón y Upín.

Las evidencias paleontológicas, demuestran que las series sal arcillolita, los estratos impregnados de hematita y las capas de arcillolita carbonácea, presentes en la Sabana de Bogotá son contemporáneas. La facies sal arcillolita puede haberse depositado en cuencas evaporíticas pandas que estuvieron separadas durante todo el intervalo evaporítico por barreras en las

cuales se depositaron los estratos hematíticos. La facies carbonácea también pudo haberse formado en las barreras o en los bordes de las cuencas evaporíticas. No se sabe si la misma relación de facies prevaleció en los intervalos de evaporitas más antiguos. Escasas evidencias sugieren que fue así.

Los recursos minerales no metálicos diferentes de las evaporitas son: roca fosfórica, caliza, caolinita y esmeraldas. Depósitos de minerales metálicos presentes en la zona incluyen hematita en Pericos, La Caldera, Tibirita, Ubalá y Cerro de Montecristo; calcopirita en el Cerro del Cobre y en los Farallones de Medina; galena en varias localidades a lo largo de los ríos Farallones y Gachetá y blenda en el Municipio de Junín.

## INTRODUCCION

Los depósitos de minerales descritos se encuentran en la latitud media de la Cordillera Oriental, (figura 1) en el área designada como Zona IV por el Inventario Minero Nacional (IMN), hoy Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras "INGEOMINAS". Todos los depósitos fueron estudiados conjuntamente con el programa de Cartografía Geológica del cuadrángulo de Zipaquirá y parte del cuadrángulo del Guavio (figura 1), llevado a cabo durante un período de 3 años y medio. Este trabajo se adelantó por el IMN con la colaboración técnica del Servicio Geológico de los EE.UU. (USGS) bajo el patrocinio financiero del Gobierno de Colombia y la Agencia Internacional de Desarrollo (A.I.D.), del Departamento de Estado de los EE.UU.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de Francisco Zambrano O., Fernando Pachón, Enrique Aya C., Pedro Mojica G., Carlos Ulloa M., Erasmo Rodríguez M., Ricardo Escovar R., Luis E. Castillo P., Humberto Rosas y Pedro Carvajal B., geólogos del IMN. Los topógrafos Mario Forero C., Luis Ramírez, Luis Castañeda B. y Vicente Grijalba M., levantaron la topografía e hicieron la agrimensura de minas.

La señorita Diana Gutiérrez P., el Dr. Hans Bürgl, Mr. Eduardo Fritz y el Padre Eduardo Acosta hicieron las determinaciones paleontológicas.

Earl M. Irving, Tomás Feininger y Charles M. Tschanz del Servicio Geológico de los EE.UU. hicieron sugerencias útiles en el curso del estudio. El Dr. C.D.A. Dahlstrom, de la Chevron Oil Co. contribuyó con los autores a dilucidar varios aspectos de la geología de la sal de la mina de Zipaquirá. El profesor Luis F. Dellwig, de la Universidad de Kansas, colaboró en la interpretación de algunos de los rasgos más complicados, encontrados en los depósitos de sal de las minas a las que se tuvo acceso. El autor desea agradecer

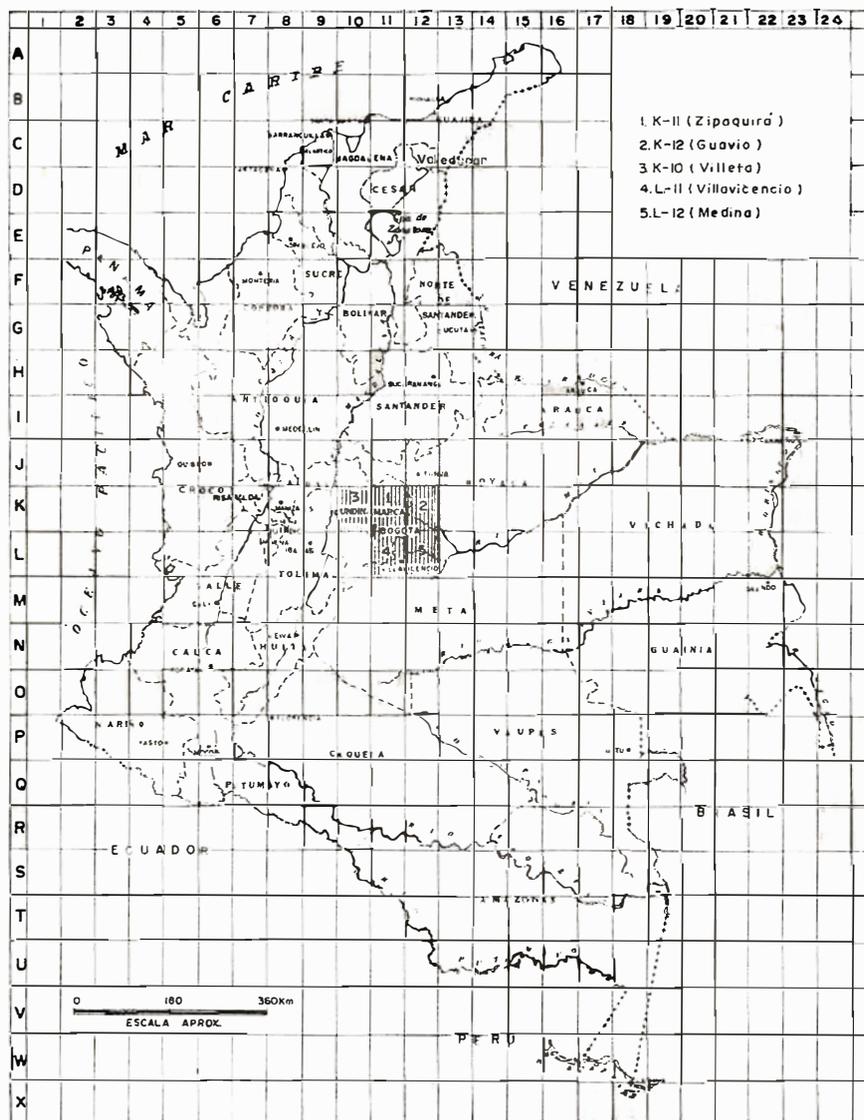


Fig. 1- MAPA INDICE DE COLOMBIA QUE MUESTRA LA LOCALIZACION DE LOS CUADRANGULOS CITADOS EN EL TEXTO

a Dwigth E. Ward, Earl M. Irving, Roberto J. Hite y Tomás Feininger por las valiosas críticas al manuscrito.

## GEOLOGIA GENERAL

### PANORAMA TECTONICO Y AMBIENTE DEPOSICIONAL

La sedimentación miogeosinclinal que se desarrolló en el área que actualmente ocupa la Cordillera Oriental depositó un espesor máximo de cerca de 12.500 m. de estratos en la región de Bogotá. La sección se adelgaza abruptamente hacia el sur y un poco menos notoriamente hacia el norte (Bürgl, 1962, fig.18). En el área de la actual Cordillera Occidental se depositaron sedimentos eugeosinclinales durante el Cretáceo. Allí la sección cretácea no es bien conocida, pero Bürgl (1962, p.27) afirma que el espesor de estos estratos eugeosinclinales es del orden de los 10.000 m. Estas dos facies deposicionales están ahora separadas por la Cordillera Central de naturaleza principalmente cristalina, la cual emergió intermitentemente durante el Cretáceo y pudo haber formado un cordón medianero a través del geosinclinal cretáceo constituyendo una barrera entre las dos facies. Los estratos salinos pertenecen a la facies miogeosinclinal del geosinclinal cretáceo andino.

Los Andes colombianos constan de tres cadenas montañosas principales, que de W-E son las cordilleras Occidental, Central y Oriental. Al este y en contacto fallado con la última, se extienden las tierras bajas de los Llanos (Campbell y Bürgl, 1965, Pl.1). El límite entre estas dos unidades fisiográficas está demarcado por una zona de fallas que la mayoría de los geólogos, considera inversas con buzamientos empinados hacia el oeste.

El flanco occidental de la Cordillera Oriental, a la latitud del área en estudio, está delineado por una serie de fallas inversas de buzamientos empinados al este, las cuales forman la margen oriental de la semifosa del Valle del Magdalena (Raasveldt y Carvajal, 1957; Campbell y Bürgl, 1965, Pl.1).

La Cordillera Central está limitada al E por el Valle del Magdalena y al W por el Valle del Cauca. La Occidental, separa el Valle del Cauca de las tierras bajas costaneras del Pacífico, situadas al sur de la latitud 5° 18' N aproximadamente. Al norte de este paralelo a lo largo de la costa del Pacífico se encuentra la cadena montañosa costanera denominada Cordillera de Baudó o Cordillera de la Costa. Estos elementos tectónicos están indicados en la figura 2.

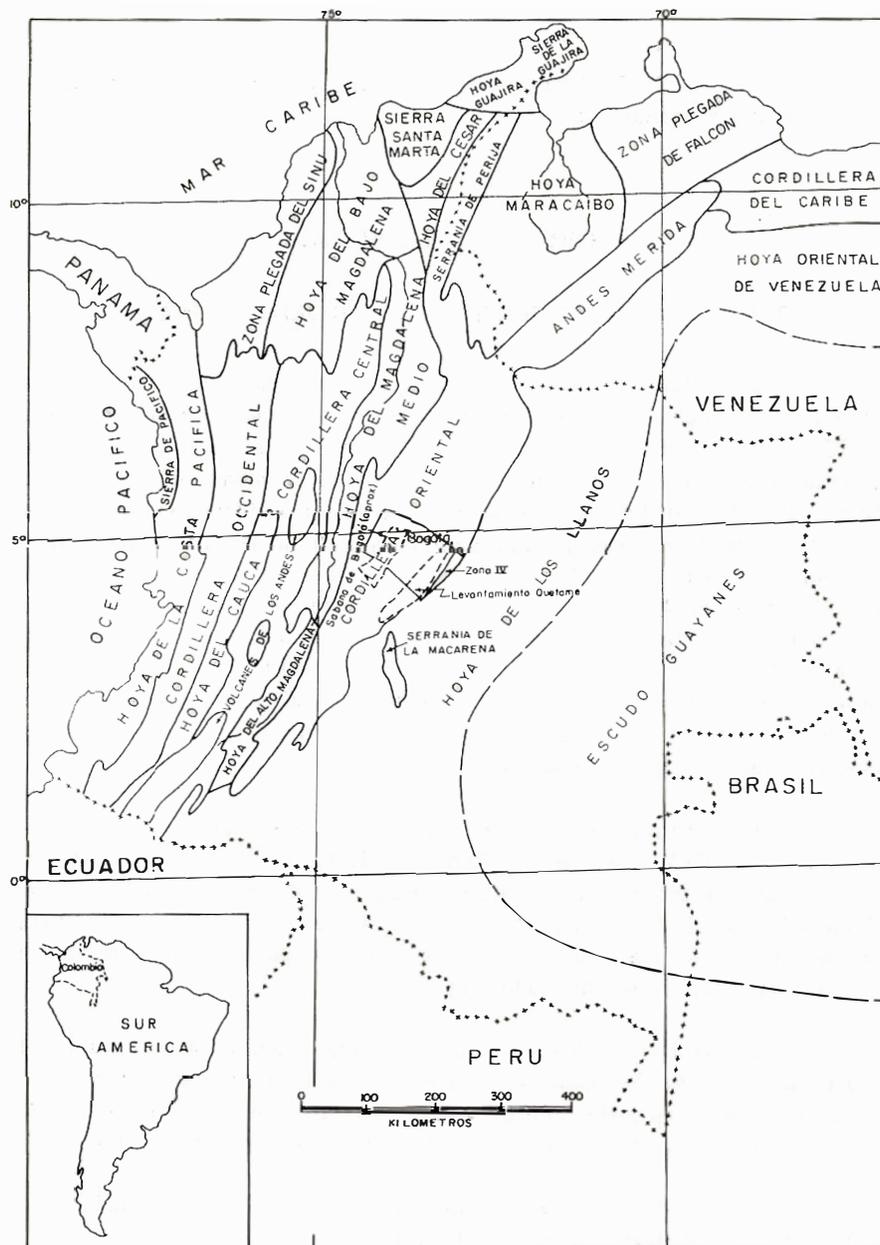


Fig. 2-MAPA INDICE QUE MUESTRA LAS PRINCIPALES PROVINCIAS ESTRUCTURALES DE COLOMBIA MODIFICADO POR GEOPHOTO SERVICES, INC.

A excepción de una fuente salada en la Cordillera Central al sur de Medellín, todas las manifestaciones de sal conocidas en Colombia, están en la parte media de la Cordillera Oriental.

## ESTRATIGRAFIA

La sección estratigráfica de la Cordillera Oriental a la latitud del área de Bogotá, consta de tres sistemas principales de rocas sedimentarias. El más antiguo de edad paleozoica, comprende los grupos de Quetame, Floresta y Farallones. Sobre estos estratos yacen más de doce mil metros de rocas del Jurásico Superior y Cretáceo, superpuestas por cerca de mil quinientos metros de estratos terciarios (Plancha I).

Los estratos paleozoicos afloran en la región del Levantamiento de Quetame en la parte oriental de la Cordillera Oriental. Las rocas terciarias se presentan en la Sabana de Bogotá y los estratos cretáceos se extienden desde la Sabana de Bogotá hacia el este localmente sobre el Levantamiento de Quetame hasta el borde oriental de la Cordillera Oriental. Las rocas cretáceas también se encuentran a todo lo largo de la Cordillera Oriental, pero este estudio está limitado al área donde se conoce que estos estratos contienen sal. Correlaciones regionales de los estratos cretáceos y la posición estratigráfica de las capas de sal se muestran en la figura 3.

## CRETACEO

Formación Cáqueza.- La Formación Cáqueza constituye la base del sistema cretáceo. La Formación Cáqueza yace en disconformidad y discordancia local sobre los grupos de Quetame, Floresta y Farallones. Aflora a lo largo del margen oriental de la Cordillera Oriental. La unidad es delgada donde yace directamente sobre el Levantamiento de Quetame, que fué un área estable a comienzos del Cretáceo y probablemente no suministró clásticos al Cáqueza.

La Formación Cáqueza está compuesta predominantemente por arcillas limolíticas, grises oscuras, comunmente duras, localmente micáceas y con estratificación laminar a gruesa.

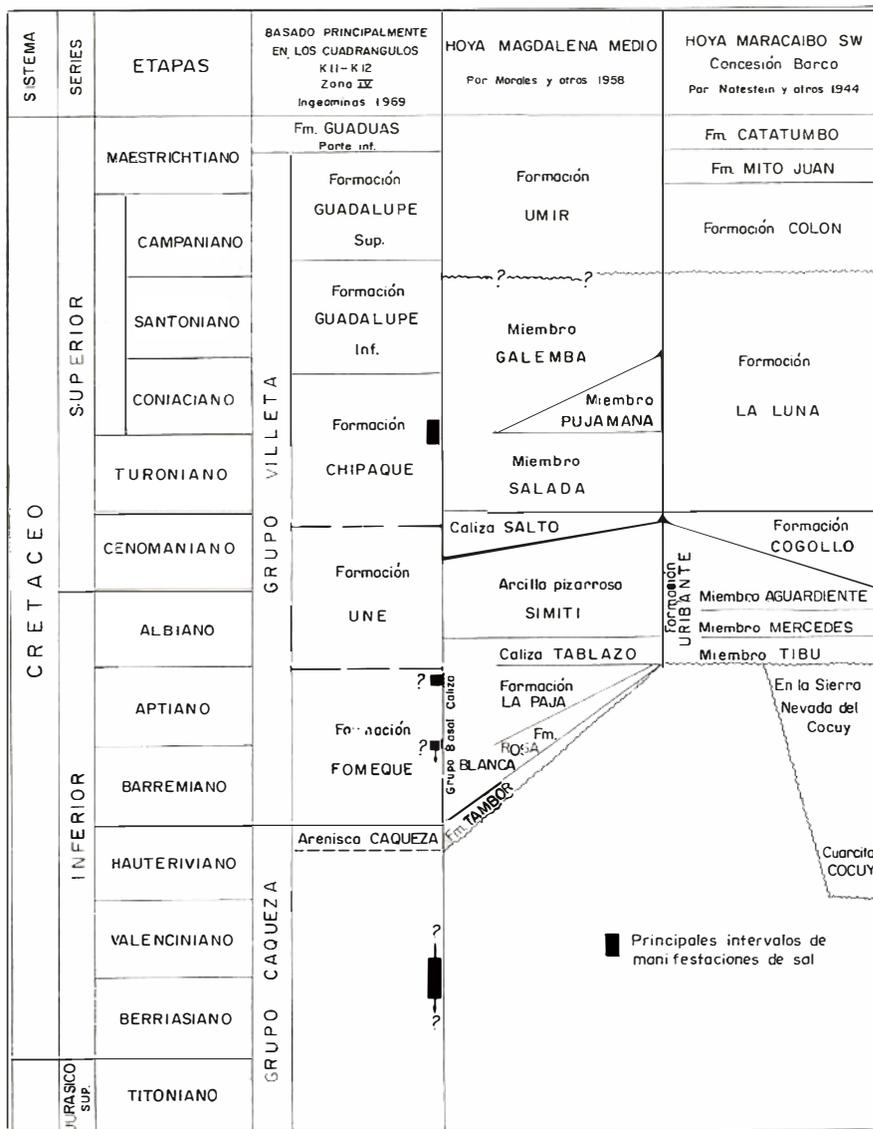


Fig. 3 CORRELACIONES REGIONALES DE LAS FORMACIONES CRETACEAS. MODIFICADAS DE THOMPSON, 1966

El grupo contiene también numerosas capas interestratificadas de limolitas grises oscuras en partes micáceas. Cristales de pirita y pseudomorfos limoníticos según pirita son muy comunes a través de toda la sección del Cáqueza. Oxidos de hierro derivados de la pirita han coloreado localmente la roca predominantemente oscura. En la zona baja de la sección se presenta arenisca gris a gris marrón en parte conglomerática. Una caliza arenosa maciza gris oscura suprayace la arcillolita basal. Por lo menos una inconformidad intraformacional se observa en estos estratos inferiores. Lentejones de arenisca cuarzosa masiva dura de grano fino, de color gris a canela se encuentran interestratificados en la arcillolita del Cáqueza. El tope de la Formación Cáqueza está formado por una arenisca cuarzosa compacta gris de grano fino micácea localmente limolítica y por lo común gruesamente estratificada. Hacia la parte media de la formación se encuentran algunas evaporitas; pero las complicaciones estructurales y la escasez de afloramientos impide su localización precisa dentro de la sección.

La topografía del área del afloramiento de la Formación Cáqueza varía desde los bajos relieves hasta las pendientes escarpadas y cañones de paredes abruptas.

La Formación Cáqueza tiene una edad que va desde el Titoniano hasta el Hauteriviano. El espesor varía desde aproximadamente 2.100 hasta 4.200 m. Complicaciones estructurales todavía sin resolver limitan la exactitud de estas cifras.

Formación Fómeque.- La Formación Fómeque que superyace concordantemente el Cáqueza constituye la unidad más baja del Grupo Villeta, está compuesta de arcillolitas grises oscuras, limosas y comunmente carbonáceas. La estratificación varía desde laminar hasta gruesa. Capas de margas café oscuras a grises son muy comunes y alcanzan a varios metros de espesor. Interestratificadas localmente se presentan limolitas micáceas, areniscas de grano fino y en algunos sitios lentes de coquina gris a negra. En toda la unidad se encuentran concreciones de pirita, pero estas parecen ser más comunes en la parte superior de la formación. Ocasionalmente se presentan estratos carbonosos y fragmentos carbonáceos. La sal parece estar presente en dos horizontes: el más bajo aproximadamente a 1.600 m arriba de la base y el más alto a unos 900 m por debajo del tope de la formación.

La topografía dada por la Formación Fómeque es generalmente mucho más suave que la de la Formación Cáqueza. El contraste topográfico entre las dos unidades generalmente se expresa bien en el contacto. La Formación Fómeque se meteoriza originando una serie de “salientes” que son

características debidas a la interestratificación de margas que por ser más resistentes resaltan en los afloramientos.

La Formación Fόμεque se considera de edad Barremiano a Aptiano aunque los límites reales de tiempo todavía no han sido determinados con precisión. El espesor de la formación varía de 1.500 a 3.200 m. La formación se adelgaza hacia el sur en el área situada al NE y E de Bogotá.

Formación Une.- La Formación Une unidad intermedia del Grupo Villeta cubre concordantemente el Fόμεque y el contacto entre las dos unidades es bien definido. La Formación Une se compone de areniscas cuarzosas grisclaras, duras y de grano fino a medio. Localmente las areniscas tienen un alto contenido de moscovita y en algunas áreas son ligeramente glauconíticas. La estratificación en la parte sur de la Zona IV es comunmente muy gruesa. Las capas se adelgazan hacia el nordeste y hacia el norte se intercalan más capas arcillosas. Ocasionalmente afloran mantos de carbón.

La Formación Une presenta siempre una conspicua expresión topográfica y las areniscas de la parte superior forman grandes pendientes estructurales en varios sitios. Esta formación tiene una edad que se extiende, desde el Albiano hasta finales del Cenomaniano y un espesor que varía entre 450 y 800 m.

Formación Chipaque.- La Formación Chipaque es la unidad superior del Grupo Villeta. En todas partes es concordante con el Une. El Chipaque se caracteriza por arcillolitas gris oscuras a negras y de estratificación gruesa a pizarrosa, localmente piritosas. Estas arcillolitas son en parte limosas y relativamente blandas. En el área de Bogotá se encuentran capas de limolita y arenisca cuarzosa de grano fino a limoso algunas de las cuales están impregnadas por hematita. La sal es común en la parte baja de la formación y parece estar restringida a un solo intervalo.

La Formación Chipaque se caracteriza por una topografía hundida y suave. Los deslizamientos son comunes. Esta unidad aflora en las zonas axiales de los anticlinales de la Sabana de Bogotá en donde por lo general, está muy deformada estructuralmente. La edad de la Formación Chipaque va desde finales del Cenomaniano hasta el Coniaciano superior. El espesor es difícil de determinar y parece variar de 400 a 700 m.

Formación Guadalupe Inferior.- El Chipaque está cubierto concordantemente por la Formación Guadalupe Inferior. El contacto entre estas dos unidades se coloca en la base de la primera arenisca prominente que

superyace la Formación Chipaque. Además del miembro basal de arenisca la Formación Guadalupe Inferior está compuesta por limolitas gris-claras a gris-oscuras y arcillolitas limosas con delgadas intercalaciones de arenisca gris-clara de grano fino.

La topografía de esta Formación es también suave y comunmente presenta hundimientos. En donde el miembro arenoso inferior es grueso se forman escarpes. El más prominente de éstos se encuentra unos pocos km al oeste de Choachí sobre la carretera que conduce a Bogotá.

La edad de la Formación Guadalupe Inferior va desde finales del Coniaciano hasta principios del Campaniano. El espesor varía desde unos pocos centímetros en el oeste donde la arenisca se acuña hasta 750 m en el este. Puesto que el Guadalupe Inferior es litológicamente transicional entre el Chipaque y la Formación Guadalupe Superior, es difícil la separación entre las dos unidades en áreas con complicaciones estructurales o donde la facies arenosa está ausente o no expuesta.

Formación Guadalupe Superior.- La Formación Guadalupe Superior está compuesta por tres miembros:

1) El miembro más bajo es una arenisca cuarzosa, dura, lenticular de color gris muy claro a gris claro parduzco, principalmente de grano medio. La estratificación es localmente muy gruesa.

2) Encima de esta arenisca ocurren limolitas silíceas con estratificación muy delgada, en parte duras y con una fauna rica en foraminíferos en muchos lugares.

3) La arenisca superior es muy prominente donde quiera que aflora en el área de la Sabana de Bogotá. Este miembro es generalmente duro, localmente friable, de grano medio hasta grueso y ligeramente gujarroso en algunas partes. La estratificación es con frecuencia muy gruesa. Ocasionalmente se encuentra estratificación cruzada muy notoria. Son comunes las intercalaciones menores de limolita y arcillolita limosa, en algunas partes cementadas con sílice.

La Formación Guadalupe Superior está bien expresada topográficamente formando pendientes estructurales prominentes, en muchos de los anticlinales del área de la Sabana de Bogotá y también forma escarpes tanto dentro de ella, como en las márgenes de la altiplanicie.

La Formación Guadalupe se depositó desde el Campaniano hasta principios del Maestrichtiano. El espesor de la formación varía entre 600 y 1.000 m.

Formación Guaduas.- La Formación Guaduas suprayace concordantemente con la Formación Guadalupe Superior aunque en algunos sitios presenta evidencias de un hiato de erosión entre las dos unidades.

Con excepción de un área pequeña al sur de Bogotá la Formación Guaduas es una secuencia continental de arcillolitas limosas, generalmente gris claras en la parte baja de la formación y rojizas en la parte superior. Areniscas cuarzosas friables y arcillosas forman dos intervalos que son a veces prominentes. En toda la formación se presentan mantos de carbón, pero especialmente en la parte baja donde es explotado en minas pequeñas.

La Formación Guaduas se meteoriza dando una topografía de montículos suaves con frecuentes hundimientos.

La mayor parte de la Formación Guaduas es de edad Maestrichtiano, pero el intervalo superior es probablemente Paleoceno. El espesor de la Formación Guaduas es muy variable entre 25 y más de 1.000 m.

#### TERCIARIO

Arenisca del Cacho.- Concordantemente sobre la Formación Guaduas se encuentra la Arenisca del Cacho, secuencia de arenisca de grano grueso a localmente conglomerática, friable, cuarzosa y con estratificación cruzada. Las capas de grano grueso comunmente están separadas por una arcillolita gris-clara a gris-marrón. La Arenisca del Cacho comunmente forma colinas y lomos bajos fácilmente distinguibles.

La edad Paleoceno asignada al Cacho se estableció indirectamente con base en palinología. Su espesor alcanza a los 400 m. Al oeste de Zipaquirá sin embargo, la unidad probablemente falta debido a una discordancia local entre las unidades inferiores y la Formación Bogotá que la suprayace.

Formación Bogotá.- La Formación Bogotá es de origen completamente continental y yace concordantemente sobre la Formación Cacho excepto en el área mencionada anteriormente.

La formación se compone de lodolitas y arcillolitas limosas rojo-grisáceas en parte púrpuras y gris verdosas, en general pobremente estratificadas.

Localmente se encuentran lentejones de areniscas de grano fino a medio, friables y abigarradas. Al norte de Bogotá se observa material carbonoso formando mantos delgados de carbón arcilloso de bajo grado.

La Formación Bogotá que es incompetente presenta una topografía suave caracterizada por muchos derrumbes, deslizamientos e inversiones por gravedad. Datos palinológicos sugieren que la edad de la Formación Bogotá va desde el Paleoceno al Eoceno inferior.

El verdadero espesor de la formación es muy difícil de establecer a causa de la naturaleza incompetente de la unidad. Secciones transversales en el área de Bogotá sugieren que va desde los 450 hasta los 800 m.

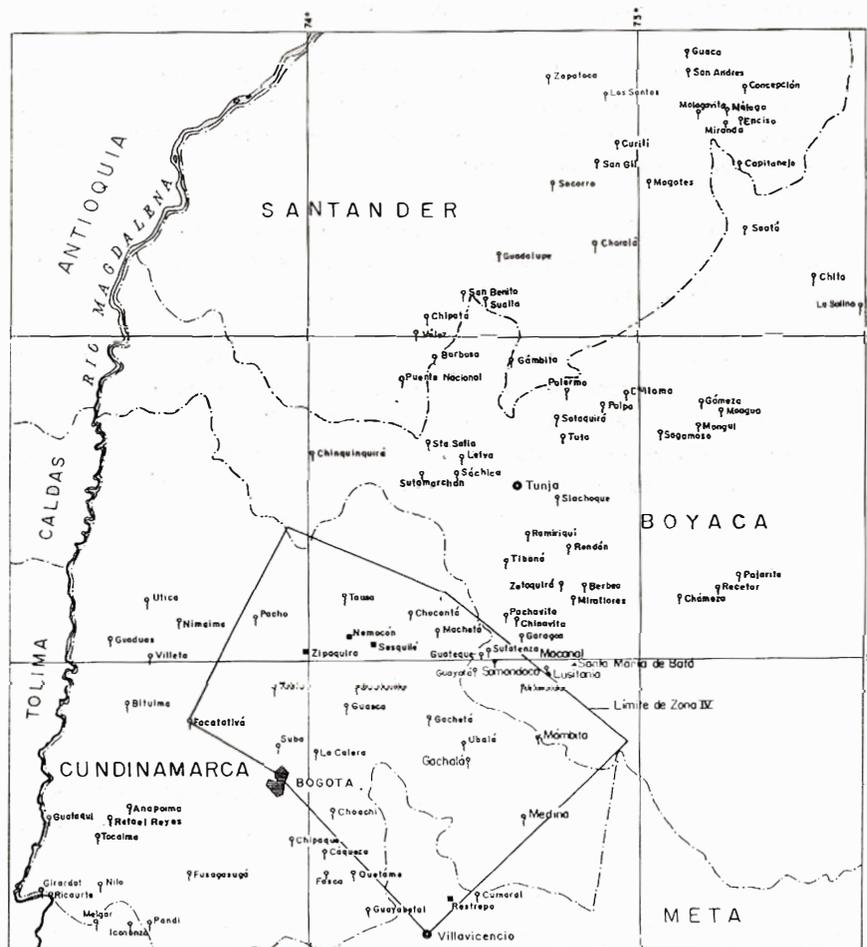
Estratos Terciarios más jóvenes.- Las rocas sedimentarias, principalmente de grano grueso, que suprayacen la Formación Bogotá son continentales y pueden alcanzar 650 m de espesor. Puesto que estas unidades, incluyendo La Regadera, Tilatá y aluviones, no están directamente relacionadas con los anticlinales de sal en el área de Bogotá, no serán tratadas en este informe.

## EVAPORITAS

Los depósitos de sal y fuentes saladas dentro de la Zona IV forman, solo una pequeña parte de las evaporitas presentes en la Cordillera Oriental.

Fuentes saladas que indican la presencia de sal se conocen desde Girardot en el suroeste hasta el área de Málaga-Guaca en el noreste como se muestra en la figura 4. Sin embargo, las minas de sal actualmente en explotación y anteriormente explotadas, están localizadas dentro de la Zona IV.

Se elaboró la cartografía subterránea detallada en todas las minas de sal accesibles y la de las áreas superficiales conexas con el objeto de determinar su ocurrencia, la edad de los depósitos, la posibilidad de aumentar la producción de sal y establecer el contenido de potasio.



EXPLICACION

● Fuente Salada    
 ▲ Deposito de Yeso    
 ■ Mina de Sal

Fig. 4 UBICACIONES CONOCIDAS DE FUENTES SALADAS, DEPOSITOS DE YESO Y MINAS DE SAL EN EL SECTOR CENTRAL DE LA CORDILLERA ORIENTAL COLOMBIA

10 0 50 100 km

## LOCALIZACION DE LOS DEPOSITOS

Minas de sal.- Las minas de Zipaquirá y Nemocón están situadas 50 y 60 km respectivamente, al norte de Bogotá en las márgenes de la altiplanicie de la Sabana. La mina de Sesquilé localizada aproximadamente 37 km al N-NE de Bogotá ha estado abandonada por muchos años y es inaccesible por los derrumbes. La mina de Upín está situada 22 km al N-NW de Villavicencio, en el límite oriental de la Cordillera Oriental. La ubicación de todas las minas se muestra en la figura 4.

Fuentes saladas.- Fuentes saladas (salinas) se conocen en los estratos cretáceos en la zona central de la Cordillera Oriental desde Girardot en el suroeste hasta el límite oriental de la cordillera. La fuente salada más meridional está en el distrito Icononzo-Pandi a lo largo del límite suroriental del Departamento de Cundinamarca; las más septentrionales están en la región Málaga-Guaca en el Departamento de Santander. La mayoría de las fuentes saladas están al E y N de Bogotá y se extienden fuera del área de investigación como puede verse en la figura 4. Por limitaciones de tiempo no fueron visitadas todas las fuentes saladas.

Dentro del área investigada sólo dos de las fuentes saladas están siendo explotadas. La más importante está ubicada aproximadamente 5 km al N de Gachetá, la otra está en El Salitre, cerca de Somondoco. La salina de Gachetá sirve principalmente para atender las necesidades locales y la de Somondoco, solamente como fuente de sal para ganado. Otra fuente salada está en Mámbita cerca del frente oriental de la Cordillera Oriental, unos 90 km al N-NE de Bogotá.

Depósitos de yeso.- Se conocen varios depósitos de yeso interestratificados con arcillas en la parte inferior del Grupo Cáqueza, en la Cordillera Oriental. Estos depósitos están localizados como sigue (figura 4):

- 1) Unos pocos kilómetros al N de Santa María de Batá;
- 2) En Lusitania sobre el Río Batá (Garagoa);
- 3) Aproximadamente 4 km al Este de Gachalá; y
- 4) En el municipio de Páez, cerca del borde NE del cuadrángulo del Guavio, se encuentran por lo menos 5 afloramientos de yeso estratificado en la parte baja del Cáqueza; por lo menos dos están siendo explotados rudimentariamente.

## SUCESION ESTRATIGRAFICA Y EDAD DE LAS EVAPORITAS

### BERRIASIANO - VALANGINIANO

Los depósitos de yeso, la sal suministrada a la salmuera de la fuente cercana de Mámbita y el depósito de sal de Upín son todos probablemente correlacionables. Fósiles berriasiano-valanginianos se encuentran en arcillas margosas en el depósito de Lusitania (D. Gutiérrez, comunicación escrita, 1969). Se han encontrado fósiles valanginianos, varios cientos de metros estratigráficamente encima del depósito de yeso cerca a Gachalá, Hubach (1957b p.110) afirma que la sal de Upín es probablemente valanginiana pero sin dar evidencias. Campbell y Bürgl (1965, p.576) consideran que los estratos cretácicos cerca de Villavicencio son de edad Berriasiano.

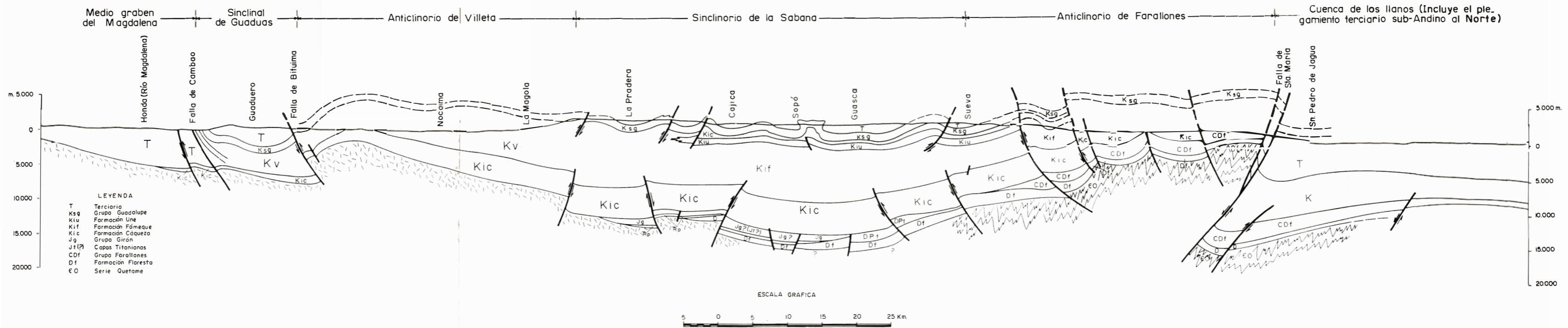
Esta secuencia de evaporitas se encuentra en la parte baja de la Formación Cáqueza, pero su posición exacta no se conoce todavía.

### BARREMIANO TARDIO - COMIENZOS DEL APTIANO

Los resultados de la cartografía regional sugieren que la fuente salada del Salitre, cerca de Somondoco, se deriva probablemente de sal depositada a finales del Barremiano comienzos del Aptiano; sin embargo, no hay evidencias paleontológicas definitivas. Esta fuente salada está en la parte baja de la Formación Fómeque de edad Barremiano Medio a finales del Aptiano (Hubach, en Kehrler, 1933).

### APTIANO TARDIO

Las "salinas" de Gachetá se encuentran alineadas con estratos que hacia el sur contienen fauna del Aptiano tardío. Una fauna pobremente preservada y raquítica que se encontró en las inmediaciones de las salinas, sustenta la edad asignada. La cartografía regional sugiere que la sal de las "salinas" proviene de la parte superior de la Formación Fómeque.



lancha II CORTE TRANSVERSAL A TRAVES DE LA CORDILLERA ORIENTAL

La fuente salada cerca de Choachí (figura 4) probablemente también deriva su sal de la parte superior de la Formación Fómeque, de finales del Aptiano (Renzoni, 1965).

#### TURONIANO - CONIACIANO TARDIO

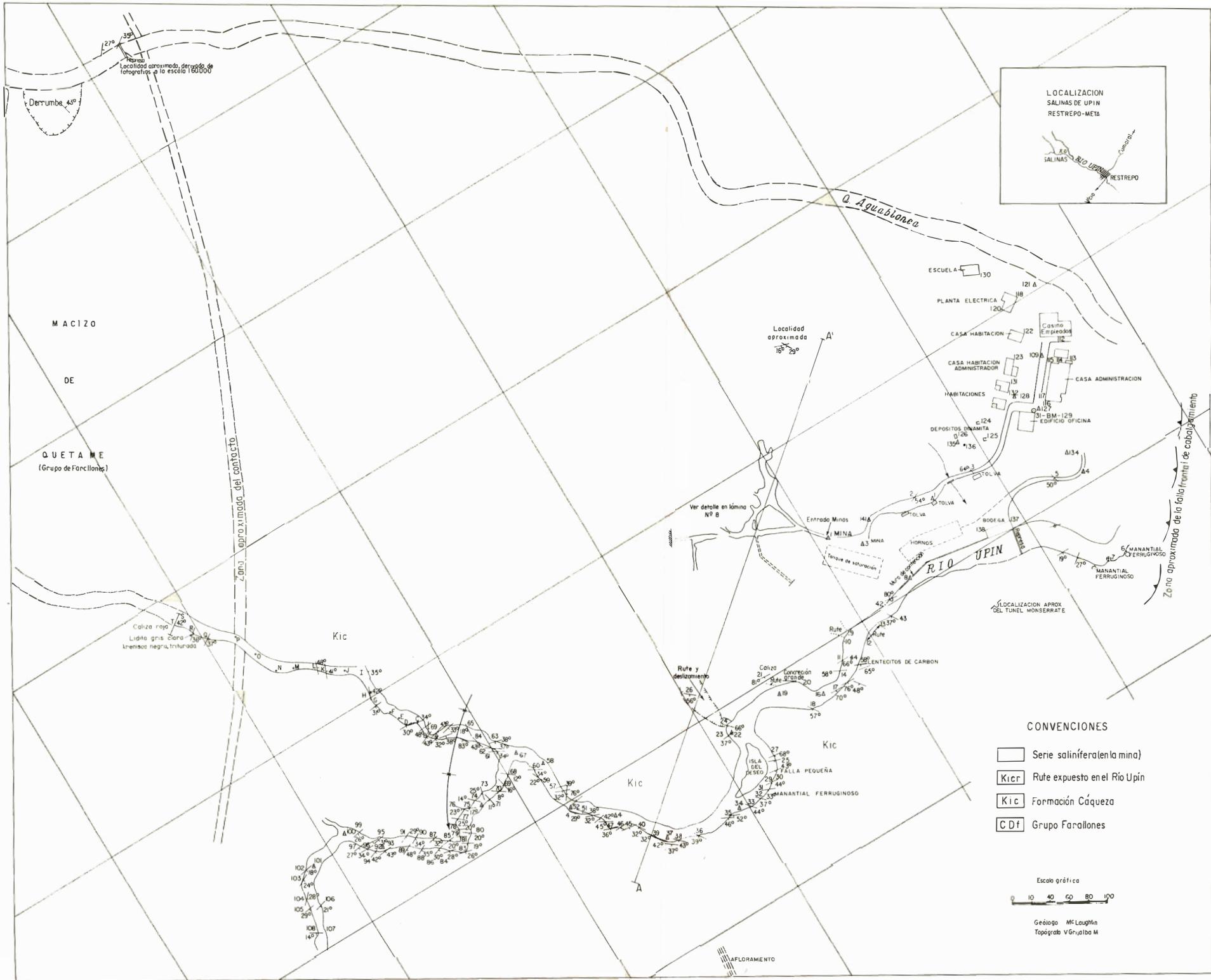
La secuencia salina de la región de la Sabana de Bogotá parece haberse depositado durante el Turoniano y comienzos del Coniaciano. Una amonita turoniana fué colectada en los estratos inmediatamente subyacentes al depósito de Zipaquirá (Bürgl, comunicación oral, 1965). Una fauna tardoconiaciana fué recogida de residuos salinos meteorizados en las salinas de Tausa y la misma fauna fué encontrada en capas adyacentes a la mina de sal de Nemocón. Cerca de La Pradera y aproximadamente 11 km al oeste de Zipaquirá se encuentran fósiles del Coniaciano tardío asociados a residuos de sal interestratificados con arcillolitas negras.

Todas las evidencias, hasta el momento, sugieren que los depósitos de sal de la Sabana de Bogotá están en la Formación Chipaque; pero es difícil precisar su posición estratigráfica dentro del Chipaque por carencia de buenos afloramientos, complicaciones estructurales y variaciones de espesor de la formación.

Estas cuatro secuencias evaporíticas son las mejor conocidas. Todas están en las arcillolitas negras y limolitas del Cretáceo que infrayacen la Formación Guadalupe Inferior (de finales del Coniaciano a comienzos del Campaniano). El espesor agregado de la sección de arcillolitas negras y limolitas oscila entre 10.000 y 12.000 m.

#### ESTRUCTURA DE LAS CAPAS SALINIFERAS

La orientación estructural regional en el área en discusión varía de N35°E a N40°E con algunas excepciones locales. El área entera ha sufrido compresión tangencial que formó numerosos pliegues y fallas inversas de buzamientos altos y relativamente extensas que están relacionadas con los pliegues.



- CONVENCIONES
- Serie salinifera (en la mina)
  - Kicr Rute expuesto en el Río Upin
  - Kic Formación Cáqueza
  - C Df Grupo Farallones

Escala gráfica  
 0 10 20 40 60 80 100

Geólogo McLaughlin  
 Topógrafo V. Gralaba M.

Plancha III MAPA DE LA SUPERFICIE EN LA VECINDAD DE LA MINA UPIN. RESTREPO (Dpto. Meta)

La orientación estructural regional en esta área es NE-NW. Gran parte de la sal de la mina y los estratos del Cáqueza a lo largo del río Upín, tienen rumbos que divergen con respecto a esta orientación, sugiriendo que pueden haber ocurrido movimientos transcurrentes en una o en ambas fallas, rotando los depósitos de sal y los estratos encajantes.

Fuente de Gachetá.- La cartografía regional indica que la fuente salada de Gachetá está cerca de la cresta del anticlinal del mismo nombre a lo largo de la falla inversa de La Chorrera-Salinero, a la cual el anticlinal parece converger. Esto está ilustrado en la Plancha I en las áreas d-5 y d-6. La carencia de afloramientos impide un conocimiento estructural más detallado de esta área.

Mina de Zipaquirá.- El depósito de sal de Zipaquirá está ubicado en un anticlinal que tiene una extensión cartografiada de 129 km. En Zipaquirá las facies productoras de sal de la Formación Chipaque aparentemente se encuentran en una cuña levantada entre fallas en la cresta del anticlinal. Esta área de la cresta y el flanco occidental se han movido sobre el flanco oriental del anticlinal a lo largo de una falla inversa pronunciada, de buzamiento elevado, cuya traza yace directamente al este del depósito (figura 5 y Plancha IV). El corte transversal (figura 5), también sugiere que las arcillas del Chipaque han fluído plásticamente hacia la parte axial del anticlinal.

El límite septentrional del depósito de Zipaquirá, mostrado en la Plancha IV, está formado por una falla de rumbo, de desplazamiento izquierdo (left-lateral), la cual es probablemente una derivada de la falla inversa principal situada al este del depósito. El límite meridional no se conoce.

Mina de Nemocón.- El anticlinal en el cual se encuentra el depósito de Nemocón tiene una extensión axial conocida de 148 km. La estructura de esta área (figura 6) consiste de dos anticlinales originalmente separados y “en echelón” que posteriormente se unieron debido a esfuerzos compresionales. El depósito de sal está en el cabeceo nororiental del anticlinal Nemocón Sur; la sal pudo haber estado presente donde el anticlinal Nemocón Norte cabecea hacia el suroeste; en este sitio existe una gran depresión recubierta por arcillas del Chipaque. El desarrollo estructural de los anticlinales de Nemocón se muestra en la figura 6. Todavía existe un remanente del sinclinal que separa los cabeceos de los dos anticlinales como puede visualizarse en la figura 6. La configuración estructural actual del área se sugiere en la figura 7 y en la Plancha I, área b-3.

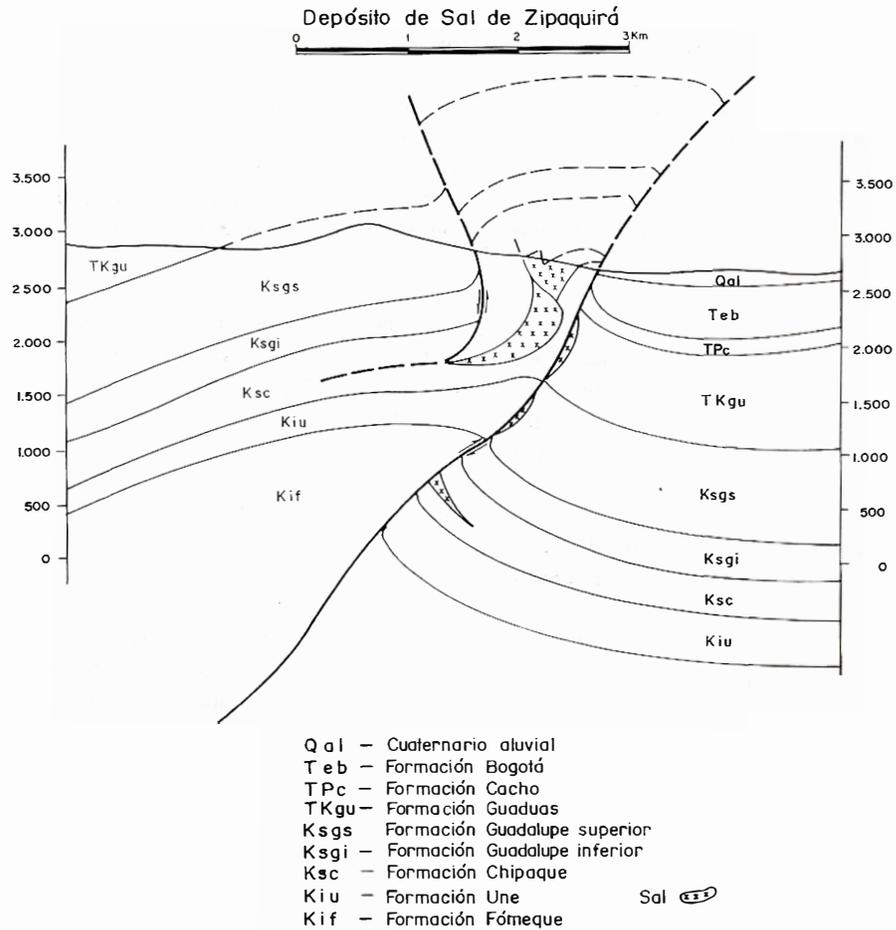
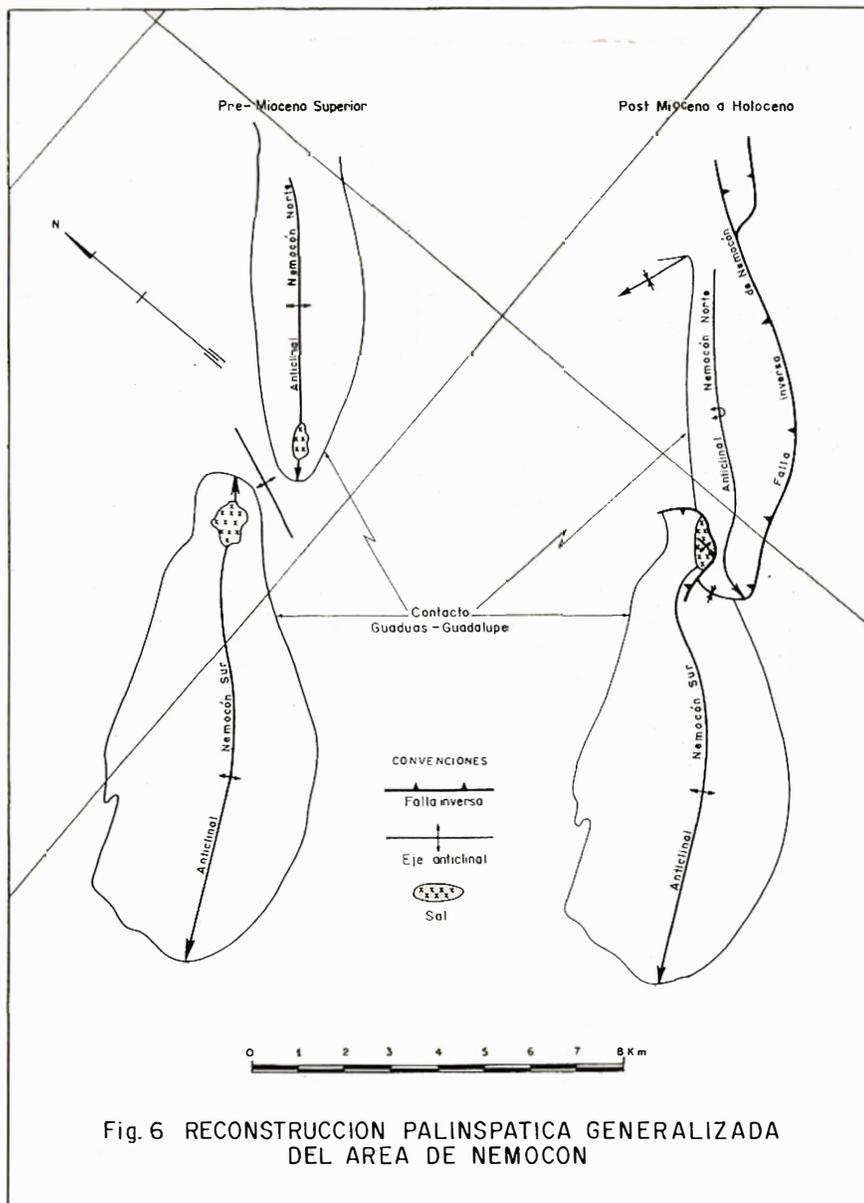


Fig. 5 CORTE TRANSVERSAL ESQUEMATICO QUE MUESTRA LA ESTRUCTURA DEL DEPOSITO DE SAL DE ZIPAQUIRA



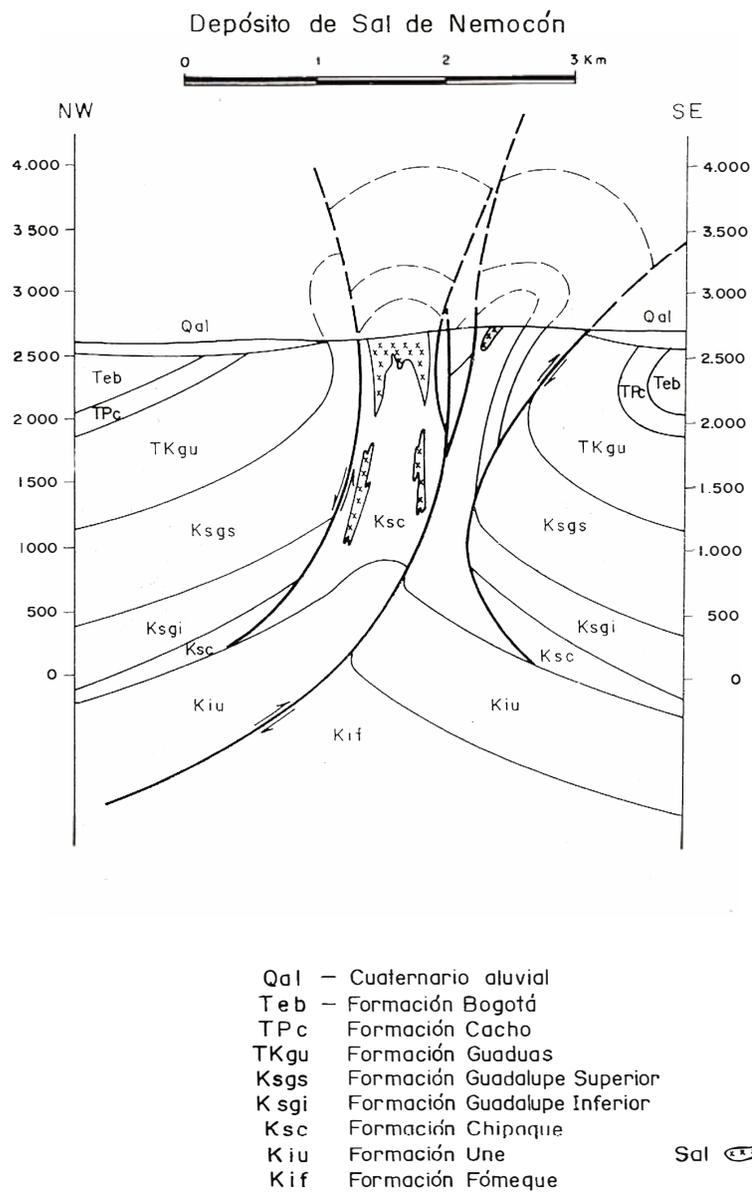


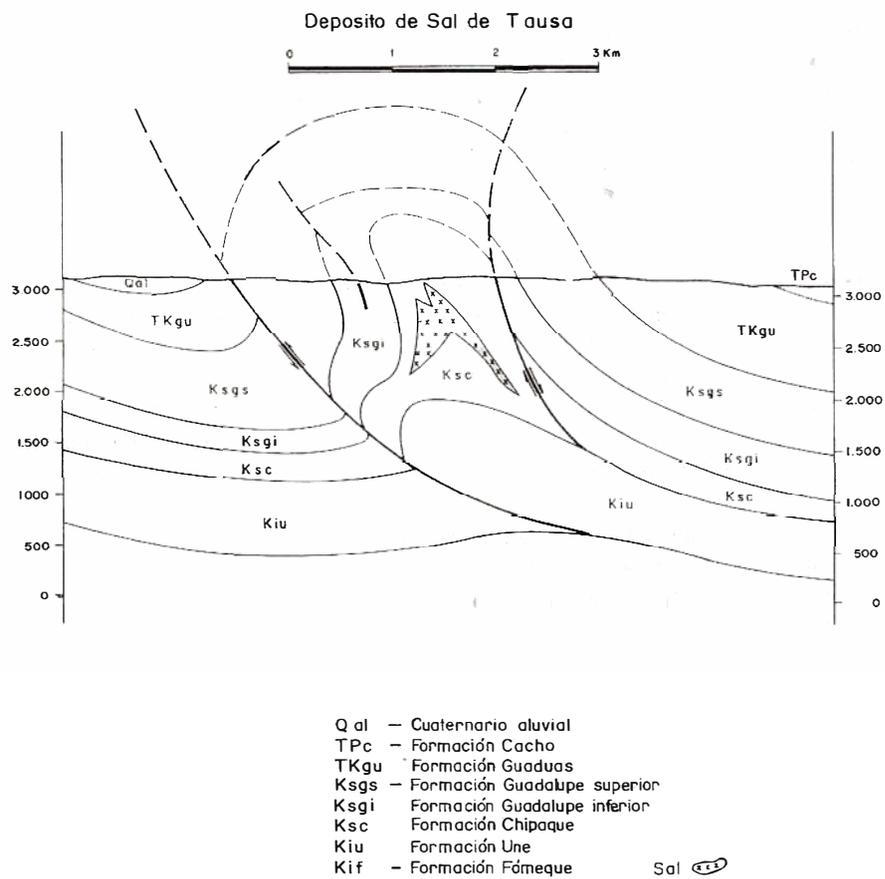
Fig. 7 SECCION TRANSVERSAL DIAGRAMATICA DEL DEPOSITO DE SAL DE NEMOCON

El depósito de sal de Nemocón es probablemente un anticlinal que cabecea hacia el sur, tal como se muestra en el mapa de la mina (Plancha V). Como el depósito está en el cabeceo nororiental del anticlinal que sigue la misma dirección, la sal pudo haber sido rotada unos  $45^{\circ}$ , probablemente en dirección contraria a las agujas del reloj a medida que los dos anticlinales se acercaban. La rotación y cabeceo de la sal plegada sugieren que la nariz (cabeceo) nororiental del anticlinal Nemocón Sur se movió con relación a la nariz suroriental de la estructura Nemocón Norte. La falla inversa, con buzamiento noroeste, que limita el flanco sureste de la extensión meridional del anticlinal Nemocón Norte, también sugiere un movimiento hacia el sureste. Esta última falla (Plancha I, área b-3) es un rasgo regional y tiene una traza de cerca de 17 km.

Minas y Fuentes de Tausa.- Esta fuente salada pertenece a un sistema anticlinal que tiene una extensión meridional cartografiada de 39 km. La cartografía adicional hacia el norte, sin embargo, aumentará esta cifra considerablemente. El depósito del cual se derivan las salmueras está en una cuña salinífera en la parte axial del anticlinal de Tausa. La cuña ha sido levantada por fallas, colocando la Formación Chipaque estructuralmente por encima de la Formación Guadalupe Inferior (de finales del Coniaciano al Campaniano) adyacente. Estas relaciones se muestran en la figura 8 y en la Plancha I.

Al suroeste de los antiguos trabajos mineros, el límite nororiental del anticlinal de Tausa está formado por una falla inversa que buza al sureste y tiene una extensión de por lo menos 10 km hacia el suroeste. Aproximadamente 4 km al sur de los trabajos mineros, la falla inversa elimina el flanco noroccidental del anticlinal como se muestra en la Plancha I, áreas a-2 y b-2. En esta región existen pequeños cursos de agua que ocasionalmente son salados. Esto sugiere que el depósito de Tausa puede extenderse aún más hacia el SW de lo que indican los residuos de sal que afloran 2 km al SW de los antiguos trabajos de explotación. La falla inversa puede continuar hacia el sur a través de un valle cubierto por aluviones y reaparecer a lo largo del borde suroriental de los cerros de Cogua, donde buza hacia el noroeste y el movimiento ha sido hacia el sureste. Estas relaciones se muestran en la Plancha I, áreas a-2, a-3 y b-2.

Mina de Sesquilé.- El sistema anticlinal que contiene el depósito de Sesquilé tiene una extensión axial cartografiada de 96 km. Una antigua mina de sal está situada en el extremo meridional de una cuña de arcillolitas del Chipaque levantada por una falla en la parte central del anticlinal. Esta cuña, que podría comprobarse como salinífera al norte de la antigua mina de sal, está cubierta por residuos meteorizados de sal, tiene una longitud de cerca de 1.500 metros y unos 500 m de ancho. Estas relaciones estructurales se muestran en la figura 9 y en la Plancha I, b-4.



**Fig.8 SECCION TRANSVERSAL DIAGRAMATICA DEL ANTICLINAL DE TAUSA.**

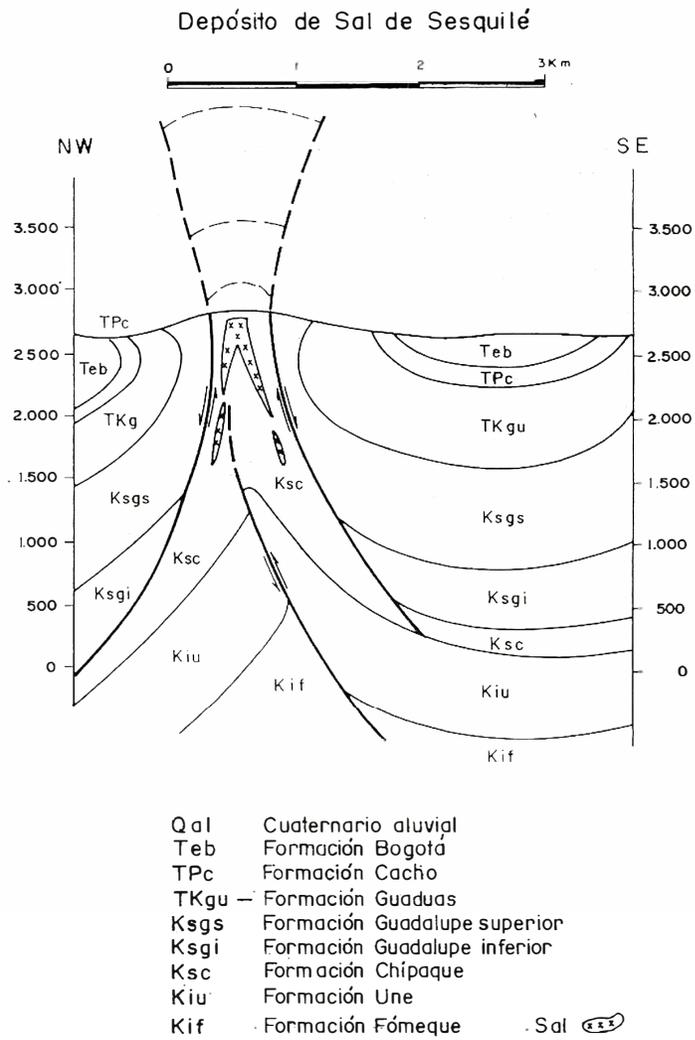


Fig. 9 SECCION TRANSVERSAL DIAGRAMATICA A TRAVES DEL DEPOSITO DE SAL DE SESQUILE:

Al SE del antiguo portal de la mina se presentan algunas fallas de rumbo como puede observarse en la Plancha I, b-4.

Depósitos de sal que se infieren de las estructuras geológicas.- Al este de la Sabana de Bogotá afloramientos, generalmente pobres, impiden estudios detallados de otros depósitos de sal. En la Sabana de Bogotá los prospectos de sal más prometedores están a continuación de las áreas productoras conocidas, tales como las de Zipaquirá, Sesquilé y Tausa. Aproximadamente 3 a 4 km al noroeste de la mina de Zipaquirá en el área de Pantano Redondo (mostrado erróneamente como Laguna Verde en la Plancha I), la cartografía geológica sugiere la presencia de sal a poca profundidad. Esta posibilidad también se presenta al norte de la mina de Sesquilé. La cartografía detallada al sur de la fuente salada de Tausa indica que la sal puede continuar al suroeste por una distancia de 9 km. En el área de Pericos, unos 20 km al noroeste de Bogotá, los estudios geológicos indican la posible presencia de sal. Hubach (1957, Pl.1) citó un "eczema" de sal en esta área y varias de las quebradas son saladas periódicamente.

## AFLORAMIENTOS

Rute.- El término minero rute, de uso local, lo introdujo en la literatura geológica R. Scheibe (1933, p.51-59). El rute es un residuo insoluble de estratos saliníferos, el cual permanece después de que se ha producido la lixiviación de la sal por aguas meteóricas. La mayor parte del rute es una arcilla maciza negra blanda y margosa que contiene fragmentos de arcillolita negra margosa laminar a maciza de varias dimensiones. La pirita es común en el rute y/o los fragmentos de arcillolita o como granos diseminados.

Además de los materiales insolubles derivados de los estratos de sal, el rute comunmente contiene fragmentos irregulares de caliza de grano grueso hasta de 15 cm de longitud, los cuales son formados por procesos secundarios en el rute. La caliza muestra varios tonos de gris claro y generalmente emite un olor fétido en fracturas frescas. Localmente los fragmentos de calizas contienen parches de azufre nativo que cubren los granos de calcita, de los cuales los más gruesos alcanzan varios milímetros.

Aunque el rute es generalmente macizo pueden observarse tenues contornos de estratificación en los cortes de la carretera en la mina de Zipaquirá y en cicatrices de deslizamientos en Sesquilé. El rute que ha sido completamente meteorizado tal como el de Sesquilé es de color canela a gris, totalmente descalcificado y se parece mucho a la Formación Guaduas. Cristales euhedrales de cuarzo hasta de 1 mm de longitud, probablemente de formación secundaria, son abundantes dentro del rute de Sesquilé. En el rute de esta localidad en un área que suprayace un estrecho altiplano se presentan cubos de limolitas pseudomorfos según pirita. No se conoce el porqué el rute que cubre el valle de Sesquilé está más meteorizado que el rute en cualquier otro sitio. Quizá un exceso de pastoreo acabó con la yerba protectora y permitió la meteorización, derrumbes y deslizamientos locales más profundos.

El Laboratorio Químico Nacional efectuó los análisis químicos del rute a partir de los cuales se calculó la composición mineralógica (Cuadro 1).

CUADRO 1.- Composición mineralógica del rute calculada a partir del análisis químico. (Minas de Zipaquirá y Nemocón).

<u>Minerales/Compuestos</u>	<u>Zipaquirá</u>	<u>Nemocón</u>
Halita	17.5%	18.4%
Pirita	6.7%	5.5%
Anhidrita	11.9%	3.2%
Calcita	18.7%	27.8%
Magnesita	7.5%	5.9%
Minerales arcillosos	32.3%	23.4%
Fosfato tricálcico	0.4%	0.5%
Materia orgánica	5.0%	2.4%
Esfalerita	0.0%	0.3%
Leucoxeno	0.0%	0.3%
Cuarzo	0.0%	11.5%
Agua de cristalización	<u>0.0%</u>	<u>0.9%</u>
	100.0%	100.1%

Este mismo laboratorio hizo un análisis del material residual de la

mina de Upín; infortunadamente no se siguieron los mismos procedimientos analíticos usados para las muestras de Zipaquirá y Nemocón. Los resultados son los siguientes:

<u>Minerales/Compuestos</u>	<u>Upín</u>
Halita	5.84%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.86%
SiO <sub>2</sub>	45.40%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.72%
CaO	10.10%
MgO	3.80%
TiO <sub>2</sub>	0.88%
Zn	Trazas
CO <sub>2</sub> y materia orgánica	2.91%
H <sub>2</sub> O de cristalización	2.16%

La cantidad baja de halita en el material residual refleja probablemente la mayor cantidad de lluvia que este material recibe en Upín comparado con el de la Sabana de Bogotá. La mayor cantidad de cuarzo que se muestra como SiO<sub>2</sub> resulta del aporte de arena a la cuenca evaporítica original.

Depósitos de yeso.- El afloramiento del depósito de Lusitania (figura 10) es una mezcla caótica de yeso en lentes de algunos metros de espesor y fragmentos brechosos irregulares.

El yeso está íntimamente asociado con una arcillolita negra piritosa, laminar a maciza y localmente fosilífera. Acompañando esta roca se presenta un material calcáreo negro idéntico al rute descrito anteriormente. Lentes de calcita fibrosa, iguales a los que se observan en los depósitos estratificados de sal, se encuentran localmente interestratificados en las arcillolitas negras y alcanzan varios centímetros de espesor. Bloques de caliza gris clara a canela, laminares y ligeramente piritosos también se presentan.

Los autores de este informe no tuvieron oportunidad de visitar los depósitos de yeso de Gachalá o Santa María de Batá, pero algunos de los colegas colombianos informan que son similares a los de Lusitania.

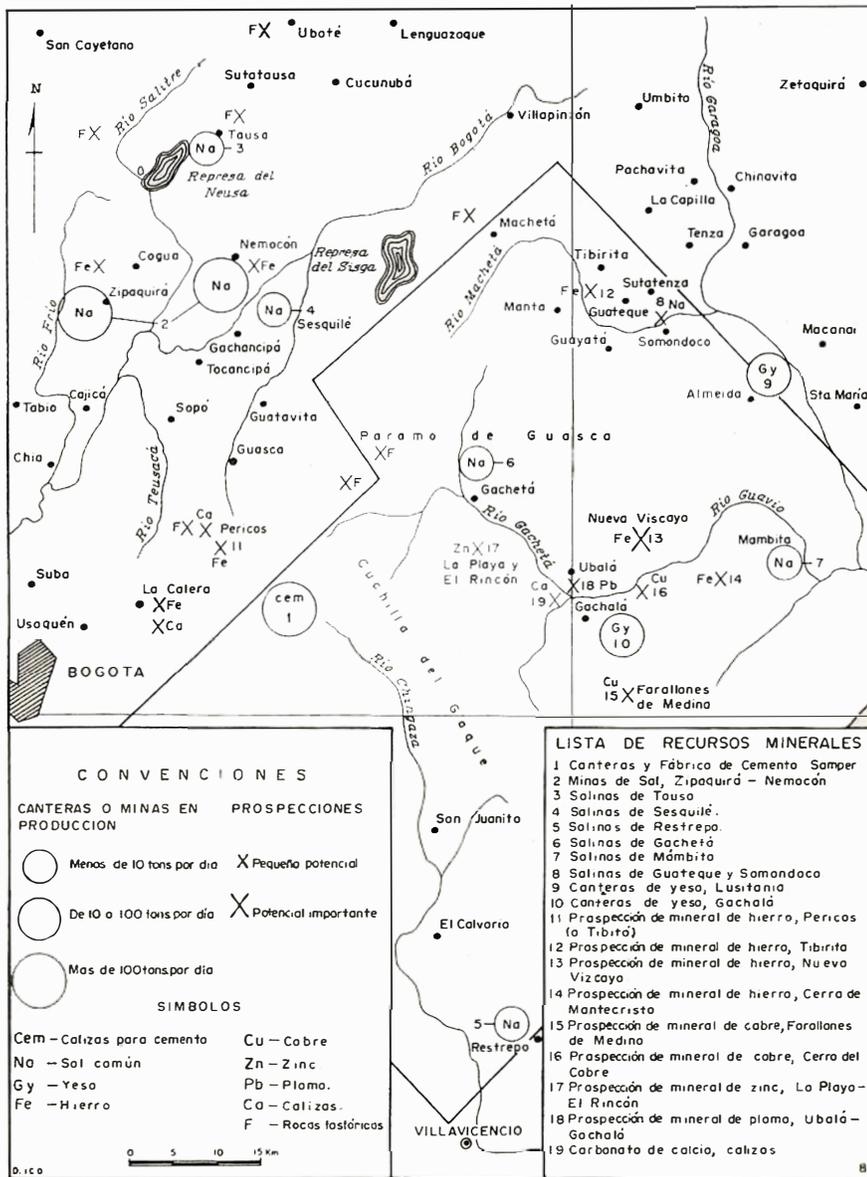


Fig. 10 LOCALIZACION DE LOS RECURSOS MINERALES DE LA ZONA IV, EXCLUYENDO EL CARBON.

Rocas sedimentarias ricas en hierro.- Dos tipos de rocas sedimentarias ricas en hierro están asociados con los estratos de sal. El primer tipo, son arcillolitas localmente ricas en pirita, las cuales forman bloques y grandes cuerpos; al otro, pertenecen limolitas y areniscas de grano fino impregnadas de hematita.

En la Sabana de Bogotá los estratos hematíticos parecen ser correlacionables con los depósitos de sal y obviamente están relacionados en el espacio con la sal de Nemocón y Tausa. Se colectaron fósiles de edad Coniaciano temprano en estos estratos en Nemocón y en La Calera, cerca de la terminación septentrional de la cuña de Pantano Redondo que probablemente contiene sal, varios km al noreste de la mina de Zipaquirá. Fósiles turonianos fueron encontrados en la parte baja de una gruesa secuencia impregnada con hematita en el área de Pericos, 8 km al SW de Guasca (Plancha I). Sobre la zona principal se encuentran estratos más delgados y menos impregnados con hematita que se alinean en rumbo con las arcillolitas coniacianas y que están cerca de una cuña que probablemente contiene sal y en la cual Hubach (1957, p.110, pl.1) dice que hay rute. El rute está en contacto fallado con estratos hematíticos en la región de Siberia, 1 km al este de La Calera.

Bloques de siderita (Luis Castillo, comunicación escrita 1967) se encuentran en la región boscosa 5 km al norte de las Salinas de Gachetá y pueden ser derivados de siderita sedimentaria, alineada en rumbo con las arcillolitas de las salinas.

Estratos carbonáceos.- El intervalo de sal Berriasiano-Valanginiano, localmente contiene material carbonáceo. Campbell y Bürgl (1965, p.576) dicen que los estratos arcillosos del Berriasiano, cerca de Villavicencio, son abundantes en residuos de plantas y material carbonáceo. En el río Upín, al sur de la mina de Upín, se encuentran cantidades pequeñas de material carbonoso en los estratos limolíticos y arcillolíticos de la Formación Cáqueza. Existen carbones cerca de Algodones, 18 km al este de Gachetá y 7 km al S-SW de Mámbita (Justo Correal, comunicación oral, 1967).

Todavía no se han encontrado estratos carbonáceos notorios en la secuencia de sal del Barremiano a Aptiano temprano. Durante la estadía de uno de los autores de este informe en Colombia, este intervalo no se había estudiado aún en detalle, puesto que se presenta en el cuadrángulo del Guavio (K-12) donde la cartografía está en progreso.

En el intervalo del Aptiano tardío, a corta distancia al sur de las salinas de Gachetá, se encontraron fragmentos de carbón en arcillolita limosa cerca a donde se encuentra rute.

En la Hacienda San Bernardo unos pocos kms al W de Choachí

dentro del intervalo que va del Turoniano al Coniaciano temprano se encuentran dos capas de carbón. El más potente de estos mantos, de casi un metro de espesor, fué explotado hasta hace poco tiempo. Varios kilómetros hacia el norte afloran más mantos de carbón en este mismo intervalo estratigráfico.

### ROCAS EXPUESTAS EN LAS MINAS

Halita.- Las únicas tres localidades donde puede observarse sal gema estratificada son las minas en explotación de Zipaquirá, Nemocón y Upín. La sal es litológicamente similar en los tres depósitos, especialmente en Zipaquirá y Nemocón, minas que están a solo 16 km una de la otra. El tamaño del grano de la halita en estos lugares va desde aproximadamente 2 mm hasta 5 mm; la halita en la mina de Upín es de grano algo más fino. En las tres minas la halita varía en color desde gris claro hasta gris oscuro dependiendo de la cantidad de impurezas carbonoso-arcillosas. También se observan localmente lentes y parches irregulares de sal blanca afanítica pura. Se encuentran grandes cristales con clivaje hasta de 15 cm en fracturas dentro de las arcillolitas interestratificadas. Pequeños cristales de piritita se encuentran algunas veces en la halita.

Arcillas y pequeñas partículas de arcillolita abundan en la sal de los tres depósitos y comunmente se distribuyen a lo largo de los planos de estratificación originales de la halita. Capas de halita más arcillosas alternan con otras menos arcillosas de colores más claros lo que da a la roca una apariencia bandeada característica, observable en muchos de los frentes de explotación. Comunmente, en Zipaquirá se encuentran unas 17 a 20 alternaciones de capas oscuras y claras por metro, cifra que probablemente es igual para Nemocón aunque allí no se hicieron mediciones. El bandeamiento en la mina de Upín es generalmente más delgado. Los contactos entre las capas claras y las oscuras son gradacionales. Sin embargo, en muchos lugares la sal gema es maciza. En Zipaquirá, la sal es de tono gris claro a gris medio y contiene abundantes fragmentos diminutos a muy pequeños de arcillolita gris oscura. Los contactos entre las facies bandeadas y no bandeadas son imprecisos. En muchos lugares la facies bandeada parece pasar lateralmente a la facies maciza en unos pocos metros. Según informes de los operarios de la mina de sal corrientemente explotada contiene aproximadamente 20% de impurezas arcillosas.

Arcillolita.- Arcillolita gris oscura a negra, margosa, laminar a maciza y piritosa, es abundante en las tres minas. En general la arcillolita maciza es más dura que la laminar. Otras rocas asociadas en proporciones menores son caliza de color café muy oscuro de grano fino y de estratificación delgada y en mucho menor proporción arcillolita caolinítica blanca. En algunos lugares dentro de la

arcillolita negra se encuentran lentes de calcita fibrosa de varios cm de espesor y hasta de 15 cm de longitud.

Anhidrita.- Anhidrita de grano fino, maciza y débilmente compactada es escasa en Zipaquirá. En Nemocón solo se encontró un pequeño parche y ninguno en Upín. Las capas de anhidrita alcanzan hasta 1 m de espesor y las más largas se pueden seguir hasta por 70 m a lo largo del rumbo. En Zipaquirá la mayor parte de la anhidrita está íntimamente asociada con arcillolita negra; ambos materiales tienen aspecto brechoso. Las capas de anhidrita-arcillolita son toscamente concordantes con los estratos de sal que las incluyen, aunque en detalle los contactos son irregulares. Incluidos dentro de la anhidrita-arcillolita, en la parte suroeste del nivel principal de la Mina de Zipaquirá, se encuentran numerosos rombos de calcita hasta de 5 mm de largo y cuarzo euhedral hasta de 15 mm de largo. La orientación de ambos minerales dentro de la anhidrita es al azar. Capas e hilos de arcillolita gris clara a mediana hasta de varios milímetros de espesor atraviesan irregularmente la anhidrita.

Pequeñas cantidades de anhidrita granular están en ciertas localidades asociadas directamente con halita y no se presenta arcillolita. Esta anhidrita es menos estratiforme que en los tipos más macizos y las relaciones de concordancia con la halita que los contiene son menos obvias. No se encontraron granos separados de anhidrita dentro de las capas de halita y el bajo contenido de sulfatos, hallado en los análisis químicos indica que hay poca anhidrita incluida dentro de la halita.

Arenisca.- En la mina de Zipaquirá, Singewald (1949, p.189) notó la presencia de cantos de arenisca del Guadalupe dentro de la sal. Estos no fueron observados en esta investigación.

Fragmentos de arenisca cuarzosa carmelita a gris marrón y gris, de grano fino a medio, constituyen una zona interestratificada dentro de la sal en la parte central de la mina de Upín. Los fragmentos de arenisca ocurren en una matriz de arcilla arenosa negra. La mayor parte de estos fragmentos son blandos y algunos están ligeramente redondeados. Todos los fragmentos de arenisca están impregnados con cubos de halita que son ligeramente más gruesos que los granos de arena de la arenisca.

## COMPOSICION

Los cuadros 2 y 3, dan los resultados de análisis químicos de muestras procedentes de las minas de Zipaquirá y Upín, respectivamente.

CUADRO 2.- Análisis químico de 5 muestras de sal de la mina de Zipaquirá.

No.Laborat.	No.campo	E N P O R C E N T A J E								E N P. P. M.		
		Na <sub>2</sub> O	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SO <sub>4</sub>	Ins.H <sub>2</sub> O	Ins.Acido	Br	SrO	Rb <sub>2</sub> O
D1 20874	Z-1	52,0	59.62	0.02	0.33	0.10	0.04	0.87	0.46	25	10	12
D1 20875	Z-2	47.5	54.62	0.39	1.03	0.24	0.44	7.90	6.02	Tr.	50	11
D1 20876	Z-3	46.9	53.86	0.32	1.86	0.50	0.05	9.43	5.52	25	16	11
D1 20877	Z-4	50.8	58.48	0.18	0.51	0.15	0.46	2.03	1.77	65	10	5
D1 20878	Z-5	49.7	57.33	0.17	0.93	0.18	0.16	3.90	2.54	20	115	5

Br. por Omar Raup (Fluorescencia de Rayos X); I. no detectado.

Na<sub>2</sub>O por fotometría de llama (Mountjoy y Lipp).

SO<sub>4</sub> soluble Lipp.

Otros óxidos por absorción atómica (Mountjoy) Insolubles por Lipp.

Insolubles en HCl al 10% por método gravimétrico de AgCl (Lipp) posiblemente debe aproximarse a 3 cifras.

CUADRO 3.- Análisis químico de 12 muestras de sal de la Mina de Upín.

No. Serie	No. campo	E N P O R C E N T A J E											E N P. P. M.					
		Fe	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Carbón orgánico	Ins. H <sub>2</sub> O	Insol. Acido	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Zn	Sr	Li	Rb	Br	I
D1 29058	R-1	0.34	0.35	1.34	47.4	0.35	0.22	7.76	7.21	0.05	1.33	53.1	8.0	82	6.4	14	32	0.2
D1 29059	R-2	0.25	0.28	0.87	49.8	0.23	0.15	5.68	4.17	0.05	0.74	55.9	8.0	51	3.6	10	40	0.2
D1 29060	R-3	0.13	0.20	0.61	51.2	0.10	0.10	2.60	2.19	0.05	0.51	57.4	6.4	30	2.8	5	34	0.2
D1 29061	R-4	0.31	0.31	1.08	48.7	0.29	0.17	6.42	5.27	0.05	1.00	55.1	6.2	53	4.6	12	23	0.2
D1 29062	R-5	0.26	0.23	0.89	49.1	0.23	0.22	5.86	4.95	0.05	0.76	55.7	6.4	35	4.5	13	34	0.2
D1 29063	R-6	0.46	0.38	1.45	46.2	0.47	0.29	11.70	8.36	0.05	0.50	51.9	10.3	42	5.6	17	22	0.2
D1 29064	R-7	0.39	0.34	0.98	48.0	0.36	0.20	9.50	7.32	0.05	0.51	53.7	9.6	41	5.8	16	42	0.2
D1 29065	R-8	0.26	0.24	0.87	49.3	0.48	0.16	7.28	5.94	0.05	0.34	55.2	16.8	34	4.4	13	40	0.2
D1 29066	R-9	0.42	0.38	1.18	47.1	0.42	0.30	4.66	7.27	0.05	0.67	53.0	12.7	50	7.0	17	18	0.2
D1 29067	R-10	0.09	0.15	0.66	51.9	0.07	0.10	0.91	1.51	0.05	0.63	58.0	4.0	22	1.8	4	26	0.2
D1 29068	R-11	0.14	0.19	0.34	51.2	0.10	0.12	1.11	1.90	0.05	0.19	59.1	3.0	6	2.6	5	32	0.2
D1 29069	R-12	0.46	0.34	1.32	46.8	0.40	0.29	5.97	7.95	0.05	0.23	52.4	14.4	38	6.3	19	39	0.2

Total Fe como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, Sr, Li, Rb y Zn determinados por absorción atómica por Wayne Mountjoy y Elsie Rowe.

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> determinado volumétricamente por Roberta Wilkey.

SO<sub>4</sub>, Cl determinación gravimétrica por H.H. Lipp. Insolubles en agua determinados por lixiviación con agua por H.H. Lipp.

Insolubles en ácidos determinados por lixiviación con ácido por H.H. Lipp.

Carbón orgánico determinado en residuos insolubles en HCl, al 10%, muestras de 2000 g por I.C. Frost.

El cuadro 4 da los resultados de los análisis de residuos obtenidos por la evaporación de salmueras recogidas en la Cordillera Oriental.

Elementos trazas.- Trazas de los siguientes elementos fueron encontradas por el método espectrográfico, en cinco muestras de halita de Zipaquirá: magnesio, titanio, manganeso, bario, cobalto, cromo, cobre, germanio, fósforo, níquel, estaño, vanadio, estroncio, litio, rubidio, bromo, yodo y zinc.

Pequeñas cantidades de potasio se encuentran en la mayoría de las fuentes saladas de la Cordillera Oriental y en la mayor parte de las muestras analizadas. El contenido más alto de potasio 3%, fué encontrado en una muestra de arcillolita de Zipaquirá. No se sabe si este potasio está presente en forma de sales solubles en agua o hace parte de los minerales arcillosos de la illita.

Mr. Willis Bronkie síndico de las minas de esmeraldas de Chivor, unica mina de esmeraldas grande de propiedad particular, encontró una pequeña esmeralda en la mina de Zipaquirá (comunicación oral, 1965).

R. Scheibe (1933) cita el hallazgo de una esmeralda en la Quebrada de Las Salinas, en el rute asociado con los depósitos de sal de Nemocón.

## ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS DE LOS DEPOSITOS

La laminación es un rasgo característico en la mayoría de la halita expuesta en las minas de sal y ha sido atribuída a tectonismo (Singewald, 1949, p.189). Sin embargo si las láminas de halita en domos de sal que han sido levantados cientos de miles de metros son un vestigio de estructura sedimentaria tal como lo consideran algunos autores (Muehlberger, 1968, p.360), no es probable que las láminas de la halita relativamente menos deformada de Colombia, sean únicamente de origen tectónico. Se concluye que las láminas de halita de Colombia son herencia de estratificación sedimentaria. Este punto de vista está sustentado por las evidencias que se darán en los siguientes párrafos:

Estratificación cruzada y truncación.- Localmente se observa estratificación cruzada y truncación suaves en la facies de sal laminada en el lado norte del nivel principal de la mina de Zipaquirá. Los ángulos de truncación son generalmente de 5 a 10 grados, aunque algunos pueden ser mayores en ocasiones. También se presentan zonas de estratos frontales (foreset beds) de suave buzamiento. Probablemente la estratificación cruzada es más frecuente de lo que pudo observarse, puesto que el examen detallado de mucha de la halita de

CUADRO 4.- Análisis parciales de 26 muestras de residuos de fuentes saladas de la Cordillera Oriental.

No Serie	No. Archivo	Ubicación	K <sub>2</sub> O %	Br ppm	I ppm
D1 22197	IMN 15313	Zipaquirá	0.01	22	0.20
D1 22198	IMN 15314	Zipaquirá	0.03	47	0.22
D1 22199	IMN 15315	Zipaquirá	0.01	20	0.12
D1 22200	IMN 15316	Zipaquirá	0.04	29	0.22
D1 22201	IMN 15318	Nemocón	0.80 *	-	-
D1 22202	IMN 15321	Útica	0.11	650	100.00
D1 22203	IMN 15323	Villeta	0.09	-	-
D1 22204	IMN 15324	Pandi	1.17	170	24.00
D1 22205	IMN 15325	Girardot	1.36	-	-
D1 22206	IMN 15327	Guataquí	0.73	74	22.00
D1 22207	IMN 15328	Tocaima	0.53	64	1.90
D1 22208	IMN 15330	Tocaima	0.62	-	-
D1 22209	IMN 15332	Nimaima	0.07	60	0.60
D1 22210	IMN 15333	Mina Upín	0.01	54	0.05
D1 22211	IMN 15334	Restrepo	0.13	44	2.60
D1 22212	IMN 15335	Quetame	1.50	460	5.20
D1 22213	IMN 15336	Guatavita	2.20 *	-	-
D1 22214	IMN 15338	Pajarito	0.08	23	0.45
D1 22215	IMN 15339	Iza	3.41	460	15.00
D1 22216	IMN 15340	Pauna	0.04	40	1.30
D1 22217	IMN 15341	Pauna	0.03	41	0.75
D1 22218	IMN 15344	Gachetá	0.10	29	0.05
D1 22219	IMN 15345	Guateque	0.03	26	0.22
D1 22220	IMN 15347	Pachavita	1.93	650	9.00
D1 22221	IMN 15348	San Benito	0.22	-	-
D1 22222	IMN 15349	Chipatá	0.18	274	19.00

Todas las muestras excepto D1 29060, D1 29067 y D1 29068 mostraron 0.7% K en el análisis espectrográfico cuantitativo de seis etapas que representa un ligero aumento con respecto al potasio encontrado en la mina de Zipaquirá.

\* Con base en una muestra muy pequeña. La exactitud usual no se aplica.

K<sub>2</sub>O Determinado mediante absorción atómica por Wayne Mountjoy.

Br e I Determinados mediante fluorescencia de rayos X por J.S.Wahlbert.

la mina de Zipaquirá, es imposible a causa de la escasa iluminación y de una capa espesa de polvo que cubre las paredes de la mina. Otras áreas en Zipaquirá, lo mismo que en las minas de Nemocón y Upín, están mucho más deformadas estructuralmente que en el lado norte del nivel principal de la mina de Zipaquirá e impiden distinguir con claridad los fenómenos estructurales y sedimentarios.

Capas y fragmentos de arcillolita.- Fragmentos de arcillolita se encuentran en abundancia en las tres minas de sal. Van desde pequeñas escamas de menos de 1 mm hasta unos pocos cuerpos de cerca de 1 m de diámetro; la mayoría fluctúa entre varios milímetros y varios centímetros de diámetro. Los fragmentos están generalmente distribuidos erráticamente dentro de todo el conjunto de la halita como se observa en las figuras 11 y 12. Las unidades de todo tamaño están aisladas entre si. Numerosas partículas más pequeñas están alineadas a lo largo de los planos de estratificación en zonas brechosas hasta de varios metros de largo. Sin embargo, en casi todos los subafloramientos se deduce que las capas de halita inmediatamente adyacentes a los fragmentos y zonas brechosas fueron emplazadas por procesos sedimentarios, más bien que estructurales.

En todas las minas, se presentan cuerpos cartografiables de arcillolita concordantes con la halita laminada que los circunda. En Zipaquirá los cuerpos de arcillolita alcanzan hasta 80 m de largo y de 5 a 20 m de espesor. En donde la deformación es relativamente leve, como ocurre en parte del nivel principal de Zipaquirá, varios de estos cuerpos grandes están alineados a lo largo de lo que es probablemente, el mismo intervalo stratigráfico en el área, y están separados a lo largo del rumbo por lo menos por 40 m de halita. Estos grandes cuerpos terminan abruptamente formando ángulos agudos tanto con su estratificación como con la de la halita que los contiene. Muchos de los cuerpos de arcillolita están plegados y fallados en las partes estructuralmente más complejas de las minas.

En la mina de Upín no son tan comunes los cuerpos grandes de arcillolita. Solamente tres fueron cartografiados. Estos cuerpos son mucho más pequeños que los de Zipaquirá y Nemocón y alcanzan cerca de un metro de espesor. Sin embargo, como la mina de Upín es más pequeña pueden existir muchos de tales cuerpos en otras partes del depósito que todavía no han sido alcanzados por los trabajos de explotación.



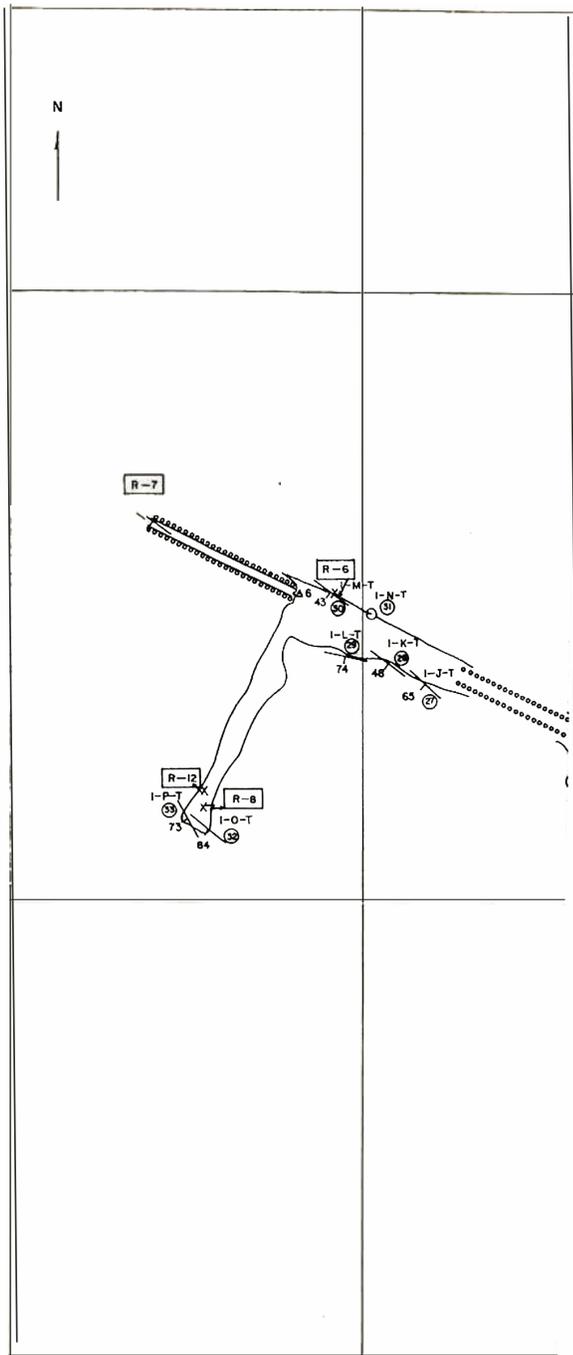
Figura 11.- Lentes de calcita fibrosa con septas bien desarrolladas. Los lentes yacen en el plano de estratificación. Las áreas claras están compuestas de Halita secundaria. Fotografía tomada en la mina de Zipaquirá, al nivel de la Catedral. La regla tiene 10 cm de longitud.



**Figura 12.-** Sal arcillosa que contiene numerosos fragmentos de arcillolita. El más grande está rodeado por halos de halita, indicados por áreas claras. La estratificación es menos desarrollada en las áreas con menor cantidad de fragmentos. Fotografía tomada en la mina de Zipaquirá, nivel de la Catedral.

Contacto basal de la halita en la mina de Zipaquirá.- El contacto basal de la halita en la mina de Zipaquirá se interpreta como la base de la secuencia de halita por las siguientes razones:

- 1.- El contacto halita-arcillolita se extiende por cerca de 600 m a lo largo del límite nororiental de la mina de Zipaquirá. La longitud del contacto es cerca de 7.5 veces la longitud del cuerpo de arcillolita más largo cartografiado en la mina. Esto sugiere que la arcillolita subyacente no es simplemente otro cuerpo de arcillolita interestratificado en la secuencia de halita (ver Planchas VI y VII).
- 2.- El rumbo y buzamiento del contacto son conformables no solo con los estratos de sal superyacentes sino también con las rocas subyacentes expuestas en la superficie.
- 3.- La arcillolita debajo del contacto en la mina es litológicamente diferente de la que se encuentra dentro de la halita en la mina. La arcillolita debajo del contacto es plástica y maciza. En muchos lugares es una arcilla más bien que una arcillolita. Su color varía desde canela a gris marrón y negro. La facies negra es piritosa y en muchos lugares contiene fragmentos brechosos de arcillolita negra similares a los que se encuentran incluidos dentro de la halita en otras partes. La arcilla y arcillolita debajo del contacto no son margosas mientras que virtualmente todas las rocas arcillosas en la secuencia de halita suprayacentes, si lo son.
- 4.- Algunas veces se filtra agua dulce dentro de la mina a lo largo del contacto. Mientras se efectuaba el presente estudio la filtración de agua dulce cortó completamente uno de los grandes pilares de sal adyacentes al contacto. Ocurren infiltraciones en todas partes dentro de la mina pero todas son saladas y resultan de aguas meteóricas que se infiltran a través del rute que cubre el depósito. Donde la arcilla basal está expuesta contiene zonas de cristales aciculares de melanterita ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) y cristales de halita hasta de 1 cm de largo en forma de caña; otros son más cortos y rizados. Estos cristales se encuentran en otras partes solamente donde la halita normal es disuelta por aguas dulces.
- 5.- No se ha indicado presencia de sal al noreste del contacto.



Plancha VIII-MINA

## ESTRUCTURA INTERNA DE LOS DEPOSITOS DE HALITA

Mina de Zipaquirá.- Con excepciones locales los rumbos y buzamientos de las láminas de la sal en Zipaquirá varían relativamente poco, en la mitad norte del nivel principal (Plancha VI). El rumbo promedio de las capas de halita es N40° -50° W y los buzamientos, generalmente al SW son de moderados a suaves tendiendo a la horizontal en varios sitios. Si la inversión en los buzamientos en la parte central de la mina (Plancha VI) representa un sinclinal, éste es probablemente parte de un gran pliegue satélite en el flanco noroeste del gran anticlinal invertido y fallado que contiene el depósito de sal de Zipaquirá. Pero si la inversión es causada por falla, ella está probablemente relacionada a la cuña salinífera de las arcillolitas del Chipaque, levantada por cabalgamiento. Esta cuña inferida estaría en el área de la cresta del anticlinal. De estas dos posibilidades los autores prefieren la del fallamiento (figura 5). Todavía serían posibles otras interpretaciones.

El tope estratigráfico de la secuencia de sal coincide con el eje del sinclinal. El espesor de la secuencia de halita parece alcanzar 180 m si bien no se tomaron en cuenta estructuras sedimentarias y tectónicas menores. Entre las mencionadas estructuras, se incluyen pliegues de flujo isoclinales, donde la inversión crestral no se observa y flujo lenticular causado por deformación tectónica. Comúnmente pueden observarse flujos de sal adyacentes a las terminaciones bruscas de los grandes cuerpos de arcillolita. Aquí la sal se ha volteado localmente hacia las terminaciones de la arcillolita mostrando cierta tendencia a envolver estos cuerpos. Pliegues de flujo solo se encuentran localmente en algunas partes en Zipaquirá y en otras minas. Los ejes de los pliegues de flujo son generalmente horizontales.

Mina de Nemocón.- Estructuralmente el depósito de sal de Nemocón es mucho más complejo que el de Zipaquirá (comparar figuras 5 y 7) y parece ocupar un pequeño pliegue de flancos empinados con buzamiento axial hacia el sur. Los afloramientos son insuficientes para determinar la naturaleza de este pliegue debido a la extensión relativamente pequeña de las labores de explotación y la complejidad estructural del depósito. El autor considera sin embargo, que el pliegue es probablemente un anticlinal, puesto que yace a lo largo de la prolongación nororiental del anticlinal Nemocón Sur, cuyo eje tiene un buzamiento axial al noreste.

El entibado cubre el contacto de la sal con las rocas, impidiendo la determinación de la naturaleza de éste y la estructura, oscurece la estratigrafía de la sal. Por esto es muy incierto el espesor del depósito de sal de Nemocón. A pesar de estos problemas el espesor de la secuencia de sal de Nemocón puede ser solo ligeramente menor que el de Zipaquirá.

Mina de Upín.- El contorno actual de los trabajos de explotación en Upín conforma toscamente un triángulo equilátero con lados de aproximadamente 100 m de longitud. El lado oriental es aproximadamente N-S. El portal de la mina está en el vértice sur. Los estratos de sal en la mitad suroriental de la mina tienen un rumbo N40° -50° W. Los buzamientos hacia el suroeste son desde moderados hasta empinados y solo localmente son verticales en la parte suroccidental extrema de la mina. La estructura en la parte media nororiental de la mina es más variable. Aquí los estratos de sal tienen rumbo general N y buzanan empinadamente al oeste (ver Planchas III y VIII). Los estudios preliminares sugieren que los estratos de sal en Upín tienen de 60 a 80 m de espesor.

Mina de Sesquilé.- Esta mina de sal es actualmente inaccesible por encontrarse derrumbada. Singewald (1949, p.191) quien visitó la mina indica que los estratos de sal buzanan al oeste.

## AMBIENTE DE DEPOSITACION

### TAMAÑO Y LOCALIZACION DE LAS CUENCAS EVAPORITICAS

La información sobre el tamaño y localización de las cuencas evaporíticas es muy escasa, especialmente de aquellas anteriores al Turoniano, al este de la Sabana de Bogotá. Lo único que se conoce acerca de las numerosas fuentes saladas dentro de la Zona IV (figura 4) es que éstas se encuentran en arcillolitas negras o en los aluviones depositados sobre ellas. (Zambrano y Mojica, comunicación oral, 1966)

Berriasiano-Valanginiano.- Como se anotó anteriormente, los depósitos de yeso en Lusitania, cerca de Santa María de Batá y de Gachalá son probablemente equivalentes y correlativos con la sal de Upín y Mámbita. No se sabe si estos cinco depósitos hacen parte de una gran cuenca de evaporitas o de varias cuencas pequeñas. De existir aquí una sola cuenca grande, su dimensión noreste-suroeste sería por lo menos de 70 km; su extensión mínima en dirección NW-SE de cerca de 30 km. La cuenca puede continuar hacia el sureste más allá del frente montañoso, pasando a Los Llanos. Hacia el noroeste la cuenca de evaporitas está cubierta probablemente por estratos más jóvenes y puede extenderse por una distancia aún desconocida.

Barremiano Superior - Aptiano Inferior.- En la Zona IV las evidencias de sal en este intervalo estratigráfico están restringidas a una fuente salada cerca a Somondoco. Por lo tanto, hasta el presente (1969) no se conoce

nada sobre las dimensiones o localización de la cuenca evaporítica dentro de este intervalo.

Aptiano Superior.- Puesto que las evidencias de evaporitas en el Aptiano Superior se limitan a las fuentes saladas cerca a Choachí y al norte de Gachetá, es poco lo que puede conjeturarse concerniente a las dimensiones y localización de la cuenca evaporítica. Ya que estas dos manifestaciones están separadas por una distancia de 50 km, la formación salinífera que las origina pudo haber sido depositada en una cuenca de dirección noreste y de cerca de 50 km de longitud. Posiblemente las cuencas de evaporitas fueron discontinuas y la depositación limitada a varios pequeños cuerpos lenticulares de sal.

Turoniano-Coniaciano Inferior.- Las minas de sal y gran parte de la evidencia de sal en la Sabana de Bogotá, además de las numerosas fuentes saladas hacia el norte y en las rocas del Cretáceo Superior hacia el suroeste, sugieren, que la facies de evaporitas del Turoniano-Coniaciano Inferior es extensa. La cuenca evaporítica pudo extenderse desde el área Pandi-Girardot en el suroeste, hasta el área Málaga-Guaca en el norte (ver figura 4) sobre un área de 350 km de largo y 50 a 100 de ancho. Las evidencias de campo en la Sabana de Bogotá y regiones adyacentes sugieren sin embargo, que en esta área no existió una cuenca única de evaporitas sino varias. Observaciones al suroeste de Bogotá muestran una discontinuidad en la distribución de las fuentes de sal, (figura 4). Al norte y al noreste de la Sabana de Bogotá las capas del Turoniano-Coniaciano Inferior, conocidas como la facies de La Frontera, consisten de arcillolitas grises oscuras a negras, margosas, concrecionarias y localmente fosilíferas. Hacia el oeste afloran estratos similares cerca de Albán, sobre la carretera entre Facatativá y Villeta (Champetier de Ribes y otros, 1961; Thompson, 1966, p.10 y 16). Hacia el oeste hay arcillolitas limosas del Coniaciano Inferior y mantos de carbón en la región entre Choachí y Machetá. Ninguno de estos afloramientos contiene rute o anhidrita, ni tampoco hay un indicio de que estos materiales hubieran sido removidos de allí. Por lo tanto, la facies de sal o cuenca salina en el área de la Sabana de Bogotá tiene posiblemente cerca de 40 km de ancho y 100 de largo.

#### RELACIONES DE FACIES ENTRE LOS INTERVALOS SALINIFEROS

La equivalencia de las siguientes litologías: (1) sal; (2) areniscas de grano fino y limolitas impregnadas con hematita; y (3) arcillolitas limosas carbonáceas fué establecida mediante evidencia paleontológica. Esta asociación tripartita de facies está mejor expuesta en el intervalo Turoniano-Coniaciano Inferior en la Sabana de Bogotá. No se sabe si esta asociación existe también en las secuencias saliníferas más antiguas.

Material arcilloso asociado con sal.- El abundante material arcilloso asociado con los depósitos de sal se derivó por la erosión de las arcillolitas que bordeaban las cuencas de evaporitas. La arcilla formando láminas arcillosas oscuras fué transportada periódicamente a las cuencas evaporíticas y floculada por las salmueras.

Los grandes cuerpos arcillolíticos en la sal tienen un origen similar pero contienen una mayor cantidad de material arcilloso que en las laminaciones. Corrientes probablemente de agua dulce cargadas con arcillas entraron en las cuencas de evaporitas cuando cesó temporalmente la depositación evaporítica. Esto pudo ser debido a la dilución de las salmueras como consecuencia de la entrada de agua dulce o más probablemente, por un retroceso temporal de las salmueras resultante de un levantamiento regional de menor escala. Una elevación local expuso aún más a la erosión, las arcillolitas circundantes, incrementó las pendientes de las corrientes, ensanchó las vertientes y dió como resultado que corrientes mayores y más densamente cargadas con arcilla entraran a las cuencas evaporíticas. La terminación lateral brusca de esos cuerpos arcillosos, indicada en varios mapas de minas, fué causada probablemente cuando las corrientes disolvieron la sal del fondo más rápidamente que la de los flancos. Varias corrientes contemporáneas, o meandros de la misma corriente, a través del piso de las cuencas de evaporitas pudieron dar como resultado el alineamiento aparente de algunos de estos cuerpos arcillosos.

Con menor facilidad puede visualizarse el emplazamiento de los fragmentos de arcillolita de tamaños variados generalmente pequeños. Como ya se mencionó, estos son probablemente de origen sedimentario. Los diminutos fragmentos o partículas de arcillolita no alineados, presentes a través de la halita en todas las minas, pudieron haberse formado por floculación de las arcillas transportadas dentro de las cuencas. Una vez floculadas, las partículas debieron sedimentarse lentamente hacia el fondo y fueron incorporadas a las acumulaciones de cristales de halita. La abundancia de estas pequeñas partículas sugiere que este proceso continuó esencialmente ininterrumpido, durante la depositación de la sal. Las zonas de fragmentos alineados a lo largo de la estratificación sugieren colapsos de antiguas capas de arcillolita. Un colapso de este tipo implica la remoción gradual de la halita infrayacente presumiblemente por la solución causada por salmueras menos saturadas. Cuando la halita del soporte fué removida, las capas de arcillolitas suprayacentes ocuparon lentamente el vacío resultante, fragmentándose en el proceso debido a las ratas variables de asentamiento. De la redondez de las aristas en muchos de los fragmentos se puede deducir un corto transporte de algunos de éstos por la acción de corrientes.

Los fragmentos aislados fueron emplazados probablemente por corrientes en las cuencas que contenían salmuera ya que comunmente no hay

evidencia de deformación estructural en la halita circundante. Algunos de estos fragmentos en Zipaquirá y Nemocón son algo redondeados, los de arenisca en Upín están definitivamente redondeados.

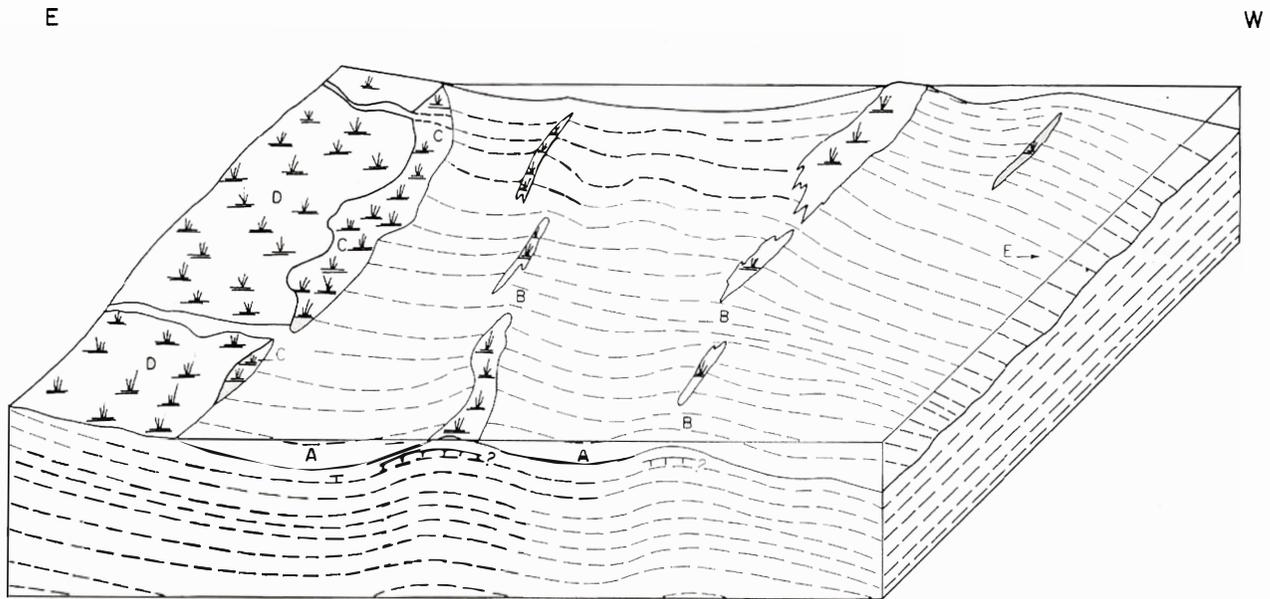
Significado del hierro.- En estratos asociados con facies salinas se encuentran presentes hematita, piritita y probablemente siderita. Limolitas impregnadas con hematita y areniscas de grano fino se encuentran adyacentes al depósito de Nemocón, asociadas al rute en Tausa y también afloran en los cateos de sal de Pericos y Pantano Redondo. La piritita es común en todos los estratos del Cretáceo, y es abundante en las arcillolitas negras asociadas con halita en todas las minas de sal. Riegos de siderita están presentes en el área del afloramiento del Fômeque, aproximadamente 5 km al noreste, siguiendo el rumbo desde las salinas de Gachetá.

Se considera que la hematita fué depositada en estratos porosos de la Formación Chipaque en áreas de barreras emergentes, y donde las aguas estaban probablemente bien oxigenadas. La piritita se formó en condiciones euxínicas, en las zonas más restringidas de las cuencas evaporíticas. La siderita, fué precipitada probablemente bajo condiciones intermedias entre aquellas en las cuales resultaron hematita y piritita. Esta relación de facies está ilustrada esquemáticamente en la figura 13 y aparentemente se conforma a las ideas de James. (1954, figura 3) y Woolnough (1937).

Significado del material carbonáceo.- El material carbonáceo está presente a través de las arcillolitas limosas de la sección cretácica en la Cordillera Oriental, pero prevalece en las secuencias saliníferas del Berriasiano-Valanginiano (Campbell & Bürgl, 1965, p.576) y del Turoniano-Coniaciano Inferior. Los estratos carbonáceos sugieren generalmente ambientes de aguas pandas y tranquilas. La mayor cantidad de estos estratos en las dos facies saliníferas citadas sugiere que regiones vadosas con vegetación creciente pudieron haber actuado como barreras contra la circulación del agua y ayudado en la formación de las evaporitas.

#### DEFICIENCIA DE SULFATOS

Como se anotó anteriormente, la anhidrita se presenta solo esporádicamente en las tres minas de sal en explotación de la Cordillera Oriental. El intervalo Turoniano-Coniaciano Inferior, comparativamente bien expuesto, está desprovisto de yeso en los afloramientos. Los tres depósitos de yeso en el intervalo Berriasiano-Valanginiano pueden haber sido formados por reflujos locales de las aguas marinas (King, 1947), un fenómeno que aparentemente no ocurrió durante el Turoniano-Coniaciano Temprano. Una posible alternativa al reflujos, sin embargo, implica la lixiviación de cantidades considerables de



- A. - Cuencas de evaporita, condiciones euxínicas restringidas.  $\text{NaCl}$  y  $\text{FeS}_2$  más arcilla.
- B. - Saleras que forman los márgenes de las cuencas de evaporita. Condición oxidante.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{FeCO}_3$  ?
-  Parte de las soleras expuestas por encima del nivel del mar. Posible crecimiento de plantas
- C. - Pantanos marinos, marginales y de costa. Crecimiento de plantas con buen desarrollo
- D. - Continente que configura la orilla del ambiente lacustre. Agua fresco dreña en las lagunas.
- E. - Dirección de mar abierta con ventiladas

Fig. 13 DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL AMBIENTE DEPOSICIONAL SALINO

halita, con el consiguiente colapso y aspecto caótico de estos depósitos. Si la halita fué deficiente en sulfatos, un suministro más o menos continuo de este componente debió ascender a través de las fallas a la zona de lixiviación meteórica y resultó en la concentración de anhidrita que pronto fué hidratada a yeso. Como los depósitos de yeso están en áreas estructuralmente complejas adyacentes al Levantamiento de Quetame (figura 2), puede esperarse el emplazamiento tectónico de la halita a distancias cortas.

La ausencia de sulfatos en los depósitos del Turoniano-Coniaciano Inferior es quizá más normal de lo que se ha considerado. Los experimentos efectuados en el último siglo por Usiglio (Borchert y Muir, 1964, p.74) muestran que la relación entre  $\text{CaSO}_4$  y  $\text{NaCl}$  después de la evaporación del agua del mar es 1:30. Esto sugiere que los depósitos de evaporitas que contienen cantidades considerables de anhidrita, en cualquier parte son anómalos y no lo contrario.

En los depósitos colombianos la cantidad aparentemente pequeña de sulfatos disueltos en las salmueras pudo haber disminuído posteriormente por reducción bacteriana en presencia de un suministro continuo de materia orgánica, el cual fué aportado por el mar. Esta reducción de sulfatos produciría  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{CaCO}_3$ . Las bacterias combinarían el  $\text{H}_2\text{S}$  con los hidrosoles férricos para formar pirita. El  $\text{CaCO}_3$  sería depositado con las arcillolitas. Esto explicaría tanto la abundancia de pirita como la naturaleza margosa de casi todas las arcillolitas asociadas con halita, en contraste con aquellas de las formaciones Cáqueza y Chipaque que son solo localmente piríticas y generalmente no calcáreas. Parte de la pirita también pudo haber sido formada mediante reducción bacteriana de materia orgánica no oxidada, la cual produce  $\text{H}_2\text{S}$  que al combinarse con hierro en solución forma pirita (James, 1954, p.242).

El sulfato que no fué reducido en las salmueras pudo haber proporcionado la pequeña cantidad de anhidrita presente en la secuencia de halita.

#### DEFICIENCIA DE OXIGENO

Además de la deficiencia de sulfatos, las arcillolitas orgánicas negras asociadas con la halita sugieren que éstas fueron depositadas en un medio euxínico. La deficiencia de oxígeno pudo haber resultado de las siguientes causas: 1) El oxígeno tiene una baja solubilidad en salmueras de cloruros. (Peterson y Hite, 1969, p.906). 2) El flujo constante de agua en las cuencas de evaporitas, aisladas y de escasa ventilación, indudablemente arrastró innumerables organismos que murieron pronto y fueron descompuestos

agotando la provisión de oxígeno en las salmueras. 3) Las temperaturas presumiblemente altas de las salmueras también reducirían la cantidad de oxígeno disuelto.

#### CLIMA

El único requisito para el desarrollo de un régimen deposicional de evaporitas es que la evaporación exceda a la precipitación más la afluencia de agua. Aunque estas condiciones son propias de un clima árido, la depositación de evaporitas no está limitada únicamente a estos climas. La Cordillera Oriental puede ser un ejemplo de tal caso. Si estos depósitos se hubieran desarrollado bajo condiciones áridas, el hecho se reflejaría indudablemente en la estratigrafía regional. Los estratos carbonáceos no podrían correlacionarse entonces con la secuencia salinífera y las capas rojas presentarían una mayor extensión.

El régimen climático en la región de la presente Cordillera Oriental durante el Cretáceo, fué probablemente de estaciones cálidas y secas alternando con estaciones calidas lluviosas, alternación que se refleja en la laminación de la halita.

La halita laminada arcillosa oscura pudo haber sido el resultado de cambios estacionales y los mayores cuerpos de arcillolita el efecto de cambios climáticos más pronunciados, asociados a un descenso del nivel del mar. Las condiciones climáticas incluyeron largos períodos de lluvias y fluctuaciones estacionales menores.

#### CAMBIOS POSDEPOSICIONALES

##### SOLUCION Y RECRISTALIZACION

Halita masiva.- En todas las minas donde no se presenta la facies de halita laminada, la halita contiene material arcilloso diseminado al azar y es masiva. La destrucción de las láminas de halita es probablemente debida a recristalización, posdeposicional, antes que a mezcla singenética. Aunque otras evidencias sugieren que probablemente operaron corrientes singenéticas, es muy dudoso que éstas fueran capaces de reconstruir estratos de halita hasta de 5 m de espesor, si bien han podido destruir en algunos sitios las láminas de intervalos más delgados. Si la mezcla singenética hubiera destruído las láminas la halita

masiva resultante de tal acción no pasaría a la facies laminada tan abruptamente. Aguas meteóricas deben haber entrado al depósito de sal en varias ocasiones especialmente durante la formación de las costras de rute. Aún más, el agua continúa entrando a la mina causando recristalización local.

Anhidrita granular.- El cuerpo más grande de anhidrita granular en la mina de Zipaquirá yace directamente debajo de la corriente superficial que ha cortado el pequeño canal sobre la parte suroccidental de la mina. Durante la estación de las lluvias el agua de esta corriente se infiltra dentro de la mina, disuelve la sal y fluye a lo largo de la estratificación de las arcillolitas y de las fracturas donde la anhidrita lixiviada se concentra. Casi todos los otros cuerpos de anhidrita granular están asociados con arcillolita. Sin embargo, pocos cuerpos de arcillolita están asociados con anhidrita.

A fines de Julio de 1968 la anhidrita en la parte suroeste del nivel principal de la mina de Zipaquirá se derrumbó dejando en los niveles subterráneos una mezcla de inmensos bloques de sal mientras que en la superficie se formó un pequeño lago. Como consecuencia todas las operaciones en esta parte de la mina fueron suspendidas. Entonces una abundancia de anhidrita granular puede considerarse como indicadora de un flujo excesivo de agua meteórica dentro de la mina y puede crear condiciones de explotación extremadamente peligrosas.

En varios lugares se encuentra anhidrita granular que no está notoriamente asociada con arcillolita. La halita asociada con anhidrita granular generalmente es masiva. La estratificación ha sido destruída por solución y recristalización.

Yeso en Lusitania, Santa María de Batá y Gachalá.- Las rocas asociadas con estos depósitos de yeso indican pero no prueban, que éstas puedan ser acumulaciones del material residual insoluble, originalmente asociado con la halita y concentrado a medida que ella fué lixiviada por aguas meteóricas. El aspecto general de colapso de estos depósitos sustenta todavía más esta interpretación.

Bajo contenido de bromo en la halita.- Se colectaron cinco muestras de halita, representativas del material explotado en una sección de 180 m de espesor, en la parte norte del nivel principal de la mina de Zipaquirá. El contenido promedio de bromo de estas muestras es de 25 ppm y varía desde trazas hasta 65 ppm. No se observa ningún sentido en el cual aumente el contenido de bromo indicado por estos análisis.

En la mina de Upín donde la sucesión estratigráfica no es tan obvia como en Zipaquirá se colectaron al azar 11 muestras de halita. El contenido promedio de bromo en éstas es de 31.3 ppm y varía entre 18 y 42 ppm.

Investigaciones sobre evaporitas (Holser, 1966, p.253) muestran que la halita depositada al comienzo tiene un contenido de bromo de 75 ppm el cual comunmente aumenta hacia arriba en la sección.

El bajo contenido de bromo en las diferentes muestras sustenta aún más la idea de que han ocurrido solución y recristalización de la halita primaria. La ausencia de cristales de tolva "hopper-crystals" (Dellwig, 1955, p.89), generalmente considerada como prueba de recristalización primaria (Holser, 1966, p.260) sugiere solución y recristalización de toda la roca de sal en Colombia. El hecho de encontrarse vestigios de bromo en por lo menos una muestra, sugiere que ocurrió solución y recristalización por aguas meteóricas más bien que por salmueras no saturadas (Holser, 1966, p.264).

Halos de halita asociados con fragmentos de arcillolita.- A través de todas las minas de sal hay fragmentos de arcillolita que están parcial o totalmente circundados por halos blancos de halita secundaria afanítica a finogranular. Estos halos concuerdan burdamente con las láminas de halita que los contienen, en todas partes excepto en una pequeña área en el nivel superior de Zipaquirá. Allí la orientación de los halos se aparta unos pocos grados de la estratificación de la halita envolvente, probablemente debido a tectonismo local. Aunque los fragmentos muy pequeños pueden tener halos, éstos son más frecuentes entre los pequeños a medianos. Un fragmento promedio (diámetro alrededor de 5 cm) puede tener un halo parcial o completo que se extiende unos 10 cm a lo largo de la estratificación envolvente antes de acuñarse. Los halos inmediatamente adyacentes a los fragmentos son más anchos. Sus espesores generalmente corresponden a sus diámetros. Los fragmentos y los halos asociados se muestran en la figura 12.

Se considera que los halos han sido formados por recristalización de la halita en "sombras de presión" (Pressure shadows) que rodeaban los fragmentos de arcillolita (E. Irving, comunicación oral, 1965). Estas áreas se formaron en zonas de menor presión litostática, que rodeaban los fragmentos y se hicieron más pronunciadas a medida que aumentaba la depositación de halita. Siendo los fragmentos más competentes que la halita impidieron que la halita envolvente se compactara tan completamente como en otras partes, dando lugar a anillos de menor presión dentro de los cuales se produjeron condiciones favorables para la recristalización de la halita. Si los halos hubieran sido principalmente de origen tectónico estarían orientados perpendicularmente a la dirección predominante de esfuerzos y no necesariamente paralelos a la estratificación de la halita.

Aunque la mayor parte de los halos de halita no sean de origen tectónico su origen es similar a los que resultan de la cristalización secundaria del cuarzo que comunmente circunda los porfiroblastos en esquistos y yacen en los planos de esquistosidad (Thomas T. Feininger, comunicación oral, 1969).

Cristales grandes de halita y venas.- Cristales claros de halita se encuentran en áreas fracturadas en grandes cuerpos de arcillolitas. También son comunes cristales perfectamente cúbicos que alcanzan faces hasta de varios centímetros de lado, y cristales elongados, más grandes que pueden alcanzar 15 cm.

Se encuentran vetas claras de halita de varios centímetros de espesor, comunmente interestratificadas con los cuerpos de arcillolita, formando ángulos variables con la estratificación. Vetas un poco más anchas se presentan en el área donde predomina la anhidrita en la parte suroccidental del nivel principal de Zipaquirá.

#### REDUCCION DE SULFATOS

Inclusiones de gas.- En varios lugares del nivel principal de Zipaquirá la sal gris oscura, masiva y arcillosa contiene cantidades considerables de  $H_2S$ . Estas facies gasíferas presentan un tipo característico de diaclasamiento que semeja exfoliación y decrepita, cuando se golpea suavemente con un martillo, dando un sonido de detonación. La halita gasífera no está confinada a ningún intervalo estratigráfico en particular. Todavía no se ha encontrado en las pequeñas minas de Nemocón y Upín aunque todas contienen facies de halita arcillosa que en las superficies frescas emite un olor fétido.

El gas incluido en la halita implica descomposición bacteriana de sulfatos o de materia orgánica que fueron atrapados en la fracción arcillosa y enterrados durante su descomposición.

Lentes de calcita fibrosa.- Numerosos lentes elípticos bien definidos de calcita de colores claros y de anchas fibras están asociados con varios cuerpos de arcillolita margosa. Estos lentes hasta de 20 cm de longitud y de 2 a 4 cm de ancho, son paralelos a la estratificación de la arcillolita. Las fibras de calcita, no son continuas a través de los lentes sino que están divididas por septas laminares margosas, las cuales se hallan aproximadamente siguiendo el plano axial. Se considera que el carbonato de calcio que forma estos lentes se derivó de la reducción bacteriana de los sulfatos en presencia de materia orgánica y contiene solamente 0.2% de Mg (Laboratorio Químico Nacional).

Comunmente los lentes están asociados con venas delgadas de halita en general normales a la estratificación. Estas venas cortan los alineamientos de los lentes de calcita donde los lentejones individuales se acuan como se muestra en la figura 11.

Azufre nativo.- Pequeñas cantidades de azufre nativo forman parches sobre la “anhidrita granular”, especialmente en el lado suroccidental del nivel principal de Zipaquirá. Sin duda el azufre se ha derivado de la reducción bacteriana del sulfato de la anhidrita.

Esfalerita.- Dos pequeños lentes de esfalerita están interestratificados en arcillolita margosa en el área donde predomina la anhidrita al lado suroeste del nivel principal de Zipaquirá. Estos lentes, el más grande de los cuales es de 4 a 5 cm de ancho y aproximadamente 30 cm de longitud, están situados a uno y otro extremo de un túnel, en el mismo intervalo estratigráfico. El lente mayor está separado de la anhidrita por menos de un metro de arcillolita margosa. Entre los elementos más sobresalientes presentes en la esfalerita, tal como se determinó por análisis espectrográficos, están 7% Fe, 3% Ca, ligeramente más de 1% de Cd y 1% de Si.

Caliza.- Pequeños lentejones hasta de varios centímetros de espesor de caliza café oscura a gris, localmente oxidada y con granos de tamaño variable se presentan esporádicamente en los cuerpos de arcillolita margosa. Una caliza similar también forma unos pocos fragmentos en todas las minas.

El carbonato de calcio fué probablemente derivado por reducción bacteriana del sulfato en presencia de materia orgánica. El mismo fenómeno puede también haber dado lugar al carácter margoso de las arcillolitas que se encuentran en todas las minas.

#### ORIGEN Y DESARROLLO DE LOS ANTICLINALES DE SAL

Puesto que buenos afloramientos se presentan solo en el área de la Sabana de Bogotá, esta discusión se limita generalmente a los estratos del Turoniano y Coniaciano Inferior.

Control estructural de los sitios de depositación.- Bajos estructurales separados por crestas formaron las cuencas evaporíticas en las cuales se depositó la halita del Turoniano y Coniaciano Inferior (ver figura 14). Aunque la extensión geográfica de esta secuencia probablemente fué grande, los bajos estructurales y consecuentes cuencas evaporíticas, tomadas individualmente, son de tamaño moderado.

El contraste de facies en las secuencias del Turoniano y Coniaciano Inferior es la evidencia de la existencia de crestas y depresiones. Sal y arcillolita margosa piritosa fueron depositadas en los bajos y estratos hematíticos de grano más grueso, en los altos.

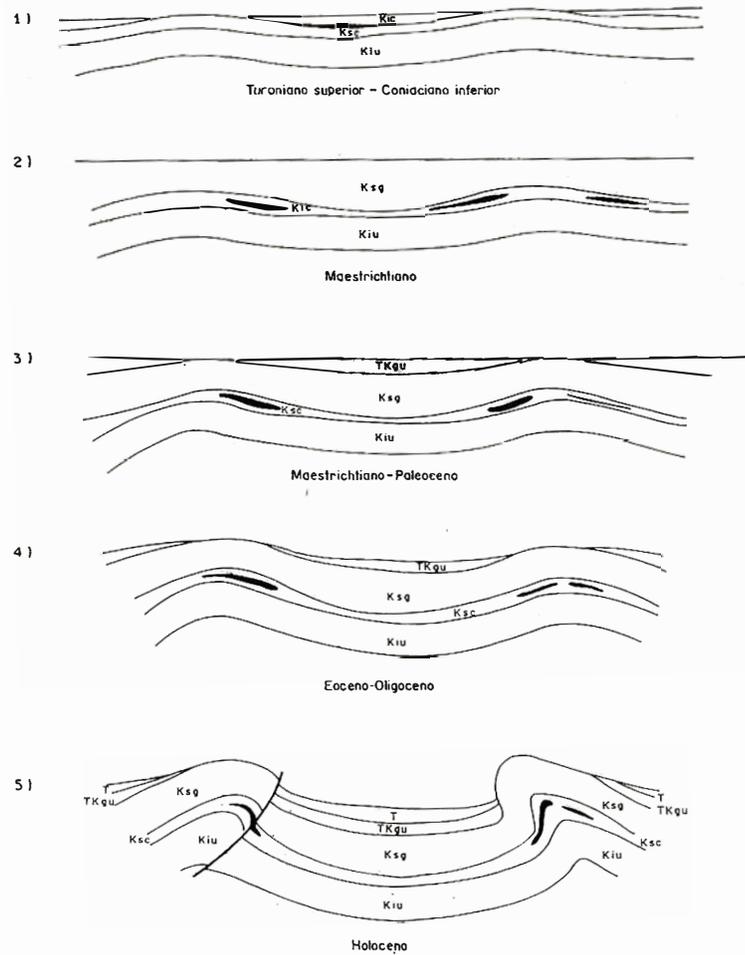


Fig. 14 DIAGRAMA ESQUEMATICO QUE MUESTRA EL DESARROLLO DE LOS ANTICLINALES SALINIFEROS Y ESTRUCTURAS OPUESTAS RESULTANTES EN LA SABANA DE BOGOTA.

El origen estructural de estas áreas altas y bajas fué también sugerido por Bürgl (1962, fig. 25) quien muestra una variación considerable en el espesor de los estratos senonianos, variación que él atribuye al plegamiento subhercínico (comienzos del plegamiento Larámico o Andino). Bürgl (1962, p.43) indica que este plegamiento es de edad Santoniano y Campaniano. Los autores sugieren que ese desarrollo estructural puede haberse iniciado muy al comienzo del Senoniano (v.g. Coniaciano) y el Turoniano, una interpretación que también es aceptada por Bürgl (comunicación oral, 1966).

La asociación de las evaporitas con los primeros plegamientos de la gran orogenia andina probablemente explica el tamaño aparentemente más grande de los depósitos del Turoniano y Coniaciano Inferior comparados con las evaporitas más antiguas. Aunque la depositación de estas últimas puede haber sido controlada estructuralmente, el desarrollo estructural en tiempos pre-turonianos no fué pronunciado y no inició una orogenia importante. Por lo tanto, los depósitos de sal pre-turonianos son más pequeños.

Formación de los anticlinales de sal.- La presencia de sal en por lo menos una localidad en cada anticlinal del sinclinorio de la Sabana de Bogotá, crea la idea de que estas estructuras puedan ser anticlinales de sal. Sin embargo, el hecho de que la sal no esté presente en el de Suesca (ver Plancha I, áreas c-2 y c-3), penetrado por el Pozo Suesca No.1 de Texaco, hace presumir que otros anticlinales estén libres de sal.

Toda la sal está en anticlinales o estructuras asociadas con ellos, lo cual podría ser el resultado de migraciones laterales o de acumulaciones in situ. Las últimas pueden ser consideradas como acumulaciones primarias y las primeras como secundarias. La sugerencias anterior queda condicionada a la obtención de más datos de perforación.

Anticlinales primarios de sal.- El fondo de la cuenca salinífera expuesto en la mina de Zipaquirá muestra que no ocurrió ningún desplazamiento lateral de la sal, o que fué muy pequeño en este depósito. Evidencia adicional en el depósito, de la naturaleza no migratoria, constituye la estructura relativamente simple de la sal, en la parte norte del nivel principal que superyace el fondo de la cuenca. Probablemente es significativa también la falta de estratos hematíticos asociados, el más cercano de los cuales está a 5 km al N-NW de la mina.

La cartografía de la orientación de los estratos hematíticos, al sur de Zipaquirá complementada con la del área de Betania, a una distancia aproximada de 12 km revela una divergencia marcada de la orientación estructural regional como puede verse en la Plancha I, áreas a-3 y a-4. La orientación de esta región es cóncava hacia el oeste. La orientación de los dos anticlinales situados al este es fuertemente cóncava hacia el sureste. La dirección

inmediatamente al oeste del anticlinal de Zipaquirá es ligeramente cóncava hacia el oeste. Por el suroeste en el cuadrángulo de Villeta (Champetier de Ribes et. al, 1961), la dirección del anticlinal de Zipaquirá vuelve a ser paralela a la orientación regional y el espacio entre los pliegues, regular.

El levantamiento anómalo hacia el este, de la orientación al sur de Zipaquirá probablemente resulta de una mayor cantidad de halita que fué depositada en esta área más que en cualquier otra. Esta acumulación relativamente gruesa disminuyó más aquí que en otras regiones, la competencia de los estratos del Cretáceo Superior y dió como resultado la divergencia de la orientación del anticlinal de Zipaquirá a través de la cuenca evaporítica, en respuesta a la compresión del Terciario. Los resultados del empuje y del acuñamiento en las crestas durante la fase final del tectonismo del Mioceno Tardío son semejantes a estos en otras áreas saliníferas.

La ausencia de estratos hematíticos en Sesquilé sugiere que este depósito puede haber sido también de origen primario y que no se ha producido migración. Más aún, allí el color canela y amarillo grisoso o amarillento claro de la arcillolita que aflora en la terminación norte de la cuña crestal, es similar a la litología que forma el fondo de la cuenca de evaporita de Zipaquirá.

Anticlinales secundarios de sal.- Las relaciones estructurales y las facies postuladas asociadas con los depósitos de halita, sugieren que en algunas áreas la sal migró lateralmente bajo la influencia de presiones diferenciales de áreas relativamente bajas -cuencas sinclinales- hacia áreas de menor presión litostática. Esta migración comenzó tan pronto como suficientes estratos cubrieron la sal para causar un flujo lateral y la variación en el espesor de estratos posteriores a la sal fué suficiente para causar una gradiente de presión litostática. El flujo probablemente se hizo más pronunciado a comienzos de la depositación terciaria de las Formaciones Guaduas, Cacho y Bogotá. Estas unidades esencialmente continentales varían ampliamente en espesor y se presentan ahora solo en áreas sinclinales. Ellas también se depositaron sobre las crestas en crecimiento de los anticlinales, pero los depósitos eran delgados, puesto que no quedaron remanentes de estas formaciones. La sal probablemente migró siguiendo los planos de estratificación de la Formación Chipaque hacia áreas de espesores suprayacentes menores en los flancos de los sinclinales como se muestra en la figura 14.

La migración adicional de sal hacia las partes axiales de los anticlinales, fué ayudada probablemente por la compresión regional tangencial, que fué aumentando manifiestamente en el Terciario Superior. El hecho de que las áreas cretales de los anticlinales estuvieron sometidas a menor compresión que sus flancos o realmente en tensión, probablemente ayudó a la migración de la sal hacia estas áreas. Tal tensión en las crestas está comunmente asociada con los anticlinales en muchas partes (De Sitter, 1956, p.201 y figuras 141 y 144;

Hills, 1963, p.220-226). Los esfuerzos compresionales finales más intensos fueron probablemente a finales del Mioceno (Campbell y Bürgl, 1965, p.585) y convirtieron la tensión creстал en compresión iniciando la formación de cuñas en las cuales la sal se movió cortas distancias hacia arriba como se ilustra en las figuras 5, 7, 8 y 9.

Los depósitos de sal que han sufrido posible migración lateral son Nemocón y Tausa y probablemente los cateos de sal de Pantano Redondo, (Plancha I, áreas a-3 y a-4 mostradas erróneamente como Laguna Verde) y Pericos (Plancha I, área b-6).

Estructuras opuestas.- Los rasgos característicos de las áreas de sal de la Sabana de Bogotá son estructuras diametralmente opuestas. La cartografía geológica ha demostrado lo siguiente:

Flancos anticlinales volcados en una dirección pueden estar invertidos en dirección contraria siguiendo el rumbo (Plancha I, áreas a-2 y a-3).

Anticlinales paralelos pueden estar volcados uno hacia el otro, moviéndose ligeramente sobre el valle sinclinal intermedio a lo largo de fallas de cabalgamiento o fallas inversas de buzamiento elevado (Plancha I, áreas a-7 y a-8).

Varios sistemas de fallas inversas asociadas con flancos de anticlinales, pueden cortar transversalmente hacia flancos opuestos donde tienen buzamientos y desplazamientos opuestos (Plancha I, áreas a-7 y b-7).

Localmente los anticlinales Nemocón Norte, Sopó y Sesquilé tienen flancos volcados opuestos (Pliegues en abanico). (ver figura 9, Plancha I, áreas b-2, b-3 y c-3 y corte transversal A-A').

Estas estructuras, todas producto de compresión regional e indudablemente afectadas por gravedad, no deben confundirse con las numerosas inversiones locales que se han desarrollado únicamente por deslizamientos gravitacionales sobre un miembro principal de limolitas de la Formación Guadalupe Superior (Julivert, 1963).

Estas estructuras opuestas se desarrollaron a causa de la sal localizada en los flancos de anticlinales. Una posible manera de su formación se muestra en la figura 14. La sal en un flanco anticlinal disminuiría la competencia estructural en este flanco en relación con el flanco libre de sal. Tales anticlinales podrían deformarse más fácilmente a lo largo de los flancos que contienen la sal, ya sea por inversión hacia el flanco menos competente o por inversión y

subsiguiente fallamiento. Los anticlinales y las fallas que cambian dinámicamente siguiendo el rumbo pueden haber hecho esto en respuesta a las acumulaciones de sal en cualquiera de los flancos. Si la sal ha migrado lateralmente de un sinclinal común hacia los flancos de los anticlinales adyacentes y se ha acumulado allí, la compresión de finales del Mioceno habría movido estos pliegues el uno hacia el otro formando anticlinales volcados y probablemente fallados.

#### TEORIA DEL DIAPIRISMO COMPARADA CON LA DE RELACIONES DE CONCORDANCIA

Por años ha existido una controversia entre los geólogos acerca del origen diapírico o estratigráfico de los depósitos de sal de la Cordillera Oriental. Aunque todos los depósitos han sido considerados, el debate se ha centrado sobre los de la Sabana de Bogotá, ya que éstos son los más obvios y accesibles.

Muchos autores han favorecido el origen diapírico (Singewald, 1939, p.189; Bürgl, 1962, p.20; Campbell y Bürgl, 1965, p.572-585 y Plancha I). Benavides (1968, p.275-278 y figura 4), cita los estudios de R. Scheibe (1925), Gerth (1935 y 1955), Olsson (1956), y Wokittel (1960), en los cuales estos autores consideran la sal originaria bien de la parte baja de las Formaciones Girón o Cáqueza. Aquellos que favorecen la hipótesis de que la sal, fué originada del Cáqueza, consideran que todos los depósitos más altos en la sección cretácea son diapiríticos. Los que favorecen el origen en el Girón, entonces la consideran generalmente como de comienzos del Mesozoico y sostienen que todos los depósitos de sal son diapiros. Bürgl (1962, p.20) ha hecho hincapié en que el Grupo Girón, que él consideró del Rhetico-Liásico, es la única unidad en el Mesozoico en el cual pudieron haberse formado depósitos de sal ya que pensaba que el Girón era de origen continental árido. Más tarde Campbell y Bürgl (1965, p.572) consideraron que la sal fué depositada a partir de incursiones del Liásico marino dentro del Girón que se depositaba en una cuenca continental árida. Ambos autores concluyen que la sal ha llegado a su presente posición dentro de los estratos cretáceos por diapirismo.

Hubach (1957, p.110 y columna estratigráfica, 1965) y Ujueta (1969, p.2317-2320) consideran que la sal está interestratificada en las varias secuencias estratigráficas en las cuales ocurre, conclusión que también se sustenta en este estudio.

Evidencias que favorecen el diapirismo. Los datos del presente estudio que pueden interpretarse como que favorecen el diapirismo son los siguientes:

- 1.- La estructura de los estratos de sal de Nemocón y pequeñas áreas de las minas de Zipaquirá y Upín se parece localmente a la de los diapiros de sal (Balk, 1949) ya que se presentan numerosos buzamientos empinados hasta verticales.
- 2.- Se recobró un grano de polen pobremente preservado dentro de la sal de Zipaquirá. Este fué considerado por el Dr. John Funkhouser (comunicación oral, 1965) como de edad pre-Cretáceo y posiblemente Permiano.

Evidencias que favorecen la posición concordante -estratificada de la sal.- Las siguientes evidencias sustentan un origen estratigráfico de los depósitos de sal:

- 1.- La presencia de un contacto deposicional, entre la secuencia de sal y el fondo de la cuenca evaporítica de Zipaquirá.
- 2.- La existencia de un área relativamente grande de sal, en la parte norte del nivel principal de Zipaquirá que presenta buzamientos suaves y concordantes con el contacto basal de la secuencia de sal.
- 3.- La relación de concordancia entre el fondo de la cuenca evaporítica y los estratos subyacentes de la Formación Chipaque expuestos en superficie en Zipaquirá.
- 4.- En conjunto la estructura en las minas de Zipaquirá y Upín no pueden compararse con las de los diapiros de sal; los buzamientos son comunmente mucho menores que en los diapiros (Balk, 1949); además estratos horizontales se presentan en Zipaquirá que nunca se observan en los diapiros.
- 5.- Los pliegues de flujo de todos los depósitos de Colombia tienen ejes esencialmente horizontales, mientras que en los diapiros son verticales (Balk, 1949, p.1791-1804); Muehlberg, 1968, p.360), aunque indudablemente existen muchos más pliegues de flujo que los observados en los depósitos de Colombia, estos rasgos no son nunca tan numerosos como los observados por Balk, (1949, p.1805) en los diapiros de sal.
- 6.- Si los depósitos de Colombia hubieran sufrido movimientos verticales de miles de metros requeridos para un origen diapirítico, los grandes cuerpos de arcillolita no habrían mantenido su concordancia con la sal o indudablemente habrían sido fragmentados.
- 7.- Todos los fósiles asociados con los depósitos o evidencias de sal en la Sabana de Bogotá, indican una edad que va desde el Turoniano hasta

comienzos del Coniaciano para los estratos subyacentes y equivalentes a los depósitos de sal. Esta asociación constante habría sido improbable si la sal se hubiera emplazado por diapirismo.

Conclusiones.- La similitud estructural local de la sal de Nemocón con un diapiro puede ser explicada ya sea por migración lateral o tectonismo regional; probablemente ambos tuvieron lugar. Los buzamientos en parte del yacimiento de Nemocón sin embargo, son menores que los buzamientos más bajos en diapiros de sal, (Balk, 1949). Las áreas de estratos de sal estructuralmente deformados en las minas de Zipaquirá y Upín, probablemente se originaron en respuesta a tectonismo regional. Como consecuencia, los depósitos de sal de la Sabana de Bogotá y probablemente los del Cretáceo más antiguos son estratiformes más bien que diapiríticos.

#### RESERVAS DE SAL EN LA CORDILLERA ORIENTAL

Las cifras de reservas para las tres minas de sal en operación de la Cordillera Oriental pueden ser solamente estimadas sin precisión puesto que la geometría y extensión lateral de estos depósitos, no están perfectamente conocidos debido a falta de datos de perforación.

Mina de Zipaquirá.- Este estudio indica que las reservas inmediatamente explotables de estos depósitos de sal hasta una profundidad de 60 metros son del orden de 30 millones de toneladas de halita. Las reservas probables basadas en la interpretación geológica pueden alcanzar hasta cerca de 68 millones de toneladas de halita con una profundidad de explotación de 150 metros. Las reservas posibles que implican una continuación de la sal en dirección del rumbo hacia el noroeste pueden ser del orden de 130 millones de toneladas de halita. Ni la sal del nivel superior o de la Catedral ni la del que la subyace en el socavón principal, han sido incluídas en estos cálculos.

Mina de Nemocón.- Las reservas inmediatamente explotables en Nemocón pueden ser del orden de 4 millones de toneladas de halita basados en una cuclga de 30 metros. La carencia de datos impide los cálculos de reservas probables o posibles. La cartografía geológica en vecindades de la mina sugiere que las reservas posibles pueden ser dos a tres veces más grandes que las reservas probadas.

Mina de Upín.- Las reservas inmediatamente explotables determinadas del conocimiento actual muy limitado de este depósito, pueden ser del orden de 72.000 toneladas de halita con una cuclga de 10 metros. Con más estudios esta cifra ciertamente puede aumentarse.

Mina de Sesquilé.- No pueden darse cifras de reservas probadas para este depósito, por cuanto el acceso a la mina es imposible por hallarse derrumbada. Basados en la interpretación geológica de la cartografía de superficie y en una cuega de 10 metros, las reservas posibles de Sesquilé pueden ser del orden de 7 millones de toneladas de halita.

## OTROS MINERALES NO METALICOS

### ROCA FOSFORICA

La roca fosfórica está restringida a capas pequeñas no comerciales, las cuales tienen generalmente menos de un metro de espesor y por lo común una extensión lateral limitada. La mayor parte de los estratos fosfáticos están en el Guadalupe Inferior, unos pocos en el Guadalupe Superior y varios otros incluyendo los más extensos, en estratos pre-Guadalupe Inferior. Indudablemente se encontrarán más depósitos cuando se estudie la sección cretácea con mayor detalle. No se conocen rocas fosfáticas en el cuadrángulo de El Guavio (K-12). Los pequeños depósitos discutidos a continuación eran conocidos con anterioridad a los levantamientos cartográficos de la Zona IV, o fueron descubiertos al hacer estos levantamientos.

Depósitos del Pre-Guadalupe Inferior.- Una capa de arenisca fosfática calcárea aflora unos pocos kms al oeste de Ubaté en el área b-1 de la Plancha I. Este intervalo tiene aproximadamente 3 km de longitud siguiendo el rumbo, de 20 a 30 cm de espesor y localmente contiene 15% de  $P_2O_5$  (Pedro Mojica, comunicación escrita, 1966). La posición stratigráfica precisa de esta capa de fosfato está en duda, pero probablemente yace debajo de la facies margosa de las capas de La Frontera, la cual generalmente está considerada de edad Turoniano Tardío (Champetier de Ribes y otros, 1961). La sección fosfática mayor en la Zona IV puede ser de edad Cenomaniano, y es correlacionable con la Formación Une que aflora a unos pocos km al este de Ubaté en el área c-1 de la Plancha I. Esporádicamente se presentan manifestaciones fosfáticas menores en estratos del Pre-Guadalupe Inferior en otras partes de la Zona IV.

Depósitos de la Formación Guadalupe Inferior.- Varios metros de arcillolita silíceo a limosa, fosfática, afloran en un corte de la carretera 3 km al W-NW de Machetá, en el área d-3 de la Plancha I. La extensión lateral de esta zona todavía no se conoce a causa de complicaciones estructurales y falta de afloramientos.

Otro lente de fosforita se presenta en la Serranía de Pericos en el área b-6 de la Plancha I, aproximadamente 1400 metros al oeste de una arenisca prominente impregnada con hematita. Aquí el material fosfático está diseminado a través de varios metros de arenisca de grano fino, con una extensión lateral de menos de 300 metros. Este lente se indica en la Plancha IX.

A menos de 4 km al noreste de Tausa-Viejo en el Alto de la Mesa (área b-2), una capa de fosforita limosa de 10 a 15 cm de espesor, con una extensión a lo largo del rumbo de varias decenas de metros, aflora cerca de la cima de una colina pequeña y prominente.

Depósito de la Formación Guadalupe Superior.- Un cordón fallado de estratos del Guadalupe Superior, situado aproximadamente 10 km al norte y oeste de Sueva, área c-6, contiene cantidades pequeñas de material fosfático con limolitas silíceas en varias partes (ver Plancha I, c-5 y c-6). Este material fosfático generalmente de no más de un metro de espesor, no pudo ser delimitado a causa de la densa cubierta de maleza. La fosforita más prominente aflora en una cantera de recebo sobre la carretera a Guasca, aproximadamente 8 km al W-NE de Sueva. Un lentejón pequeño de fosforita limosa aflora en las limolitas de la Formación Guadalupe Superior, sobre la carretera que conduce a la antena de radio situada en el Cerro del Santuario, aproximadamente 11 km al oeste de Neusa en el área a-2 de la Plancha I.

## CALIZA

Dentro del cuadrángulo de Zipaquirá hay actualmente dos canteras de caliza en explotación. En Palacio (parte oriental del área b-7), Cementos Samper Ltda. está explotando un lentejón de coquina de color marrón oscuro grisoso a marrón oscuro, masiva, de grano grueso y de un poco menos de 100 m de espesor. La extensión a lo largo del rumbo no está completamente conocida pero puede aproximarse a 1 km. Un buen resumen de los recursos de caliza de esta área fué preparado por De La Espriella (1959, p.27-60).

La otra cantera en operación es más pequeña y está en la Serranía de Pericos, en la parte suroriental área b-6 de la Plancha I. (ver también Plancha IX). La caliza es masiva, gris oscura, localmente gris-marrón oscuro, ligeramente fétida, coquinoide y con intercalaciones delgadas de arcilla. El depósito consta de dos capas: la superior tiene aproximadamente 15 metros de espesor y está separada de la inferior por 50 cm de arcillolita gris oscura limosa. La base de la capa inferior no está expuesta. Como puede observarse en las Planchas I y IX el conjunto de afloramientos de la caliza tiene una periferia semielíptica de aproximadamente 200 metros de diámetro mayor. No se hicieron estudios

intensivos en estos depósitos de caliza, durante el curso de la presente investigación.

Dentro del área a-7 del cuadrángulo del Guavio y la parte oriental extrema de las áreas d-7 y d-8 del cuadrángulo de Zipaquirá, las calizas de Ubalá, pueden también ser una fuente de cemento para la región de Ubalá-Gachalá. Esta caliza es gris oscura, de grano medio a grueso, localmente arenosa y masiva. Los estudios hasta el presente indican un espesor de cerca de 180 metros. Puesto que la región está todavía siendo cartografiada, la extensión lateral de la caliza aún no se conoce. De ser posible la utilización de esta caliza como una fuente de cemento, se reducirían grandemente los costos de la construcción en esta región relativamente aislada.

#### DEPOSITOS MENORES

##### YESO

La geología y el posible origen de 3 depósitos de yeso fueron expuestos previamente. Puesto que éstos son de propiedad privada no se hicieron estudios detallados.

La producción aproximada de yeso en Gachalá parece ser de 10 toneladas por día, la de Lusitania probablemente es algo mayor. Mientras se escribe el presente informe no se conoce nada sobre la producción del depósito de yeso de Santa María de Batá. Estos depósitos se explotan dinamitando el afloramiento brechoide y lavando con monitores.

##### AZUFRE

Un depósito pequeño de azufre conocido en la Zona IV (Harald Laage, comunicación oral, 1968) no fué examinado, puesto que la cartografía en el cuadrángulo del Guavio no había llegado a la región donde se encuentra. Aunque Vicente Suárez Hoyos (1945, p.159-166) anota una cantidad considerable de azufre en el yacimiento cercano a Gachalá, Quebrada Las Minas. Actualmente allí no se observan cantidades apreciables de este elemento. Suárez H. menciona que el pequeño depósito de azufre cerca de San Isidro, en el área a-8 del cuadrángulo del Guavio, aproximadamente 5 km al suroeste del depósito de Gachalá, está asociado con arcillolitas negras a grises oscuras, calcáreas,

localmente piríticas y con delgadas intercalaciones de caliza negra. Todo el conjunto está estructuralmente deformado. Suárez H. afirma que los análisis químicos revelaron solamente carbonato y sulfato.

San Isidro probablemente es el resto de un depósito de yeso anhidrita. El azufre de San Isidro y antiguamente el de Gachalá, resultaron de la reducción por bacterias de  $\text{CaSO}_4$  en presencia de materia orgánica. Este azufre está genéticamente relacionado a las acumulaciones de yeso como lo indicaron las ocurrencias descritas por Suárez H. en la zona.

#### CAOLINITA

En la región de la Sabana de Bogotá la caolinita es común en la Formación Guadalupe Inferior y también se presenta en la Superior. En ambas formaciones la caolinita se halla en los intersticios de areniscas y limolitas. La caolinita es ocasionalmente extraída de las limolitas donde la cantidad de cuarzo detrítico no es excesiva y la roca es suficientemente blanda para ser trabajada a mano. Las dos minas más grandes en la región, situadas una a 2 km de la mina de sal de Zipaquirá y la otra a la misma distancia al suroeste de la mina de Nemocón se muestran en la Plancha I. La caolinita se explota esporádicamente y se transporta por camión a Bogotá. Ambos depósitos contienen aproximadamente 50% de caolinita y 50% de cuarzo detrítico de tamaño limo como se determinó por análisis de difracción de rayos-X. El depósito al noroeste de Zipaquirá está en la Formación Guadalupe Inferior y el del suroeste de Nemocón, probablemente en el Guadalupe Superior.

#### ESMERALDAS

Las esmeraldas se explotan a escala relativamente grande en las áreas de Gachalá y Chivor al E y en Muzo al W. Se han encontrado esmeraldas en muchos otros lugares en esta parte de la Cordillera Oriental. Los estratos que contienen las esmeraldas de Chivor y Gachalá y el cateo esmeraldífero de Lusitania, en la margen sur del Río Batá, son aproximadamente correlacionables con la secuencia del Berriasiano-Valanginiano que contiene los depósitos de sal más antiguos conocidos. Las esmeraldas encontradas en las minas de Zipaquirá (Oppenheim, 1948, p.35; Wyllis Bronkie, comunicación oral 1965) y Nemocón (Scheibe, 1933) son estratigráficamente más altas y correlacionables con la secuencia de sal del Turoniano al Coniaciano Inferior.

Las esmeraldas en Colombia hasta ahora se han encontrado en arcillolitas carbonáceas, comunmente margosas, limosas, generalmente de color gris oscuro a negro, que puede pasar localmente como en Chivor, de gris a marrón claro. Las esmeraldas se encuentran en pequeños conjuntos o racimos en fisuras mineralizadas de buzamiento moderado. Los principales minerales de ganga asociados con las esmeraldas son cuarzo euhedral, piritita, albita y calcita. Los minerales de ganga y la calidad de las esmeraldas difieren en los varios depósitos. Para una descripción más completa de los depósitos de esmeraldas el lector puede consultar a Oppenheim (1948) para los de Muzo y a Gilles (1966), Mentzel (1966) y Johnson (1966), para el área de Chivor.

A causa de que la mayor parte del berilo, incluyendo los depósitos de esmeraldas, es en todas partes de origen ígneo, se presume que las esmeraldas de la Cordillera Oriental son epigenéticas. Un intrusivo ultramáfico ha penetrado los estratos albianos (Bürgl, 1962), cerca al depósito de esmeraldas de Muzo, pero no las arcillolitas que contienen las esmeraldas. A excepción de este cuerpo ultramáfico no hay otras rocas ígneas presentes en las vecindades de los depósitos de esmeraldas. Un pequeño "Stok" gabroide se presenta en los estratos del Cretáceo Inferior, cerca de Pajarito, aproximadamente 80 km al suroeste de Tunja, pero no se conocen esmeraldas asociadas a él.

## MINERALES METALICOS

### HIERRO

Depósito de hierro de Pericos.- El depósito de hierro de Pericos, conocido también como de Guasca o Tibitó, aflora a lo largo de las pendientes E y NE de la Serranía de Pericos, en una cadena arqueada de colinas entre los valles de Sopó y Guasca. La zona de mineralización de hierro se muestra en las Planchas I y V (áreas b-5 y b-6); el área está situada 4 a 8 km al sureste del Salitre, pequeño caserío localizado al oeste del área b-6.

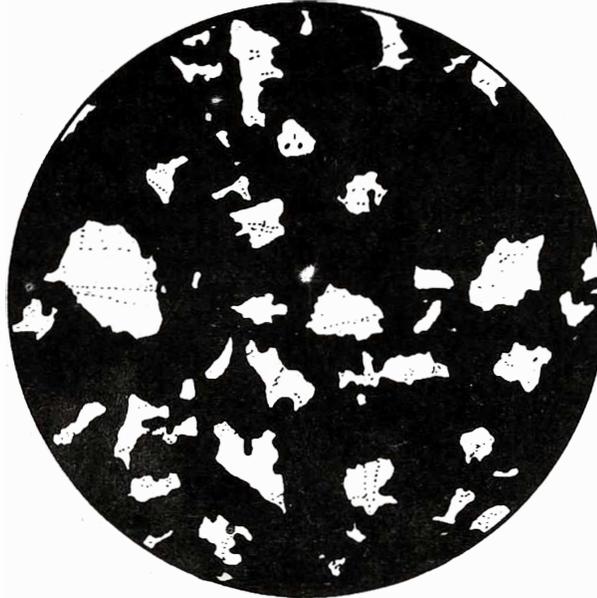
Como se ilustra en los cortes de las Planchas I y IX, la zona de hierro de Pericos está localizada sobre el flanco W del anticlinal que se extiende entre Sopó y Sesquilé. Este flanco se movió sobre el flanco E de la estructura a lo largo de la falla inversa de Pericos.

La zona se compone de arenisca cuarzosa, de grano fino a limosa, de estratificación gruesa e impregnada con hematita y limolita de la parte inferior de la Formación Chipaque. El espesor máximo de la zona no pudo ser

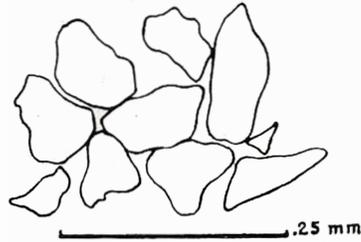
determinado con precisión, pero puede llegar a los 80 m. El contacto superior está por lo general mal expuesto y parece ser gradacional con las arcillolitas limosas suprayacentes. El contacto inferior a lo largo de la parte media de la zona sur está formado por la falla inversa de Pericos la cual corta la base misma de la zona. Aunque la mitad septentrional de la zona mineralizada no aflora, se encuentran bloques impregnados con minerales de hierro sobre una cuchilla, lo cual sugiere que ésta se halla formada por roca mineralizada, probablemente intercalada con las arcillolitas del Chipaque. La falla inversa de Pericos pasa al noreste de esta cuchilla y pone en contacto las Formaciones de Chipaque y Guadalupe Superior. La zona se extiende a lo largo del rumbo por 6.340 m y termina al norte truncada por un ramal de la falla inversa de Pericos. Al sur termina ya sea por acuñamiento estratigráfico, o menos probablemente por intersección con la falla de Pericos. La naturaleza precisa de la terminación sur no es clara por falta de afloramientos. La extensión en sentido del buzamiento de la zona no se conoce y la representación de esta dimensión mostrada en los cuatro cortes de la Plancha IX es especulativa. Sin embargo, información de núcleos de perforación sugieren, que la zona se adelgaza hacia abajo en dirección del buzamiento a partir del afloramiento, aunque faltan pruebas concluyentes.

La cartografía geológica indica que la zona mineralizada comprende numerosas capas con impregnaciones ferruginosas, la más grande de las cuales, tiene unos 10 m de espesor y ha sido llamada “La Adelita” por Alvarado y Sarmiento S. (1943). Los estratos mineralizados están separados por capas de arcillolitas grises a grises claras, lenticulares, generalmente delgadas. Los numerosos intervalos hematíticos fueron estudiados por Alvarado y Sarmiento S. (1943), quienes describieron los estratos en 26 trincheras que exponen secciones parciales dentro de la zona. Los intentos de cartografiar los numerosos lechos de hematita fueron infructuosos debido a los cambios de facies y a la escasez de afloramientos. Los estratos hematíticos, meteorizan formando montículos de color rojo oscuro y exfoliados que parecen ser más ferruginosos y duros que los estratos atravesados por las perforaciones hechas a lo largo de una línea normal al rumbo. El alto contenido en hematita de los estratos expuestos en el escarpe se aprecia en la figura 15 que es un dibujo de una sección delgada hecha por John Butler e incluida en el informe de Alvarado y Sarmiento S. La localización de las ocho perforaciones hechas por el Ministerio de Minas y Petróleos se indica en la Plancha IX.

Las cuatro trincheras de tamaño importante hechas por Alvarado y Sarmiento S. a intervalos cortos (Plancha IX) fueron muestreadas por Antonio David Erazo y analizadas en el Laboratorio Químico Nacional. Los análisis (cuadro 5) muestran un contenido promedio de hierro de 48% y una variación entre 39.96 y 59.63%. Los residuos insolubles, principalmente cuarzo detrítico de grano fino hasta limo, tienen un promedio de 15.5% y varían de 6.06 hasta 30.94%. También se presentan cantidades de Al, P, Mn, S, Ca y Mg. Un trozo



- A - Las áreas negras son óxidos de hierro y las blancas granos de cuarzo de la arenisca original. La arenisca ha sido casi completamente reemplazada por óxidos de hierro. Los granos de cuarzo son redondeados angulares. Comparar con B.



- B - Dibujo de granos de cuarzo de una sección delgada, de arenisca no mineralizada, que muestra la angularidad y subangularidad de los granos originales.

Figura 15.- Dibujo de una sección delgada de una muestra del depósito de hierro de Pericos. (Por J.W. Butter, Jr.).



pequeño de siderita se encontró en uno de los núcleos. No hay análisis disponibles de los núcleos de las 8 perforaciones. El enriquecimiento superficial debido a la meteorización puede dar como resultado un porcentaje más alto de hierro que el existente en la roca no meteorizada en profundidad.

La zona de hierro en partes contiene fósiles que Royo y Gómez (Alvarado y Sarmiento S., 1943) consideró de edad Turoniano. Bürgl (comunicación oral, 1966), considera que esta fauna es del Coniaciano. La zona de hierro es entonces correlativa con la facies salinífera de la Sabana de Bogotá de la Formación Chipaque. Las relaciones faciales correspondientes al intervalo de sal y el posible origen de los depósitos hematíticos en esta región ya han sido tratados.

La zona de hierro de Pericos es conocida desde hace bastante tiempo pero la explotación ha sido esporádica. Cantidades pequeñas de mineral han sido extraídas para usarlas en la fabricación de cemento. El primer estudio de esta mineralización fué hecho por Benjamín Alvarado y Roberto Sarmiento S. cuyo informe es aún hoy en día el más completo. Actualmente el Instituto de Fomento Industrial, está desarrollando el depósito.

Una cifra tentativa para las reservas de hierro de la zona de Pericos es del orden de 600.000 toneladas de hematita. Se necesitan más datos para que pueda hacerse un cálculo de reservas más realista, tales como: la geometría del depósito, delinear los cambios de facies dentro de la zona de hierro y efectuar análisis químicos de la roca en profundidad.

Otras ocurrencias de hierro en la Sabana de Bogotá.- Aunque el depósito de Pericos es el más grande conocido en la Sabana de Bogotá, depósitos de hierro más pequeños pero geológicamente similares se conocen en otras localidades.

Un poco más de un kilómetro al sureste de Nemocón una colina que forma el filo del Cerro Volador está formada por una arenisca cuarzosa de grano fino de cerca de 6 m de espesor y aproximadamente de 400 m de extensión en dirección del rumbo, como puede verse en el área b-3 de la Plancha I. La capa que contiene hierro tiene un rumbo N65° E y un buzamiento invertido hacia el NW de 65°. Un túnel sigue el rumbo de la capa por cerca de 100 m. Singewald (1949, p.144-145) dice que el depósito de hierro contiene 54% Fe; 8.5% SiO<sub>2</sub> y es moderadamente "alto" en el contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Singewald estimó las reservas en 50.000 toneladas.

Al suroeste de Nemocón hay otra capa más delgada de arenisca cuarzosa, de grano fino, rica en hierro que todavía no ha sido explotada la cual forma una colina elongada. Los estudios estructurales sugieren que esta pequeña capa puede estar en el mismo horizonte del Cerro Volador, ambas son del comienzo del Coniaciano y son miembros de la Formación Chipaque. Estas dos

capas ferruginosas se muestran en mapas detallados en los archivos de Ingeominas.

En La Caldera aproximadamente 5 km al N-NE de la mina de sal de Zipaquirá se encuentran varios lentejones de arenisca hematítica de extensión lateral limitada en el área a-3 de la Plancha I. Varias trincheras se cavaron hace algunos años. Singewald (1949, p.144-145) anota que las capas que contienen hierro en La Caldera alcanzan de 40 a 55% de Fe con una cantidad variable de  $\text{SiO}_2$  y un contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$  que está por encima de grado Bessemer. Fósiles del Coniaciano Temprano se encuentran en las arcillolitas del Chipaque adyacentes. Las reservas en La Caldera según Singewald son de 50.000 toneladas.

En la Serranía de Pericos entre el tope de la zona de Fe y la parte superior de la Formación Chipaque hay por lo menos 3 capas de areniscas impregnadas con hematita con espesores de 2 a 10 m. La más larga de éstas tiene una extensión según el rumbo de unos 2.200 m. Estos estratos, no mostrados en todo su espesor en la Plancha IX, pasan lateralmente al norte a estratos del Coniaciano Inferior.

Un kilómetro al norte de La Siberia, en el borde oriental del área a-7, de la Plancha I, en una zona fallada, se encuentra arenisca hematítica asociada con rute y limolita de la Formación Chipaque. Cementos Samper Ltda. está explotando esta capa en pequeña escala para manufactura de cemento.

Tibirita.- El depósito de Tibirita se encuentra en El Salitre, Municipio de Tibirita, área a-4 del cuadrángulo del Guavio (K-12). Por lo menos dos áreas mineralizadas se presentan en esta región.

El área mineralizada meridional, Munantá, está aproximadamente 60 m al oeste de la desviación hacia Manta. Aquí los lechos hematíticos están interestratificados con limolitas y arcillolitas gris oscuras a negras, lutíticas y localmente margosas, de la Formación Fómeque. La zona de hematita tiene hasta 3 m de espesor y localmente se encuentra asociada con siderita. Películas de azurita y malaquita son comunes indicando la presencia de pequeñas cantidades de calcopirita. Películas de melanterita, que comúnmente se asocian con áreas de sal se encuentran localmente. Cristales euhedrales de cuarzo son también comunes. En las arcillolitas se observan pequeños espejos de fallas. La extensión lateral de la mineralización no está determinada, pero Manjarrés (1966, p.8) sugiere que la hematita de Munantá puede continuarse 250 m hacia el sur y estar contigua con otra capa de hematita en el área. El Dr. Marino Arce estima que puede haber aproximadamente 29.000 toneladas de hematita en el área de Munantá.

Cañadas, la zona mineralizada septentrional, está aproximadamente 600 m al norte de Munantá y contiene tres capas de hematita según Manjarrés (1966, p.6).

La capa inferior que forma una pendiente estructural, tiene 1.65 m de espesor y está sobrepuesta por otra capa de hematita de cerca de 4 m de espesor de la cual está separada por una capa de arcillolita. A esta segunda capa suprayacen 28 m de arcillolita. La capa de hematita superior tiene aproximadamente 5 m de espesor. Manjarrés dice que estos estratos de hematita no se extienden hacia el norte y según el rumbo pueden continuarse unos 60 m hacia el sur. Ciento veinte metros al suroeste de estas capas hay varios bloques grandes de hematita que pueden representar una continuación de ellas. Arce calculó reservas de 236.000 toneladas. Sin tener en cuenta la capa superior de 5 m de espesor ni la posible extensión de 120 m en la dirección del rumbo hacia el sureste.

Manjarrés (1969, p.9), anota que toda la hematita es rombohedral y pseudomorfa según siderita. Una conclusión que es sustentada por la presencia de siderita con hematita en Munantá.

La cartografía regional sugiere que los estratos del Fόμεque que contienen la hematita de Tibirita pueden ser correlacionables con los de las salinas de Gachetá. En el cuadrángulo de Zipaquirá, unos 15 km al suroeste a lo largo del rumbo se encuentra el área de bloques de siderita que puede estar relacionada con la facies de halita de las salinas de Gachetá.

Wedow (comunicación escrita, 1969) sugiere que los depósitos de plomo-zinc en la parte baja de la Formación Fόμεque, que se discutirán posteriormente, pueden haberse originado de salmueras. Sal o salmueras pueden haber estado presentes en el área de Tibirita. Allí los depósitos están localizados en un anticlinal. Tales estructuras que en varias partes contienen sal y el nombre de la localidad conocida como "El Salitre" así lo indican. Las salmueras pueden haber contenido iones de cobre y hierro que fueron precipitados como calcopirita. La reducción por bacterias que en el área de Zipaquirá dió lugar a la depositación de esfalerita también puede haber originado la calcopirita en Munantá. No hay evidencia de enriquecimiento hipogénico en esta área. El cuarzo no ocurre en venas sino como pequeños cristales euhedrales no necesariamente de origen hipogénico, puesto que algunos de ellos también se encuentran en la anhidrita asociada con la esfalerita de Zipaquirá.

Ubalá.- El depósito de Nueva Vizcaya está localizado aproximadamente 9 km al noreste de Ubalá en el área d-2 del cuadrángulo del Guavio (K-12). El límite norte de la mineralización conocida actualmente está varios cientos de metros al sureste del campamento Manizales (ver Plancha X).

La zona de limonita subyace a una caliza gris masiva con crinoideos de probable edad carboniana (Suárez Hoyos, 1945, p.176). El espesor de la zona mineralizada parece aproximarse a 20 m según informe rendido por Geocolombia (1968, p.5) la zona tiene una extensión en dirección del rumbo desde el campamento Manizales hasta Las Mercedes en el sur de

aproximadamente 4.5 km. La capa de hierro parece encontrarse en el flanco oriental de un sinclinal cuyo flanco occidental ha sido eliminado por falla.

Según el informe de Geocolombia (1968, vol.2, p.58) los componentes más importantes se presentan en los siguientes porcentajes promedios:

	<u>Porcentaje</u>
Fe	53.60
Mn	4.30
SiO <sub>2</sub>	5.90
P	0.08
S	0.10

La Compañía Minera Nueva Vizcaya, actuales concesionarios dan los siguientes porcentajes de composición (comunicación escrita, 1969, Andrés Perea Gallaga a Miguel Fadul).

	<u>Porcentaje</u>
Fe	60.00
Mn	3.50
SiO <sub>2</sub>	< 1.00
P	0.06
S	0.06

La zona mineralizada es de color café oscuro o café rojizo. No hay evidencia de actividad ígnea en la región. La zona forma una pendiente pronunciada que buza 20-25° NW. Las secciones delgadas indican que el depósito es el resultado de oxidación de siderita primaria; los rombohedros son abundantes y no se observan partículas de cuarzo del tamaño de arena o limo.

Según Geocolombia (1968, v.3, anexo 6) las reservas son las siguientes:

Total probadas	4.117.000	Toneladas
Total probables	16.814.000	Toneladas
Total posibles	22.030.000	Toneladas

El trabajo geológico inicial fué llevado a cabo bajo la dirección del Dr. Roberto Wokittel y posteriormente por Geocolombia Ltda. Los geólogos de Ingeominas están actualmente estudiando el depósito en detalle y se ha iniciado un programa de perforación.

Cerro de Montecristo.- Al sur del Río Guavio, 10 a 15 km al noreste de Gachalá en el área b-3 del cuadrángulo del Guavio hay varios afloramientos de hematita especular en la región conocida generalmente como Cerro de Montecristo (Plancha X). Análisis químicos indican que el contenido de hierro puede alcanzar hasta el 68% lo que equivale a un porcentaje de 98% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. El contenido de sílice y fósforo es despreciable.



La hematita aflora en tres sitios principales: 1) en Tominejas sobre el Río Naranjito, 2) en el área de Tumbalaya cerca de Algodones, y 3) en el área del Río Tormenta, aproximadamente 1 km al sureste de Las Mesitas, un pequeño caserío en el flanco sur del valle del Río Guavio. Dentro de esta área de vegetación boscosa y de topografía rugosa puede haber afloramientos similares todavía desconocidos.

El más grande y espectacular de los afloramientos de especularita se encuentra sobre el Río Tormenta en un área de densa vegetación y de topografía muy escarpada. Recientes deslizamientos expusieron entre 20 y 25 m de arenisca cuarzosa del Grupo de Farallones de edad carboniana, el cual contiene lentes de hematita especular que van desde unos pocos centímetros hasta 30 cm de espesor. Se estima que el 30% de la sección expuesta en el Río Tormenta es especularita. Este afloramiento presentado en la figura 16 muestra un croquis levantado a pasos y brújula y una sección transversal, trabajados antes de que ocurrieran nuevos deslizamientos que produjeron exposiciones adicionales.

Gran parte de esta región está otorgada en concesión a la Minera Hansa Ltda. la cual ha sacado y transportado a lomo de mula cerca de 15 toneladas del mineral desde Tominejas (Harald Laage, comunicación oral, 1967).

## COBRE

Cerro del Cobre.- El Cerro del Cobre está en la parte central del área a-7 del cuadrángulo del Guavio. Es el único depósito importante de cobre en esta región aunque hay pequeñas muestras de calcopirita en otros lugares. El Cerro del Cobre todavía no ha sido estudiado en detalle por los geólogos de Ingeominas pero un breve informe fué escrito por Vicente Suárez Hoyos (1945, p.175-184).

La mina del Cerro del Cobre se encuentra aproximadamente 7 km al noreste de Gachalá (ver Plancha X). La explotación actual es esporádica, pero en una ocasión se excavaron 18 galerías de acceso, muchas de las cuales están actualmente derrumbadas. Esta área es relativamente rica en esmeraldas; de las cuales, la más grande hasta ahora descubierta fué encontrada cerca del Cerro del Cobre.

La estratigrafía de esta región no se conoce completamente. Aquí se encuentran arcillolitas grises oscuras a negras, limosas y lutíticas, de la Formación Cáqueza y caliza gris densa y masiva que puede ser correlacionable

con la caliza de Ubalá del Valanginiano o con miembros del Grupo de Farallones principalmente de edad Carboniano. Unidades de calizas de ambas edades pueden estar presentes. El depósito de cobre de acuerdo con Suárez Hoyos (1945) se encuentra predominantemente en estrato calcáreo que él considera del Carboniano.

La estructura geológica del Cerro del Cobre todavía no se comprende claramente, puesto que no se ha elaborado aún cartografía detallada. Suárez Hoyos (1945, p.176-177) menciona una estructura compleja resultante de plegamiento que él considera posterior al fallamiento, una secuencia de eventos que está en orden inverso a la establecida en el cuadrángulo de Zipaquirá. Suárez Hoyos sin embargo, considera, que la estructura en el área del Cerro del Cobre es anticlinal y de edad terciaria, postulado que es confirmado por la mayor parte de los geólogos familiarizados con la Cordillera Oriental.

Suárez Hoyos (1945, p.179) dice que el depósito del Cerro del Cobre está compuesto de caliza cristalina, la cual ha sido reemplazada metasomáticamente por calcopirita diseminada y en venas. El material de ganga contiene grandes cristales de calcita blanca y cantidades menores de cuarzo lechoso en venas. Considera que durante el primer período de mineralización fueron depositados calcita y cuarzo en drusas en la caliza y posteriormente se depositó calcopirita en un segundo período de mineralización. En la etapa final de la mineralización se formaron vetas de cuarzo y cree que la distribución irregular de la calcopirita se debe a la porosidad variable de la roca huésped. Stutzer (1934, p.153), anota que la zona mineralizada tiene 10 m de espesor y hace hincapié en la ausencia de azurita y malaquita.

Doce muestras tomadas en esta área dieron un contenido de cobre que fluctúa entre 0 y 3.36% con un valor promedio de 1.19% (Suárez Hoyos, 1945, p. 192), pero no da cifras sobre producción.

Una misión japonesa (Gobierno del Japón, 1966, p.41) estimó las reservas de material cuprífero en 1'620.000 toneladas, sin dar datos sobre el contenido promedio de Cu.

Farallones de Medina.- Desde hace mucho tiempo se conocen varios afloramientos de calcopirita en el área de Los Farallones al sureste de Gachalá, área a-8 del cuadrángulo del Guavio (K-12) y más al sur, en el cuadrángulo de Medina (L-12). Aunque numerosos geólogos han cruzado esta cadena montañosa que separa a Gachalá de la población de Medina hacia el este, no se han hecho estudios geológicos sistemáticos a causa de la mala accesibilidad. Estas montañas son escarpadas con una altura de alrededor de 4.000 m y la vegetación es muy densa. Existen dos caminos de herradura que cruzan esta área. Uno de los autores conoce esta área hasta el Alto de Bojará, pero no pudo hacer ningún trabajo debido a la densa niebla y a las lluvias torrenciales. El proyecto tuvo que ser abandonado después de varios días.

En 1966 un grupo de geólogos japoneses visitó el área y además de examinar varios afloramientos de calcopirita colectó valiosa información estratigráfica y paleontológica (Gobierno del Japón, 1966). En Las Palmas, aproximadamente 2.8 km al sureste de Gachalá, encontraron un risco que mira al sureste con 20 m de altura y 50 de longitud compuesto de lodolita calcárea y arenisca. Aunque no lo indican en el texto la sección transversal adjunta (Gobierno del Japón, 1966, figura 18) muestra estos estratos incluidos en el Grupo Farallones. Tanto la arenisca como la lodolita están mineralizadas por pirita, calcopirita, covelita y cuarzo a lo largo de las fallas. El informe indica que la arenisca calcárea está localmente impregnada de calcopirita y covelita a lo largo de una zona de falla de 1.5 m de espesor. Una zona de 70 cm de espesor fué muestreada y los análisis indican un promedio total de cobre de 1.45%, incluyendo 0.35% de CuO soluble.

Otros dos afloramientos están localizados cerca de El Salitre en el lado noreste del Alto de Bojará, a unos 9 km de Gachalá. El informe japonés indica que el primer afloramiento está compuesto de 1.4 m de caliza arcillosa impregnada con calcopirita y malaquita. La extensión, según el rumbo, de la zona mineralizada es de 13 m y el contenido de cobre es menor del 1%. El segundo afloramiento consiste de malaquita y calcopirita impregnando una caliza arcillosa de 2 m de espesor la cual está interestratificada con lodolita roja. La extensión, en dirección del rumbo es de varios metros y el contenido del cobre es menor del 1%.

## PLOMO

En nueve lugares a lo largo de los ríos Farallones y Gachetá en las áreas d-7 del cuadrángulo de Zipaquirá y a-7 del cuadrángulo del Guavio, Suárez Hoyos (1945, p.169-172) localizó pequeñas manifestaciones de galena. En 7 mineralizaciones la roca huésped es la caliza, localmente arenosa, de Ubalá de edad valanginiana. Los únicos afloramientos accesibles están a lo largo de la quebrada El Gusano en los cateos de San Rafael y Cueva Oscura, en el área a-7 del cuadrángulo del Guavio. La carretera Ubalá-Gachalá pasa a corta distancia al este de San Rafael e inmediatamente al frente del cateo de Cueva Oscura (Plancha X).

Los sulfuros se han depositado en zonas de fractura casi normales a la estratificación. La galena es el sulfuro predominante. Calcopirita y pirita ocurren en cantidades menores. Según Suárez Hoyos (1945, p.172), una muestra promedio de Cueva Oscura tuvo 20% de Pb; cantidad superior a la que contienen otros cateos. En todos los afloramientos examinados por Suárez Hoyos, la galena

ocurre tanto en venas de varios centímetros de ancho y de varios metros de largo como diseminada en la roca calcárea. Las fracturas y la porosidad han sido controles efectivos de la mineralización. Aunque la galena es el principal mineral encontrado en estos afloramientos, calcopirita, pirita y posiblemente bornita y esfalerita, pueden presentarse en cantidades menores, asociados a venas de cuarzo y a calcita. En Cueva Oscura Suárez Hoyos (1945, p.172) dice que hay pequeñas cantidades de plata y trazas de oro.

## ZINC

Se encuentran manifestaciones superficiales de minerales de zinc en El Rincón, La Playa y Llano Grande, en la cuenca del Río Rucio, unos 6 km al sur de Gachetá. Estas tres áreas son conocidas colectivamente como el Distrito de Zinc de Junín, nombre dado por la población, situado 4 km al noreste de estos depósitos. Una cuarta área de minerales de zinc fué recientemente encontrada por geólogos de Ingeominas en la cuenca del Río Muchindote, aproximadamente 14 km al noreste de Gachetá en el área d-5 del cuadrángulo de Zipaquirá (Wedow, comunicación oral, 1969).

Los minerales de zinc de Junín fueron estudiados en detalle por Alvarado y Palau (1941) y en menor extensión por Dei Río (1943). Del Río estuvo acompañado por D. Singewald quien hizo una breve descripción del área de Junín (1949, p.196-198).

El Rincón.- El depósito meridional indicado en el área d-7 del cuadrángulo de Zipaquirá es la única zona mineralizada que ha sido explotada. Como las galerías se derrumbaron y las exposiciones están cubiertas el autor resume la descripción de Alvarado de los niveles inferior y superior. Alvarado y Palau (1941, p.18), subdividieron la mineralización del nivel inferior en cuatro zonas. La primera consiste de una vena que contiene esfalerita, pirita, calcopirita y arsenopirita en una ganga de siderita. En la mayoría de los sitios el límite entre la ganga de siderita y la de esfalerita está pobremente delineado y comunmente la esfalerita reemplaza metascómicamente la siderita. Estas observaciones fueron hechas cerca de la antigua entrada de la mina. Las vetas de zinc tienen un espesor entre 40 y 90 cm en el corte inferior, un rumbo N24° E y buzamiento entre 40° y 60° NE.

Consideran que la segunda zona es transicional entre la veta y la roca encajante y se extiende debajo de la veta, un fenómeno que consideran indicativo de mayor fracturamiento debajo del piso que encima del techo. Incluidos en la segunda zona hay bloques irregulares, cordones, apófisis de esfalerita, relativamente grandes cantidades de pirita sin una orientación especial

y calcopirita distribuída al azar, asociada con bloques irregulares de la roca encajante. La roca encajante está alterada hidrotermalmente y cortada por venas de siderita y cuarzo y pequeñas cantidades de sulfuros.

La tercera zona es en una brecha silicificada de la roca encajante cementada por sulfuros, siderita, cuarzo y calcita. Consideran (p.22) que la separación entre la segunda y la tercera zona está muy bien definida y es originada por una falla.

No se encontró esfalerita en esta zona aunque localmente se encuentra smithsonita y siderita minerales que por lo general están asociados a esfalerita. Espejos de falla son comunes en la roca encajante.

La cuarta zona es la roca encajante compuesta de arcillolita negra y lutítica de la Formación Fômeque meteorizada, de color gris y amarillo y con capas delgadas de caliza que están parcialmente limonitizadas. Ellos consideraron que los fósiles encontrados en esta zona son albianos pero las colecciones hechas por geólogos de Ingeominas indican que la Formación Fômeque en esta área es del Aptiano Temprano.

Alvarado y Palau (1941, p.22) afirmaron que la veta está mucho mejor desarrollada en el trabajo superior que en el inferior. Los contactos, por lo común, pobremente delineados en algunas zonas del trabajo son bastante claros en el corte, superior. Ellos indicaron que la veta puede dividirse en tres partes: dos secciones externas de aproximadamente 45 cm de espesor y una parte central de aproximadamente 35. Los minerales que se presentan son esfalerita, calcopirita y pirita. Las zonas dentro del área de la veta son muy lenticulares y varían en el contenido de mineral.

Aproximadamente un año después del estudio de Alvarado y Palau se excavó un túnel más o menos de 50 metros de longitud con varias cruzadas laterales a lo largo de la vena como informa Del Río (1943, mapa frente a página 256). El afloramiento de la veta descrito por Alvarado y Palau se extiende aproximadamente 24 m siguiendo el rumbo de la misma y que varía entre N45° E y N65° E con un buzamiento relativamente constante de 45° NW. La mineralización principalmente de esfalerita se continúa casi hasta la terminación de la veta, donde ésta cambia abruptamente a siderita la cual se extiende aproximadamente por 4 m. Del Río (1943, p.254) sugiere que la veta es cortada por una falla pero también menciona que puede acuñarse en vez de ser cortada.

Del Río (1943, p.255) afirma que puede haber hasta 3.600 toneladas de esfalerita en El Rincón, y da el siguiente análisis químico del mineral:

SiO <sub>2</sub>	3.46	por	ciento
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.70	"	"
Zn	59.90	"	"
Pb	0.00	"	"
Ag	1.60	g.	p. t.
Au	0.21	g.	p. t.

Llano Grande.- En esta área aproximadamente 1400 metros al suroeste de El Rincón, Alvarado y Palau (1941, p.26) notaron una zona rica en limonita que ellos creyeron ser derivada de la oxidación de la siderita. En un corte profundo sobre el camino de herradura se encontró siderita como se esperaba. Se cavó un hueco de 2.50 m y a poca profundidad, se notó el paso gradual de limonita a siderita. La veta de siderita tiene un rumbo N10° E y buza de 40° a 50° NE. No se encontró esfalerita asociada con siderita pero se observó calcopirita y dos fragmentos de galena. Sugieren que esta veta representa la misma que se encuentra en El Rincón. Los geólogos de Ingeominas no encontraron ese hueco cavado hace 30 años el cual ha sido probablemente tapado.

La Playa (Quebrada Negra).- En la confluencia de la Quebrada Negra con el Río Rucio hay una acumulación coluvial de bloques de esfalerita, siderita y minerales accesorios que se encuentran en El Rincón. La mineralogía presente en La Playa de acuerdo a Alvarado y Palau (1941, p.25) es la misma de El Rincón, conclusión que comparten los autores.

El tamaño relativamente **grande** de los bloques de La Playa sugiere que la veta está muy cercana y que los bloques no han sido transportados una distancia apreciable. Hace varios años se excavó, sin éxito, una trinchera en un intento de encontrar la veta.

Del Río (1943, p.256) da el siguiente análisis químico para el mineral:

SiO <sub>2</sub>	4.28	por	ciento
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.70	"	"
Zn	62.66	"	"
Pb	0.00	"	"
Ag	0.70	g.	p. t.
Au	0.10	g.	p. t.

Aunque se carece de pruebas la mayor parte de los geólogos familiarizados con los depósitos del área de Junín consideran que los tres lugares mineralizados están asociados con la misma veta o conjunto de vetas. Estos tres conjuntos están alineados y la veta debe tener un rumbo regional aproximado de

N45° E y una longitud cercana a 2.900 m. Si se considera el tamaño de la cuenca de Muchindote, la mineralización podría extenderse por unos 20 km a lo largo de los cuales pueden haber otras zonas mineralizadas.

Los sulfuros de áreas tales como el distrito de Junín y posiblemente Tibirita pueden estar genéticamente relacionados con los estratos saliníferos interestratificados en las arcillolitas carbonáceas, negras, localmente margosas.

Halos de alteración y venas de cuarzo que puedan contener calcopirita no están presentes ni en Junín ni en Tibirita. Siderita posiblemente relacionada con la facies de sal como se dijo anteriormente es el principal mineral de ganga en Junín. Arcillolita brechosa no se presenta a lo largo de las fallas y ocurre únicamente en los depósitos de sal donde se originan por colapso. Tanto Tibirita como el intervalo Junín Muchindote son aparentemente contemporáneas con los estratos saliníferos de la Formación Fómeque. Esfalerita autigénica se presenta en el depósito de sal de Zipaquirá.

Estos datos sugieren que el zinc de Junín y la calcopirita de Tibirita pueden haberse precipitado de salmueras derivadas por solución de sal interestratificada. Esta disolución ocasionaría brechas de colapso las cuales suministrarían la porosidad necesaria. Iones metálicos tales como Zn, Cu y Fe en las salmueras serían precipitados como sulfuros ya sea por procesos hidrotermales resultantes de geotermicidad o por acción de bacterias que reducen los iones de sulfatos en las salmueras en presencia de materia orgánica asociada con la arcillolita.

## RECOMENDACIONES

### EVAPORITAS

Por años Colombia se ha preocupado muy poco de sus depósitos de sal. Ninguna nación puede esperar mantener una industria química moderna sin el uso intensivo de la sal, uno de los “cinco grandes” entre las materias primas que además incluyen azufre, carbón, caliza y petróleo. Toda industria química moderna, incluye la manufactura de artículos de sodio o cloro. La fuente más barata de estos elementos es la sal, un mineral que la Cordillera Oriental parece tener en abundancia. En una sociedad industrial moderna tal como la de los EE.UU. solo 3% del total de la producción de sal es dedicada a usos hogareños o de mesa; el 97% restante vá a la industria química. Para un resumen detallado de los usos de la sal el lector puede consultar a Kaufmann (1960, p.662-685).

En los siguientes párrafos se presentan recomendaciones para aumentar la producción de sal en la Zona IV.

### ZIPAQUIRA

Perforaciones en el subsuelo.- La geometría del depósito de sal debe conocerse para planear en forma más efectiva la explotación subterránea futura. La extensión siguiendo el buzamiento de la arcillolita que forma el respaldo inferior del depósito a lo largo del lado nororiental de la mina debe ser determinada por tres perforaciones cuya localización se muestra en la Plancha VI como sigue:

- Pozo No. 1     Area del Sagrado Corazón (intersección de la entrada del nivel principal con la carretera que conduce a la catedral o nivel superior).
- Pozo No. 2     100 m al norte de la perforación No.1 en la misma carretera que conduce al nivel superior o la catedral.
- Pozo No. 3     180 m al oeste de la perforación No.2 en la terminación occidental de la Galería este-oeste.

Se recomiendan perforaciones adicionales para el área estructuralmente más compleja situada al sur del Sagrado Corazón. Estas perforaciones deben establecer, si es posible, la profundidad al contacto basal arcillolita-sal, en esta parte de la mina. La localización de las tres perforaciones adicionales se muestra en la Plancha VI y es la siguiente:

Pozo No. 4 325 m al oeste y 85 m al sur del Sagrado Corazón.

Pozo No. 5 245 m al oeste y 245 m al sur del Sagrado Corazón.

Pozo No. 6 395 m al sur y 15 m al oeste del Sagrado Corazón.

Investigación sísmica dentro de la mina.- Una investigación sísmica a reflexión debe dar valiosa información sobre la configuración del depósito de sal especialmente si tal información se correlaciona con los datos de perforación. La localización que se sugiere para el disparo sería a 95 m y 305° del B.M. ubicado en el Sagrado Corazón.

Pozos estratigráficos. ("Slim holes").- Los siguientes pozos deben perforarse en el orden en el cual están enumerados, a menos que las indicaciones geológicas de los primeros sugieran que tal orden deba ser modificado. La localización de estas perforaciones se indica en la figura 17 y es la siguiente:

Pozo No. 1 Razón: Confirmar la posible extensión de la sal siguiendo el rumbo.

Localización: Barrio Santiago Pérez a 110 m y 112° de la bifurcación de la carretera en el límite sur del barrio.

Pozo No. 2 Razón: Confirmar la posible extensión de la sal siguiendo el rumbo.

Localización: En la vecindad de Casablanca; 450 m al sur del No.1.

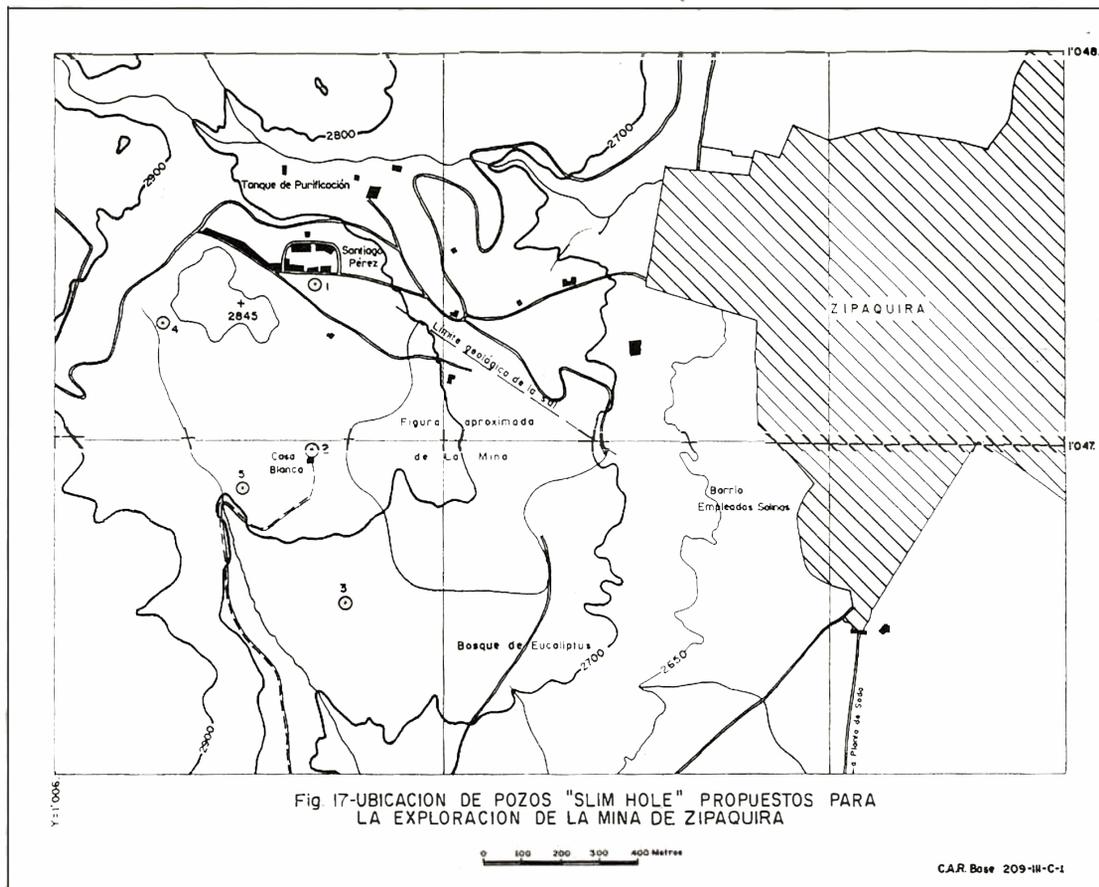
Pozo No. 3 Razón: Confirmar la extensión de la sal en dirección del buzamiento.

Localización: 400 m al sur del No. 2.

Pozo No. 4 Razón: Confirmar la posible extensión de la sal en la dirección del buzamiento.

Localización: Cerca de la carretera a Pacho; a 400 m y 255° del No.1.

Pozo No. 5 Razón: Confirmar la posible extensión de la sal en



dirección del buzamiento.

Localización: A 200 m y 247° del No. 2.

Pozo No. 6 Razón: Confirmar la posible extensión de la sal, si ésta se encuentra en cantidades significativas en el No. 3.  
Localización: A 260 m y 164° del No. 3.

#### NEMOCON

Perforaciones dentro de la mina.- Poco es lo que se conoce acerca de la configuración estructural del depósito de Nemocón.

La interpretación de los contornos estructurales trazados usando como base el mapa geológico de la mina sugiere un pliegue anticlinal con cabeceo al sur.

Lo mismo que en Zipaquirá es necesario tener más información acerca de la geometría de este depósito para planear los trabajos futuros de exploración. La localización de las perforaciones con extracción de corazones se muestra en la Plancha V y es la siguiente:

- Perforación No. 1 Empalme de la vía de transporte en la esquina nororiental del nivel principal (superior).
- Perforación No. 2 A 163 m 154° de la No.1; en la terminación suroriental de la galería en la cual se localiza la No. 1.
- Perforación No. 3 En el ángulo recto de la T formada por la unión de los túneles principales en el área Caldas del nivel inferior de la mina.
- Perforación No. 4 En el extremo sur del túnel más meridional, situado en la parte suroriental del nivel inferior.
- Perforación No. 5 En el tope de las escaleras que unen los dos niveles de la mina.

Investigación sísmica dentro de la mina.- Se puede pensar en una investigación sísmica a reflexión si la mina de Zipaquirá da resultado. El punto de disparo recomendado estaría en el nivel superior, al pie de las escaleras que conducen a la entrada principal de la mina. Su localización se indica en la Plancha V.

Pozos estratigráficos (“Slim holes”).- La extensión lateral del depósito de sal de Nemocón puede determinarse con una serie de pozos cuya localización se muestra en la figura 18. Igual que en Zipaquirá, estas perforaciones deben hacerse en el orden en que están enumeradas a menos que la información geológica de las primeras sugiera que es prudente alterar este orden y quizás algunas de las localizaciones.

- Pozo No. 1    Razón:        Confirmar la presencia de la sal en el flanco occidental del probable pliegue del depósito de sal.  
                  Localización: A 230 m y 66° del empalme de la carretera Nemocón-Suesca con la carretera a Astorga.
- Pozo No. 2    Razón:        Confirmar la presencia de sal en el flanco occidental del probable pliegue si se encuentra sal en el No.1.  
                  Localización: 215 m al este de la actual bocamina.
- Pozo No. 3    Razón:        Confirmar la continuidad de la sal en el flanco occidental si se encuentra sal en el No. 1.  
                  Localización: A 150 m y 222° del empalme de la carretera a Astorga, y la de Nemocón-Suesca.
- Pozo No. 4    Razón:        Confirmar la extensión del depósito de sal hacia el noreste.  
                  Localización: A 500 m y 76° de la bocamina principal.
- Pozo No. 5    Razón:        Confirmar la posible extensión del depósito de sal hacia el este.  
                  Localización: A 650 m y 112° de la bocamina principal.
- Pozo No. 6    Razón:        Confirmar la posible presencia de sal en el área del cabeceo del plegamiento.  
                  Localización: A 500 m y 108° del empalme de la carretera a Astorga con la de Nemocón-Suesca.

#### SESQUILE

Pozos estratigráficos.- Se recomiendan tres pozos estratigráficos en esta área antiguamente productiva. Están localizados con referencia a la intersección de carreteras indicadas en la figura 19. El mapa base usado es el del CAR Cuadrángulo 2 No. 209-III-D a escala 1:10.000.

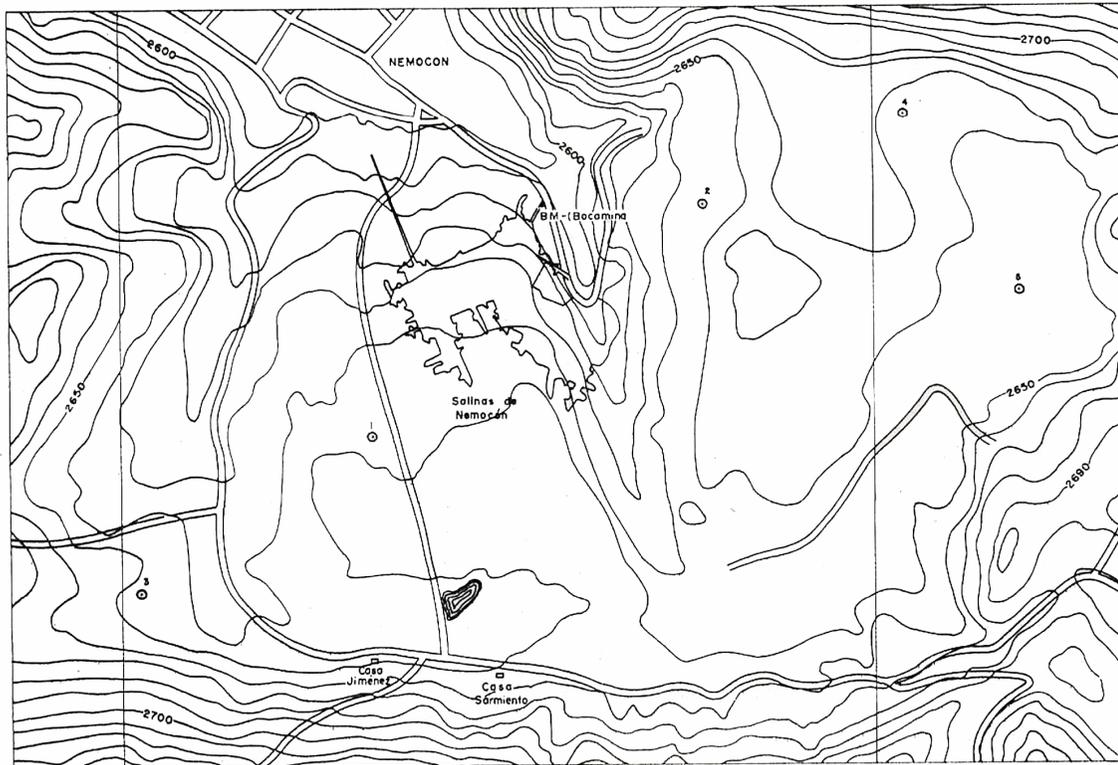


Fig.18-UBICACION DE POZOS "SLIM HOLE" PROPUESTOS PARA  
LA MINA DE SAL DE NEMOCON, CUNDINAMARCA

100 0 100 200 Metros  
Intervalo de curvas de nivel: 10 metros

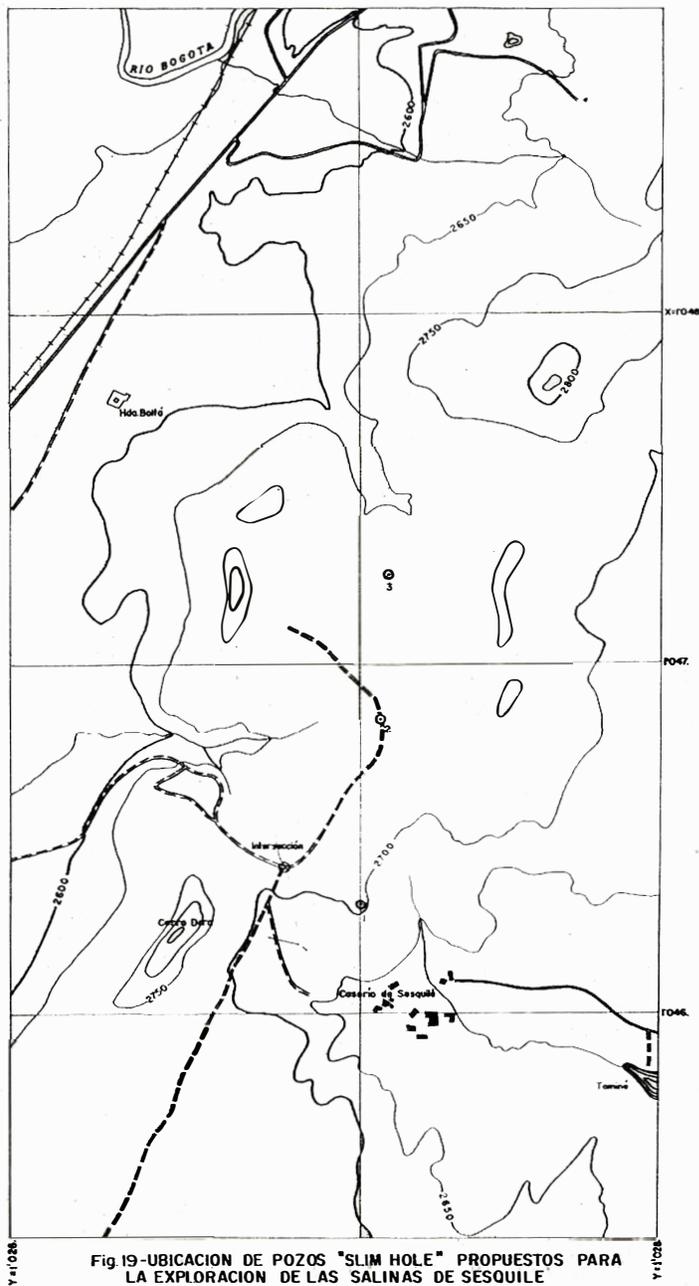


Fig 19-UBICACION DE POZOS "SLIM HOLE" PROPUESTOS PARA LA EXPLORACION DE LAS SALINAS DE SESQUIE

0 100 200 300 400 Metros

Geac map: C.A.R. 209-D-2

- Pozo No. 1    Razón:        Comprobar la extensión hacia el norte, siguiendo el rumbo, de la sal explotada en los antiguos trabajos de minería.  
                  Localización: A 205 m y 114° de la intersección de carreteras.
- Pozo No. 2    Razón:        Comprobar la extensión más al norte siguiendo el rumbo si se encuentra sal en el No.1.  
                  Localización: A 520 m y 33° de la intersección de las carreteras.
- Pozo No. 3    Razón:        Comprobar la extensión aún más al norte, siguiendo el rumbo de la sal si ésta se encuentra presente en el No.2.  
                  Localización: A 900 m y 20° de la intersección de carreteras.

#### UPIN

Aparte de los datos geoquímicos la única información que existe de la mina de Upín es la que se presenta en las Planchas III y VIII. Es obvio que se necesitan más estudios para evaluar este depósito. Las recomendaciones que se hacen son las siguientes:

#### Dentro de la mina

- 1) Si es posible debe excavarse una galería exploratoria con dirección NW siguiendo el rumbo de la sal, desde la parte central de la mina para establecer el límite noroccidental del depósito. Si el operador considera no práctico lo anterior, las operaciones regulares de explotación deben planearse siguiendo el rumbo de la sal hacia el noroeste a partir de las partes central y occidental de la mina y hacia el norte desde la parte septentrional.
- 2) Datos importantes acerca de la geometría del depósito pueden obtenerse por medio de perforaciones localizadas convenientemente dentro de la mina.
- 3) Un programa a reflexión sísmica de control similar a los propuestos para Zipaquirá y Nemocón podría dar considerable información acerca de la geometría del depósito. Una localización tentativa del pozo de disparo está indicada en la Plancha No. VIII.

### Superficial

- 1) Deben probarse técnicas de prospección geoelectrica sobre depósitos conocidos de sal en la Sabana de Bogotá. Si el contenido en piritita tanto del rute como de la arcillolita interestratificada en la sal es suficientemente alto para dar anomalías, este método debe ser probado en Upín. También deben trazarse poligonales controladas topográficamente a lo largo de caminos en la región densamente arborizada inmediata al noroeste de la mina. Si los resultados son favorables con otras poligonales adicionales podría delinearse el depósito. Debe tenerse cuidado en evitar cualquier acumulación significativa de gravas de terrazas que pueden amortiguar las características geoelectricas del rute y los estratos piritíferos subyacentes.
- 2) Aunque un programa extenso de perforación se dificulte debido a la vegetación, topografía y posibles terrazas de grava, debería perforarse un pozo estratigráfico, donde las condiciones lo permitan, a lo largo del camino que de la mina conduce a los afloramientos de rute sobre el Río Upín Plancha III.

## FUENTES SALADAS

### TAUSA

Pozos estratigráficos.- Se recomiendan tres pozos estratigráficos para evaluación del potencial de sal de esta antigua área productiva:

Los pozos están localizados con referencia a la hacienda de El Salitre situada en el mapa del CAR No. 209-I-D-1, escala 1:10.000. Ver figura 20.

- |            |               |  |
|------------|---------------|--|
| Pozo No. 1 | Razón:        | Comprobar la posible extensión de la sal al sur de las salinas de Tausa.                                       |
|            | Localización: | A 765 m y 168° de la casa de la hacienda El Salitre.   |
| Pozo No. 2 | Razón:        | Comprobar la posible continuación en la dirección del rumbo al sur del No.1, si se encuentra sal en este pozo. |
|            | Localización: | A 340 m y 117° de la casa de la hacienda El Salitre.   |

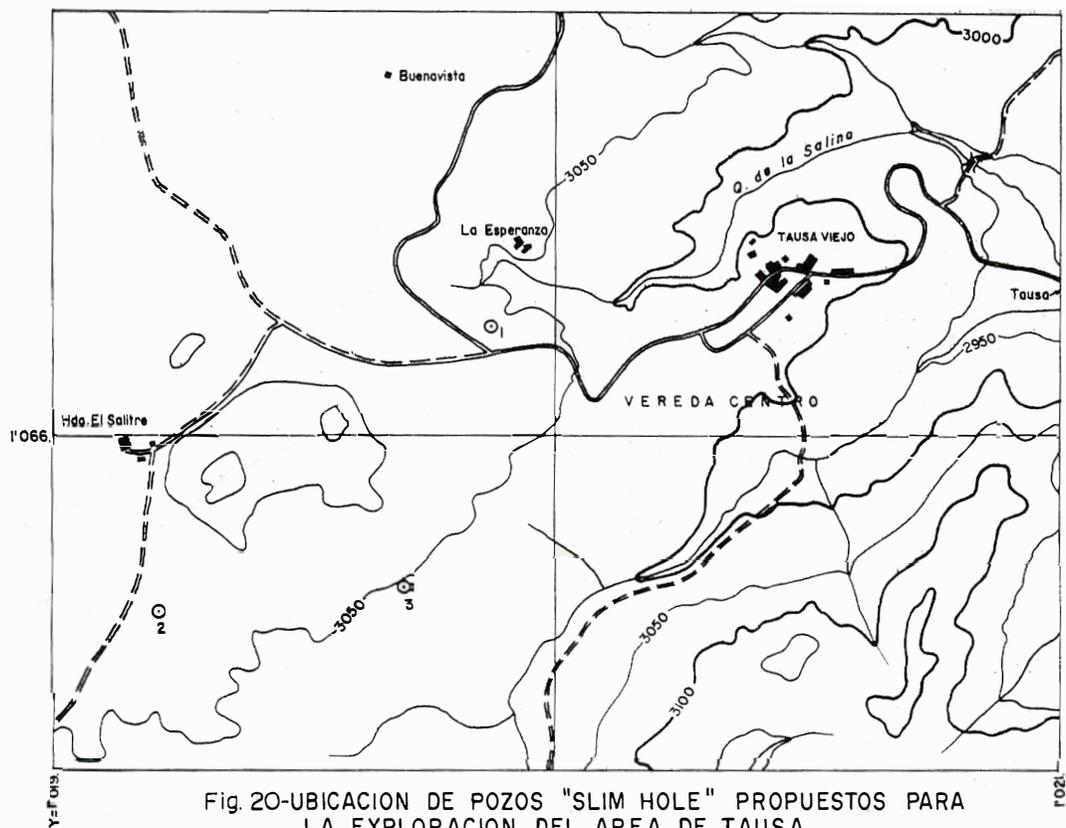


Fig. 20-UBICACION DE POZOS "SLIM HOLE" PROPUESTOS PARA LA EXPLORACION DEL AREA DE TAUSA

0 10 20 30 40 50 Km

Base map: Overlay C.A.R. 209-I-D-1

Pozo No. 3 Razón: Comprobar la continuación de la sal en dirección sur si ésta es hallada en el No. 2.  
Localización: A 340 m y 102° de la casa de la hacienda El Salitre.

#### GACHETA Y MAMBITA

Aunque no son posibles estudios detallados de Las Salinas de Gachetá por carecer de buenos afloramientos, pozos perforados al norte y en particular al sur de las salinas probablemente aumentarían la producción de salmuera. El rute aflora sobre el Río Salinero a poca distancia al sur de las salinas lo que sugiere que la sal está próxima a la superficie en esta área. La producción actual de las salinas proviene de una profundidad aproximada de 18 metros.

A causa de su aislamiento no se recomienda un desarrollo adicional de las salinas de Mámbita. Cuando estas salinas fueron visitadas en mayo de 1967, la salmuera fluía libremente hacia una corriente adyacente. La explotación de las salinas de Mámbita para consumo local sería ventajosa en esta área, carente de carreteras.

#### CATEOS DE SAL

##### PANTANO REDONDO

El cateo de sal de Pantano Redondo está a unos pocos kilómetros al noroeste de la mina de sal de Zipaquirá. Este cateo se muestra en las áreas a-3 y a-4 de la Plancha I. El lago que forma el Pantano Redondo en la parte central de este altiplano aparece erróneamente como Laguna Verde en la Plancha I.

El cateo de Pantano Redondo ocurre en una cuña crestal, levantada por falla, de la arcillolita gris oscura a negra del Chipaque en el anticlinal Zipaquirá Sur. Aquí el Chipaque está en contacto fallado con la Formación Guadalupe Superior de edad Campaniano-Maestrichtiano Temprano. La cartografía geológica muestra que esta cuña es similar a las que se interpretan como saliníferas en Tausa y Sesquilé.

Aunque no se ha encontrado rute en Pantano Redondo, areniscas y limolitas impregnadas con hematita se presentan en La Calera asociados con

fallas dentro de la cuña. Como se mencionó anteriormente los estratos hematíticos se consideran como pertenecientes a la facies salina.

Tanto en Pantano Redondo como en las arcillolitas del rute de las salinas de Tausa y en las arcillolitas adyacentes al depósito de Nemocón, se presenta la misma fauna.

La localización de dos sitios para perforaciones de prueba se indica en la figura 21. El primer pozo está aproximadamente a 100 m al sureste del punto suroriental extremo del lago; el segundo, está cerca de 300 m al norte de la orilla septentrional de la laguna. Si se encuentra sal en estas perforaciones, será necesario delinear el depósito. Si hay reservas significativas debe considerarse la explotación por el método de solución, que sería el más simple y más barato. Una tubería para conducir la salmuera puede tenderse fácilmente entre Pantano Redondo y los tanques de salmueras de Zipaquirá. No sería necesario emplear bombas ya que Pantano Redondo está aproximadamente 500 m más alto que las instalaciones de Zipaquirá.

#### PERICOS

La cartografía geológica en la Serranía de Pericos sugiere la presencia de una cuña crestal de arcillolita del Chipaque en el anticlinal de Pericos desde El Salitre hasta aproximadamente 5.5 km hacia el suroeste. Esta cuña se muestra en la Plancha I, área b-6. La mitad suroriental de esta cuña se muestra en la Plancha IX. Los cortes transversales AA', B-B' y C-C' ilustran la estructura de esta área. La cuña de Pericos pone en contacto fallado las arcillolitas de Chipaque con las Formaciones Guadalupe Inferior y Superior. La Formación Chipaque en Pericos se compone de arcillolitas gris-oscuras a negras y también contiene las capas impregnadas con hematita mencionadas anteriormente. Hubach (1957, plancha I) cita rute en el área de la cuña aunque este material no fué encontrado durante el presente estudio. La edad de la cuña del Chipaque, sugerida por faunas pobres, es del Turoniano Tardío a Coniaciano Temprano. Los estratos más viejos en esta cuña son las calizas coniacianas explotadas en la cantera (Plancha I, área b-6).

Aunque no se han indicado emplazamientos de perforaciones, el autor sugiere que el primer pozo de prueba debe perforarse a mitad de camino entre la cantera de caliza y El Salitre. Esta localización estaría en el área del rute indicado por Hubach. El autor considera el cateo de Pericos menos prometedor que el de Pantano Redondo.

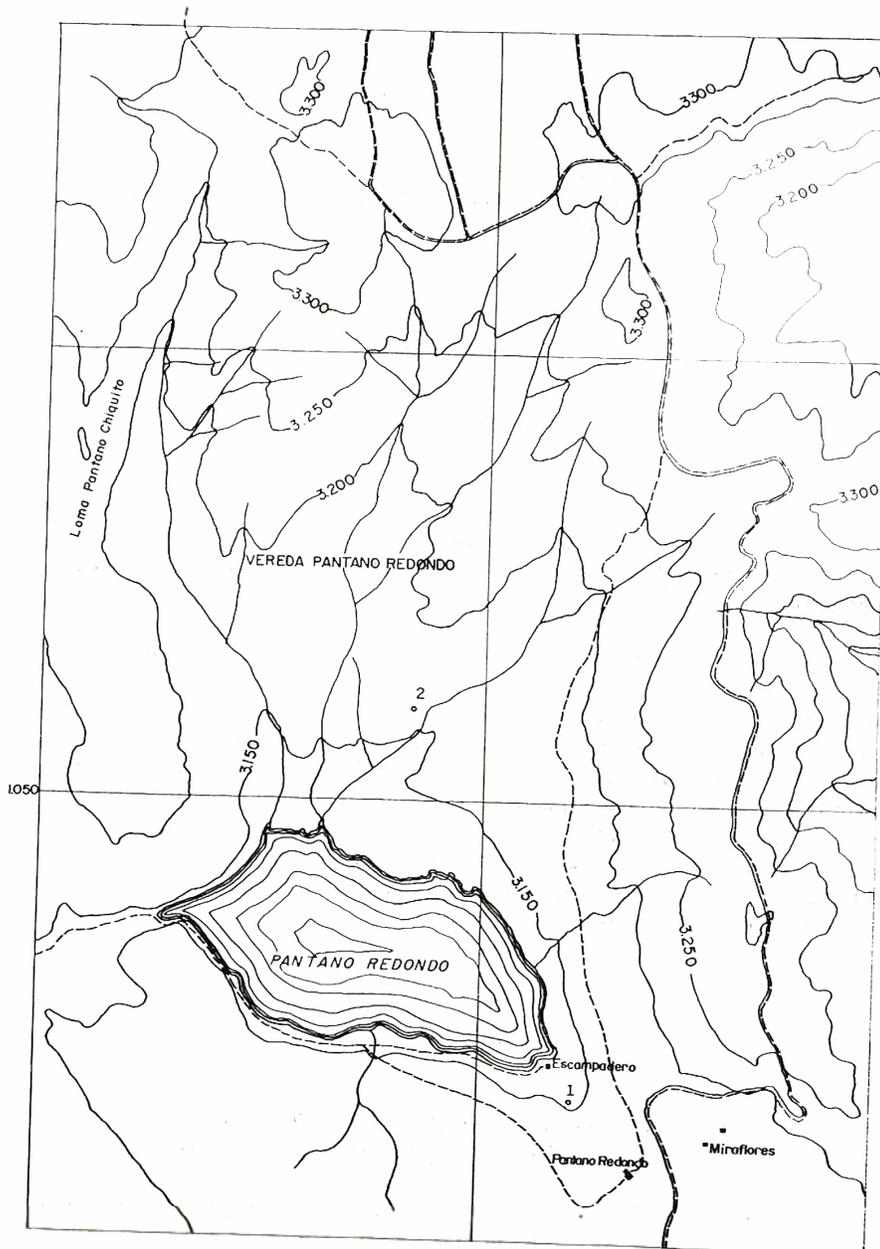


Fig. 21-UBICACION DE POZOS "SLIM HOLE" PROPUESTOS PARA LA EXPLORACION DEL AREA DE PANTANO REDONDO

0 100 200 300 400 Metros

CARBase 209-III-C-2-209-III-A-3

#### YESO

La falta de conocimiento detallado de los yacimientos de yeso, estructuralmente caóticos, que están siendo explotados impide recomendaciones definitivas para un desarrollo adicional.

#### OTROS MINERALES NO METALICOS

##### ROCA FOSFORICA

No se conocen depósitos significativos de roca fosfórica en la Zona IV. Los más prometedores están al norte del Río Ubaté, en la Plancha I, área b-1 que es la única parte de la zona donde la roca fosfórica puede justificar estudios geológicos más detallados.

Como se dijo anteriormente, La Zona IV presenta numerosos depósitos pequeños de roca fosfórica, pero muy pocos de ellos tienen un contenido de  $P_2O_5$  mayor del 15%. Todos ellos se muestran en la Plancha I. Aunque ninguno es comercial a causa de su tamaño y bajo contenido de  $P_2O_5$  pueden ser utilizados para uso local, sin procesos de beneficio, por los granjeros que viven y trabajan en las vecindades. Si se demuestra que la aplicación directa es efectiva podría persuadirse a los granjeros para aplicar el material en sus parcelas. Tal utilización podría requerir supervisión e instrucción hasta que los agricultores se convenciesen de que la aplicación de la roca fosfórica a los suelos realmente aumenta la producción agrícola.

##### CALIZA

No se hacen recomendaciones para el desarrollo adicional de las dos canteras de caliza de Palacio y Pericos cerca a Bogotá, porque están concedidas.

La caliza de Ubalá en las áreas a-7 y posiblemente a-6 del cuadrángulo del Guavio (k-12), están en estudio. A medida que este trabajo progrese deberán hacerse análisis químicos y considerar su desarrollo para construcción y agricultura.

## CAOLINITA

A medida que progrese la industrialización, los usos del caolín aumentarán. Para prospectar estos depósitos se necesita un examen sistemático de las regiones de relieve moderado en las áreas de las Formaciones de Guadalupe Superior e Inferior.

La explotación de las canteras cerca de Zipaquirá y Nemocón debe continuarse preferiblemente siguiendo el rumbo hasta que los cambios de facies muestren que el contenido de cuarzo detrítico es demasiado alto.

## MINERALES METALICOS

## HIERRO

Pericos y otras ocurrencias en el área de la Sabana de Bogotá.- El depósito de Pericos y otros similares más pequeños en la Sabana de Bogotá, aunque prometedores en el afloramiento, disminuyen de tenor en dirección del buzamiento como lo indican las perforaciones de Pericos.

Como las reservas son pequeñas y el contenido de sílice es ligeramente mayor del 12% no parece justificarse un desarrollo adicional de estos depósitos en la actualidad.

Tibirita.- Este depósito, localizado en el cuadrángulo del Guavio, debe ser cartografiado en detalle, muestreado y si se justifica puede hacerse un programa de perforaciones.

Ubalá (Nueva Vizcaya).- El área de este depósito y las regiones adyacentes deben ser cartografiadas en detalle (1). Debe también iniciarse un programa de perforaciones corazonando para lograr, como suplemento a la cartografía, un conocimiento de la geometría de la capa de hierro. Las perforaciones serían especialmente útiles en las áreas en donde haya pocos afloramientos y en donde la estructura del depósito sea compleja.

---

(1) El informe No. 1571 fué preparado en 1969, con anterioridad a los trabajos de Ingeominas en esta área.

Cerro de Montecristo.- Todo lo que se conoce acerca de esta área aislada, de topografía abrupta y de densa vegetación son las localizaciones de algunos afloramientos de hematita especular y la geología del área adyacente a ellos.

El afloramiento del Río Tormenta, (Plancha X y figura 16) parece prometedor pero nada se conoce sobre su extensión.

Para hacer los estudios sería necesario cortar trochas a través de la densa vegetación siguiendo el rumbo del afloramiento tan lejos como sea práctico. También pueden emplearse métodos geofísicos para definir la extensión de la hematita especular. Para justificar perforaciones en esta área aislada y escarpada, la anomalía geofísica debe ser grande. El afloramiento del Río Tormenta es accesible únicamente a pie, subiendo a lo largo de una pendiente escarpada de vegetación muy densa, arriba de Las Mesitas. Desde Las Mesitas se pueden utilizar bestias para alcanzar los límites del área selvática. Las Mesitas está 3 a 4 horas a caballo del camino a Gachalá.

El afloramiento de hematita especular en Tominejas (Plancha X) es más cercano a la carretera de Gachalá que el del Río Tormenta. Sin embargo, para llegar a Tominejas, se requieren dos horas a lomo de mula y al afloramiento se llega descendiendo por el flanco sur del valle del Río Naranjitos. Aunque se han extraído y transportado varias toneladas del mineral del afloramiento de Tominejas, este depósito no parece ser tan extenso como el del Río Tormenta.

A pesar de estos problemas logísticos obvios, el área del Cerro de Montecristo debe ser estudiada cuidadosamente. Cantidades pequeñas de hematita especular se han encontrado en algunas áreas y la región puede tener potencial significativo.

#### COBRE

Cerro del Cobre.- Este depósito todavía tiene que ser estudiado. La región debe ser cartografiada en detalle y muchas de las viejas galerías de acceso, destapadas para permitir la entrada y el estudio de la mineralización.

Farallones de Medina.- La exploración en esta área, dentro de los cuadrángulos del Guavio y de Medina, puede ser muy costosa a causa de la densa vegetación, las lluvias y la topografía abrupta.

Los únicos minerales de cobre observados, están a lo largo del camino de herradura entre Gachalá y Medina. Esta área puede tener un potencial

significativo pero en general, es muy aislada, de topografía abrupta y vegetación selvática.

La exploración inicial debe limitarse a los dos caminos que cruzan los Farallones hasta llegar a Medina. Las áreas que muestren cobre tendrán que ser limpiadas siguiendo el rumbo de manera similar a la recomendada para el afloramiento de hierro del Río Tormenta en el Cerro de Montecristo.

#### PLOMO

La caliza de Ubalá, roca encajante de la galena, debe examinarse en detalle entre Ubalá y Gachalá donde Suárez Hoyos (1945, p.169-172) encontró nueve pequeñas áreas mineralizadas. Como la estratigrafía de la parte inferior del Grupo Cáqueza, incluyendo la caliza de Ubalá, todavía no se comprende claramente, deben medirse numerosas secciones estratigráficas en el área de Ubalá-Gachalá. También tendrá que hacerse una cartografía detallada.

#### ZINC

Si es posible, la galería de acceso de El Rincón debe ser destapada para estudiar la mineralización descrita por Alvarado y Palau (1941). El distrito de Junín, incluyendo los depósitos de Llano Grande, El Rincón y La Playa, debe ser cartografiado en detalle. Aunque son comunes los derrumbes en la Formación Fómeque, especialmente en áreas estructuralmente complejas, el reconocimiento de todas las capas deslizadas, con excepción de las más obvias, es difícil en el campo. Los rumbos y buzamientos de áreas que no han sufrido deslizamientos pueden ser interpretados como tales, si la geología estructural del área no es comprendida adecuadamente. Las atitudes verdaderas pueden distinguirse de las de las capas deslizadas mediante la cartografía estructural regional.

Tan pronto como esté cartografiada el área entre El Rincón y La Playa deben usarse métodos geofísicos antes de seleccionar las áreas para las perforaciones.

El intervalo estratigráfico desde finales del Barremiano hasta principios del Aptiano en la parte inferior de la Formación Fómeque, debe ser estudiado hacia el suroeste del distrito de Junín, entre La Playa y Muchindote

y hacia el noreste de Muchindote en el Cuadrángulo del Guavio. Debe ponerse especial cuidado a las áreas y los intervalos estratigráficos que tengan evidencias de sal, tales como fuentes saladas o rute y recoger muestras de sedimentos activos para estudios geoquímicos en áreas que podrían estar mineralizadas.

- \* -.

## BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, Benjamín y Palau, Clímaco, 1941, El yacimiento de zinc de "Playas", Municipio de Junín (Cund.): Colombia, Bol. Minas y Petróleos. nos. 121 a 144, años 1939-1940, p. 7-36.
- \_\_\_\_\_ y Sarmiento Soto, Roberto, 1943, Informe geológico sobre los yacimientos de hierro y carbón de Guasca: Colombia, Serv. Geol. Nal, p. 1-61.
- Balk, Robert, 1949, Structure of Grand Island salt dome, Van Zandt Co., Texas : Am. Assoc. Petroleum Geologists, Bull., v.33, no.11, p.1791-1829.
- Benavides, Víctor, 1968, Saline deposits of South America: en Saline deposits, Geol. Soc. America Spec. Paper 88, p. 249-290.
- Borchert, Hermann, and Muir, Robert O., 1964, Salt deposits: London, D. Van Nostrans Co., 338 p.
- Bürgl, Hans, 1962, Historia geológica de Colombia: Rev. Acad. Col. Cienc. Exact. Fisc. Nat. v.11, no.43, p.137-194.
- Campbell, Colin J., and Bürgl, Hans, 1965, Section through the Eastern Cordillera of Colombia: Geol. Soc. America Bull., v.76, no.5, p.567-590.
- Champetier de Ribes, G., Weecksteen, G., y Quintero, R., 1961, Mapa geológico de la Pl. K-10, Serv. Geol. Nal. de Colombia.
- De La Espriella, Ricardo, 1959, Investigación sobre caliza al oriente de la Sabana de Bogotá: Boletín Geológico, Vol.7, no.1-3, p.27-60.
- Dellwig, L.F., 1955, Origin of the Salina salt of Michigan: Jour. Sed. Petrology, v.25, p.83-110.
- Del Río Alejandro, 1943, Yacimiento de zinc del Municipio de Junín, Cundinamarca: Bogotá, Compilación de Estudios Geológicos Oficiales, tomo VI, p.253-256.

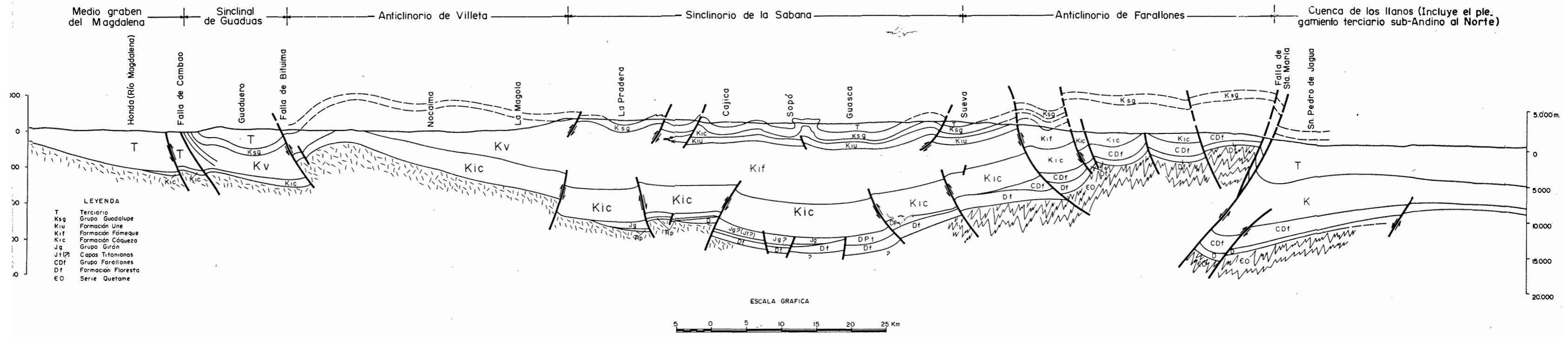
- De Sitter, L.U., 1956, Structural geology: New York, McGraw-Hill Book, Co., 552 p.
- Gerth, H., 1935, Geologie Sudamerikas; Zweiter Teil (Geologie der Erde); Berlin, Gebrüder Borntraeger, 389 p.
- \_\_\_\_\_, 1955, Der geologische Sudamerikanischer Kordillere: Berlin, Gebrüder Borntraeger, 264 p.
- Geocolombia, 1968, Exploraciones geológico mineras de un yacimiento de mineral de hierro en Ubalá, Cundinamarca, 3 tomos, Inédito.
- Gilles, V.A., 1966, Geology of the Chivor emerald mine, en Buis, Otto, 1966 Guidebook to the Geology of the Chivor emerald mine: Bogotá, Colombian Soc. Petroleum Geologists and Geophysicists, p. 5 a 16.
- Government of Japan, 1966, Report on the second investigation of ore deposits in Colombia: Informe Archivos Ingeominas.
- Hills, E. Sherbon, 1963, Elements of structural geology: New York, John Wiley and Sons, 483 p.
- Holser, William T., 1966, Bromide geochemistry of salt rocks: Symposium on Salt 2d v.1 Geology, Geochemistry, Mining, Cleveland, Ohio en Northern Ohio Geol. Soc., p. 248-275.
- Hubach, Enrique, 1957, Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores: Colombia, Bol. Geol., v. V, no.2., p.93-112.
- James, Harold, L., 1954, Sedimentary facies of iron-formation: Econ. Geology, v.49, no.3, p. 236-263.
- Johnson, Paul W., 1966, The Chivor emerald mine, en Buis, Otto, 1966, Guidebook to the geology emerald mine: Colombian Soc. Petroleum Geologists, p.20-31; Gemmological Assoc., Great Britain, Gemmological, v.8, No.4, octubre 1961.
- Julivert, Manuel, 1963, Los rasgos tectónicos de la región de la Sabana de Bogotá, y los mecanismos de formación de las estructuras. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Bol. Geol., no.11 p.5-21.
- Kaufmann, Dale W., 1960, Sodium chloride: New York, Monograph Series no. 145 - Am. Chem. Soc., Reinbold Publishing Corp., 743 p.

- Kehrer, Guillermo, 1933, El Carboniano del Borde Llanero de la Cordillera Oriental: Colombia Bol. Minas y Petróleos, nos. 49-54, p.105-121.
- King, R.H., 1947, Sedimentation in the Permian Castile sea: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v.31, no.3, p.470-477.
- Manjarrés, Gilberto, 1966, Yacimiento de Hierro de Tibirita, Departamento de Cundinamarca: Serv. Geol. Nal. de Colombia, Inf. 1500, 11 p.
- Mentzel, Charles, 1966, Appendix I, Geology of Chivor no.1 mine, en Buis, Otto, 1966, Guidebook to the geology of the Chivor emerald mine: Colombian Soc. Petroleum Geologists and Geophysicists, p. 17-19.
- Morales, Luis G., and others, 1958, General geology and oil occurrences of middle Magdalena Valley, Colombia, in habitat of oil a Symposium: Weeks, L.G., eds; Tulsa Okla, Am. Assoc. Petr. Geol. p. 641-695.
- Muehlberger, William T., 1968, Internal structure and mode of uplift of Texas and Louisiana salt domes: en Saline deposits, (a Symposium Matox, R.B., ed.) Geol. Soc. America Spec. Paper 88, p.359-364.
- Notestein, Frank B., Hubman, Carl W., and Bowler, James W., 1944, Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America: Geol. Soc. Am. Bull., v.55 no.10, p.1165-1216.
- Olsson, A.A., 1956, Colombia, in Janks, W.F., ed, Handbook of South American geology: Geol. Soc. American Mem.65, p.293-326.
- Oppenheim, Víctor, 1948, The Muzo emerald zone, Colombia: Econ, Geology, v. XLIII, no.1, January-February 1948, p.31-38.
- Peterson, J.A., and Hite, R.J., 1969, Pennsylvania evaporite-carbonate cycles and their relation to petroleum occurrence, southern Rocky Mountains: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull, v.53, no.4, p.884--908.
- Raasveldt, H.C., y Carvajal, J.M., 1957, Mapa Geológico de la Plancha K-9 "Armero": Serv. Geol. Nal. de Colombia.
- Renzoni, Giancarlo, 1965, Geología del Cuadrángulo L-11 "Villavicencio": Serv. Geol. Nal. de Colombia.
- Scheibe, Robert, 1925, Das Salzvorkammen von Nemocon: Neus Jahnbuch Mineralogie Geologie und Paleontologie, Beilageband 53, p.315-320.

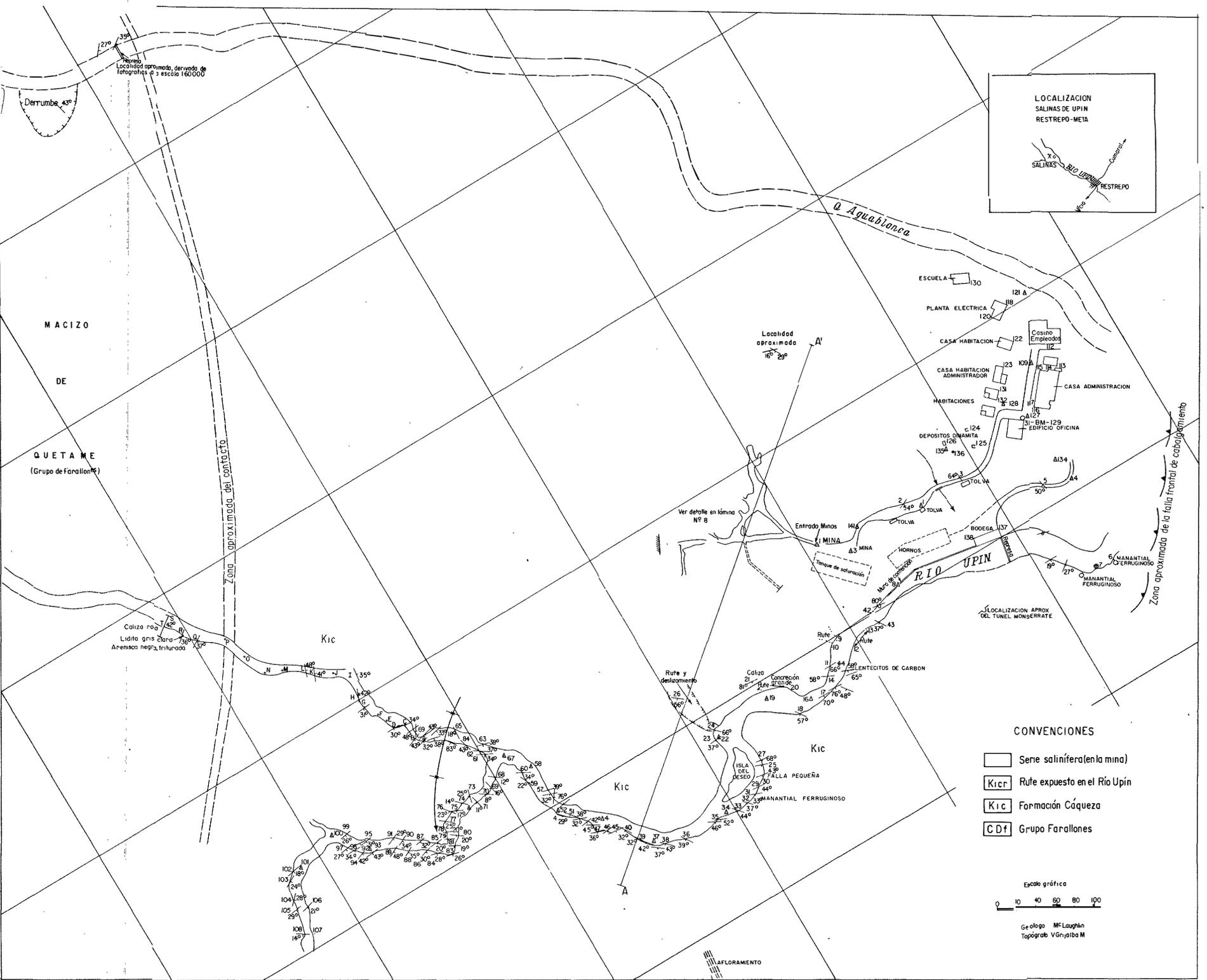
- Scheibe, Robert, 1933, Informe sobre el yacimiento de sal de Nemocón: Bogotá, Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia, Tomo 1, p.51 a 59.
- Singewald, Q.D., 1949, Mineral resources of Colombia (other than petroleum): U.S. Geol. Survey Bull. 964-B, p.53-204.
- Stutzer, Otto, 1934, Contribución a la geología de la Cordillera Oriental. Regiones cerca a Bogotá: Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia, 1917-1933, tomo II, p.141-182.
- Suárez Hoyos, Vicente, 1945, Reconocimiento geológico de la region del Guavio, Gachalá (Cundinamarca) Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia; tomo VI, p.147-188.
- Thompson, Arthur V., 1966, Guide-book of a geological section from Bogotá to the Central Cordillera Colombia Soc. Petroleum Geologists and Geophysicists, 20 p.
- Ujueta, Guillermo L., 1969, Salt in the Eastern Cordillera of Colombia: Geol. Soc. America, v.80 No.11, p.2317-2320.
- Wokittel, Roberto, 1960, Recursos Minerales de Colombia: Compilación de Estudios Geológicos Oficiales de Colombia, Serv. Geol. Nal., T.10, 393 p.
- Woolnough, W.G., 1937, Sedimentation in barred basins and source rocks of oil: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v.21,no.9, p.1101-1157.

\*\*\*

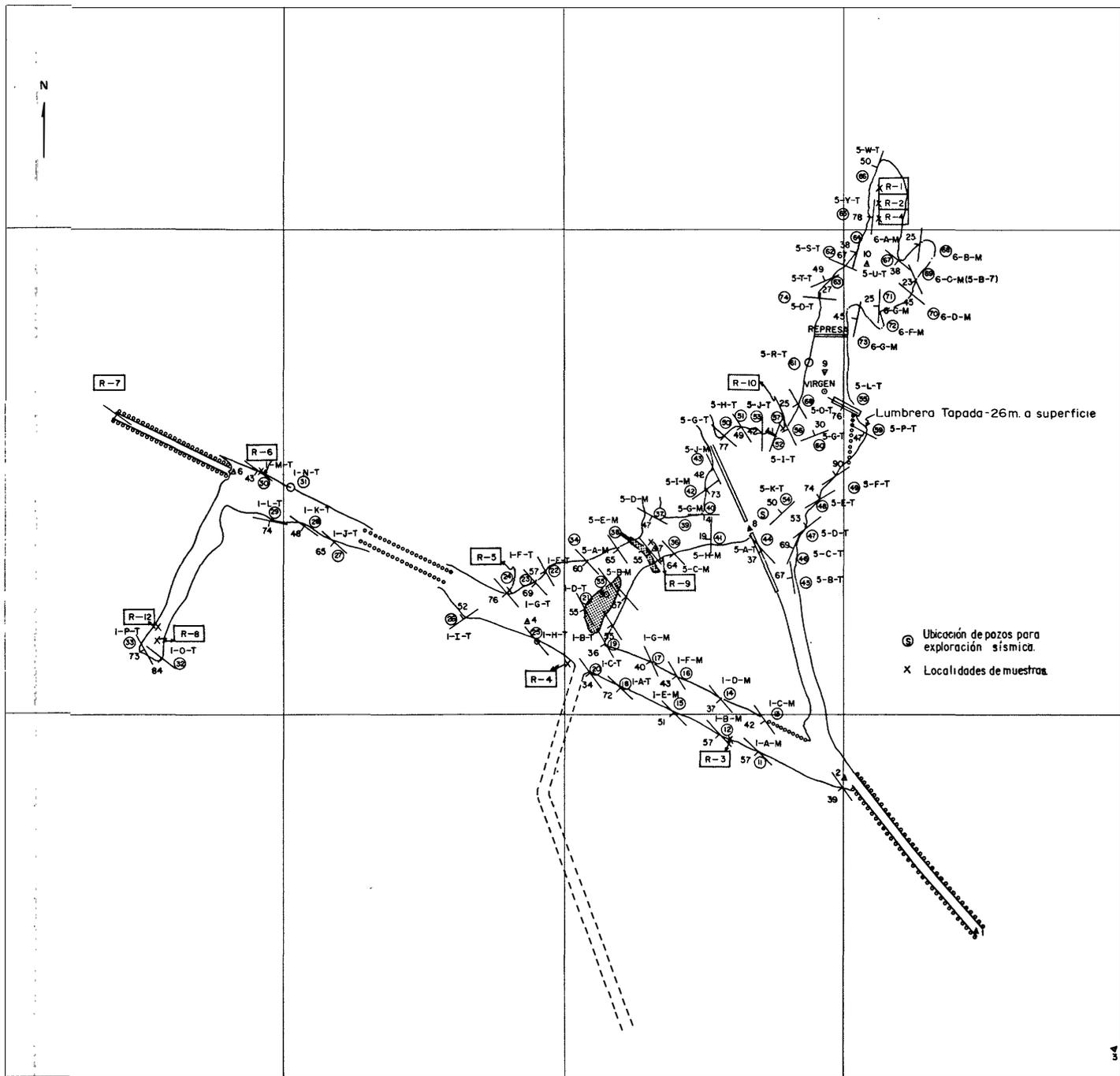
\*



Plancha II CORTE TRANSVERSAL A TRAVES DE LA CORDILLERA ORIENTAL



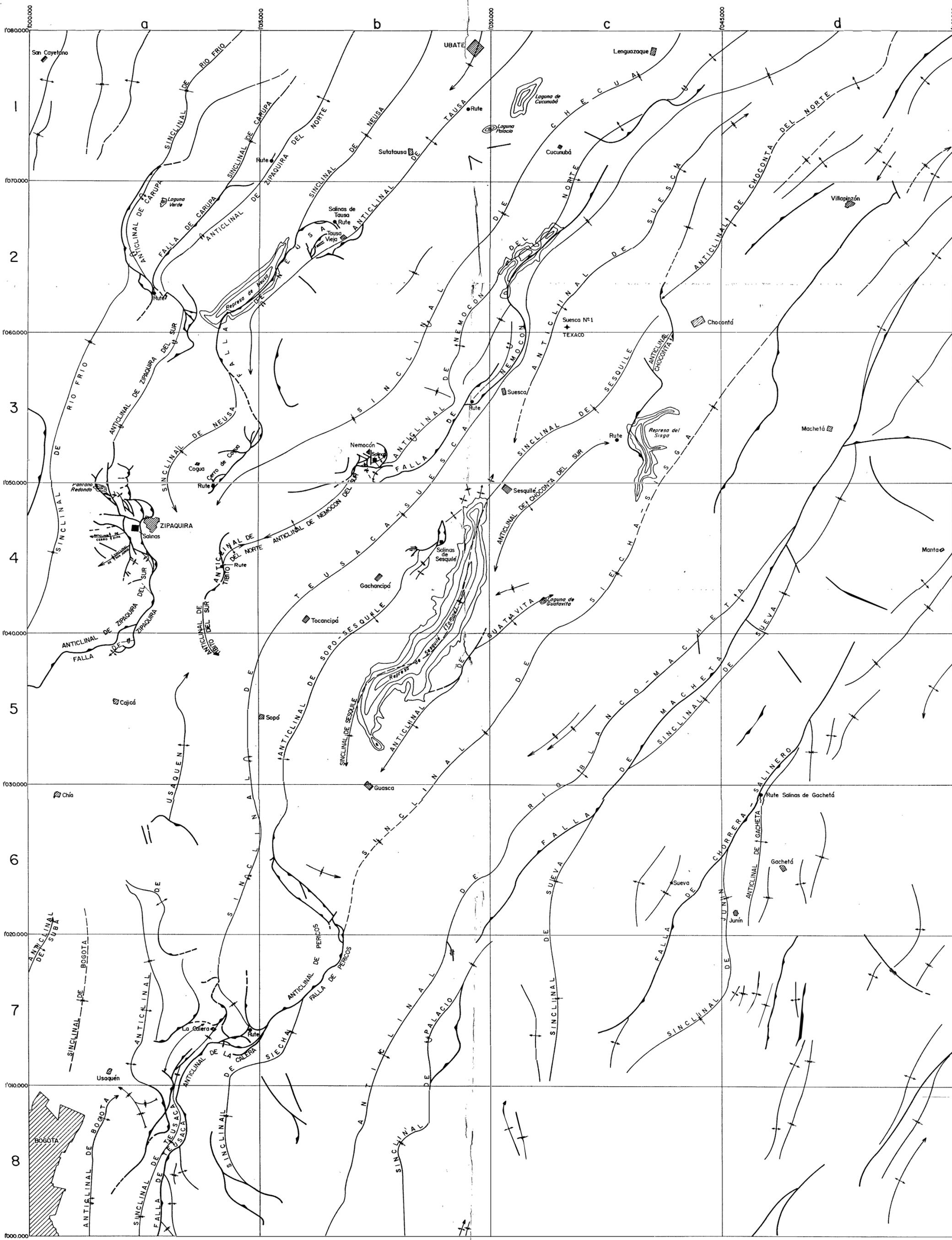
Plancha III MAPA DE LA SUPERFICIE EN LA VECINDAD DE LA MINA UPIN, RESTREPO (Dpto. Meta)



Plancha VIII-MINA DE SAL UPIN, RESTREPO (Meta)

0 10 20 30 Km

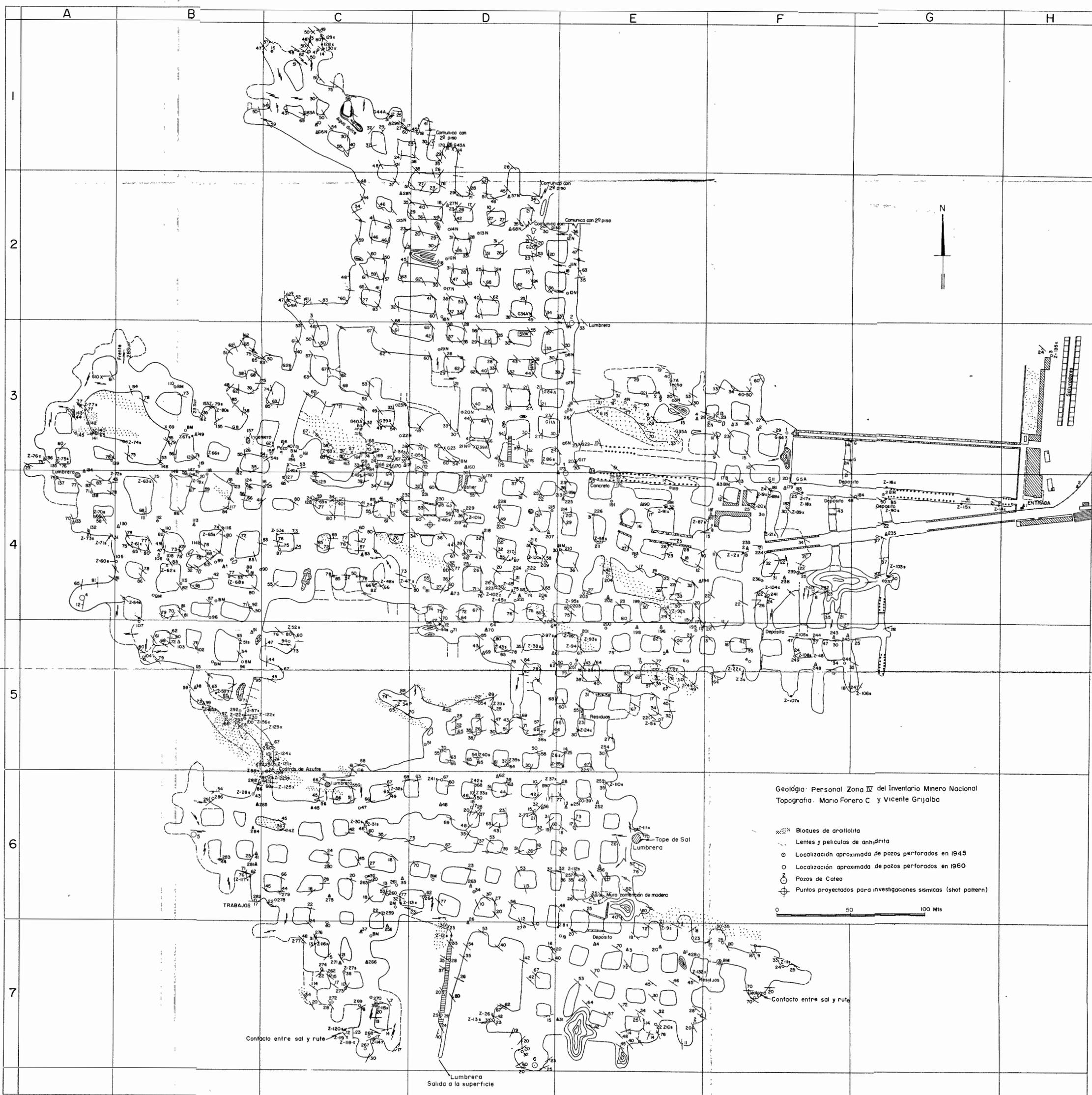
 Arcillolita



Plancha IV - MAPA TECTONICO DEL CUADRANGULO K-11, ZIQUAIRA



- Sal estratificada
- Rute
- Manantial de sal



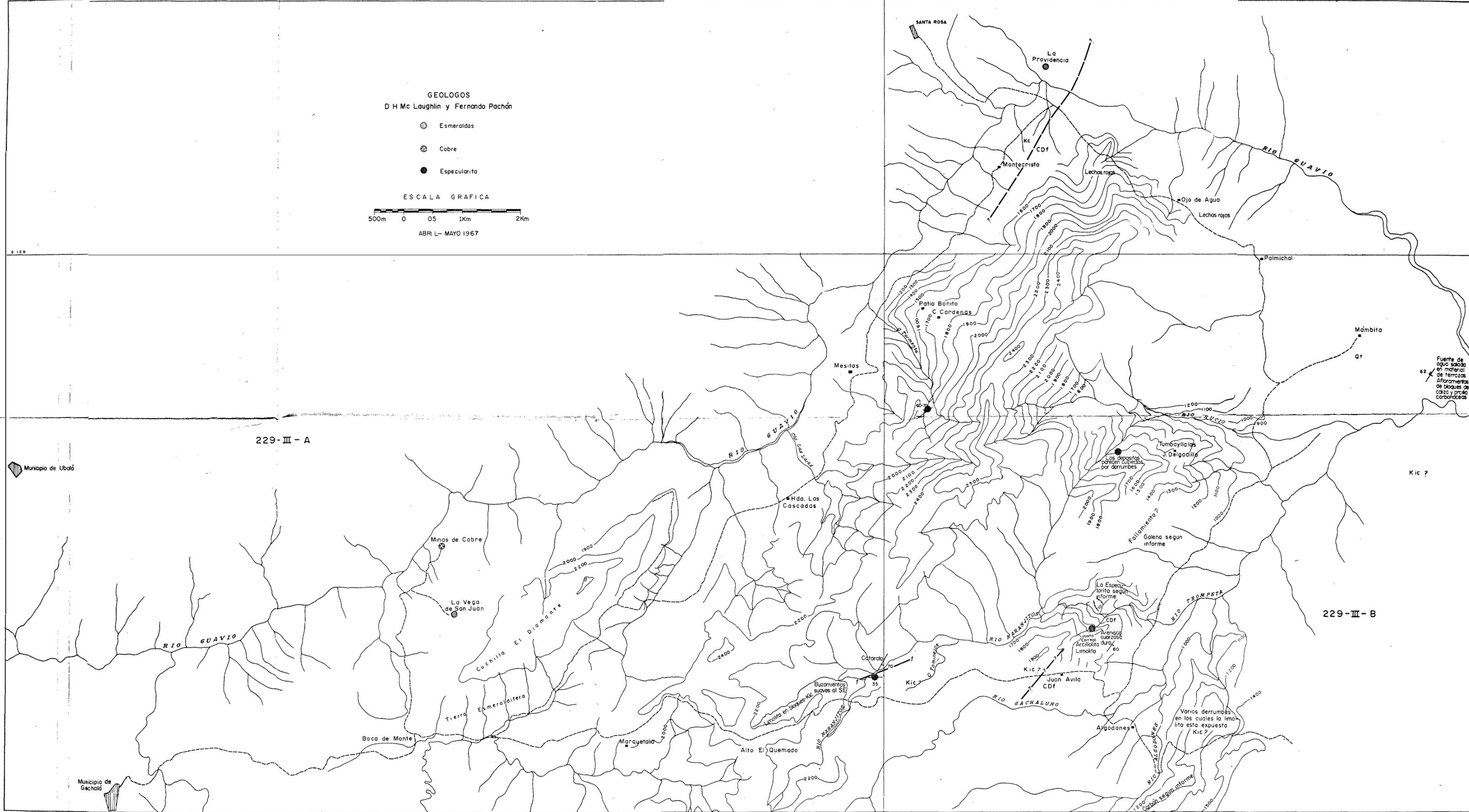
GEOLOGOS  
 D H Mc Laughlin y Fernando Pachón

 Esmeraldas  
 Cobre  
 Especularita

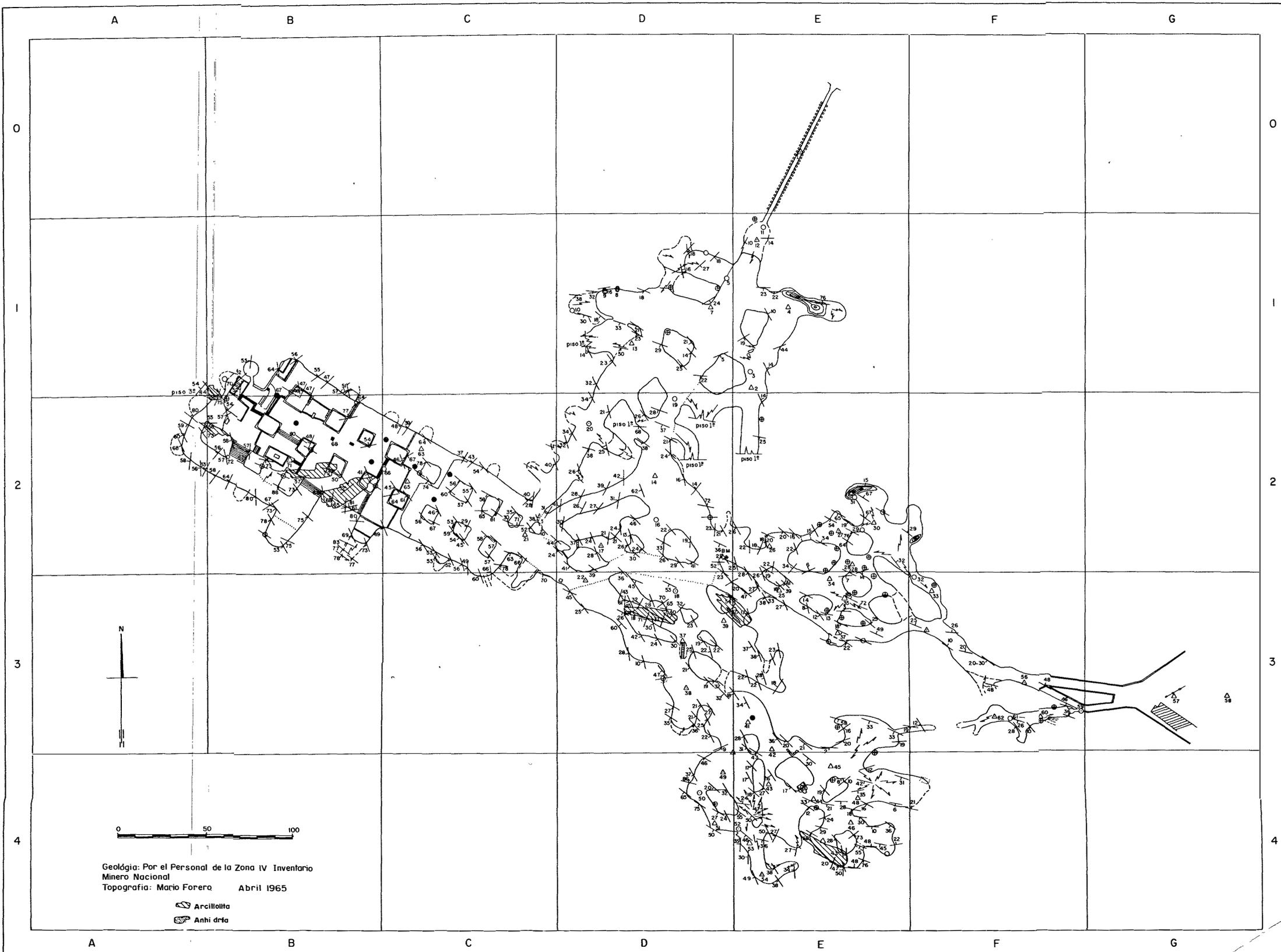
ESCALA GRAFICA



ABRIL - MAYO 1967

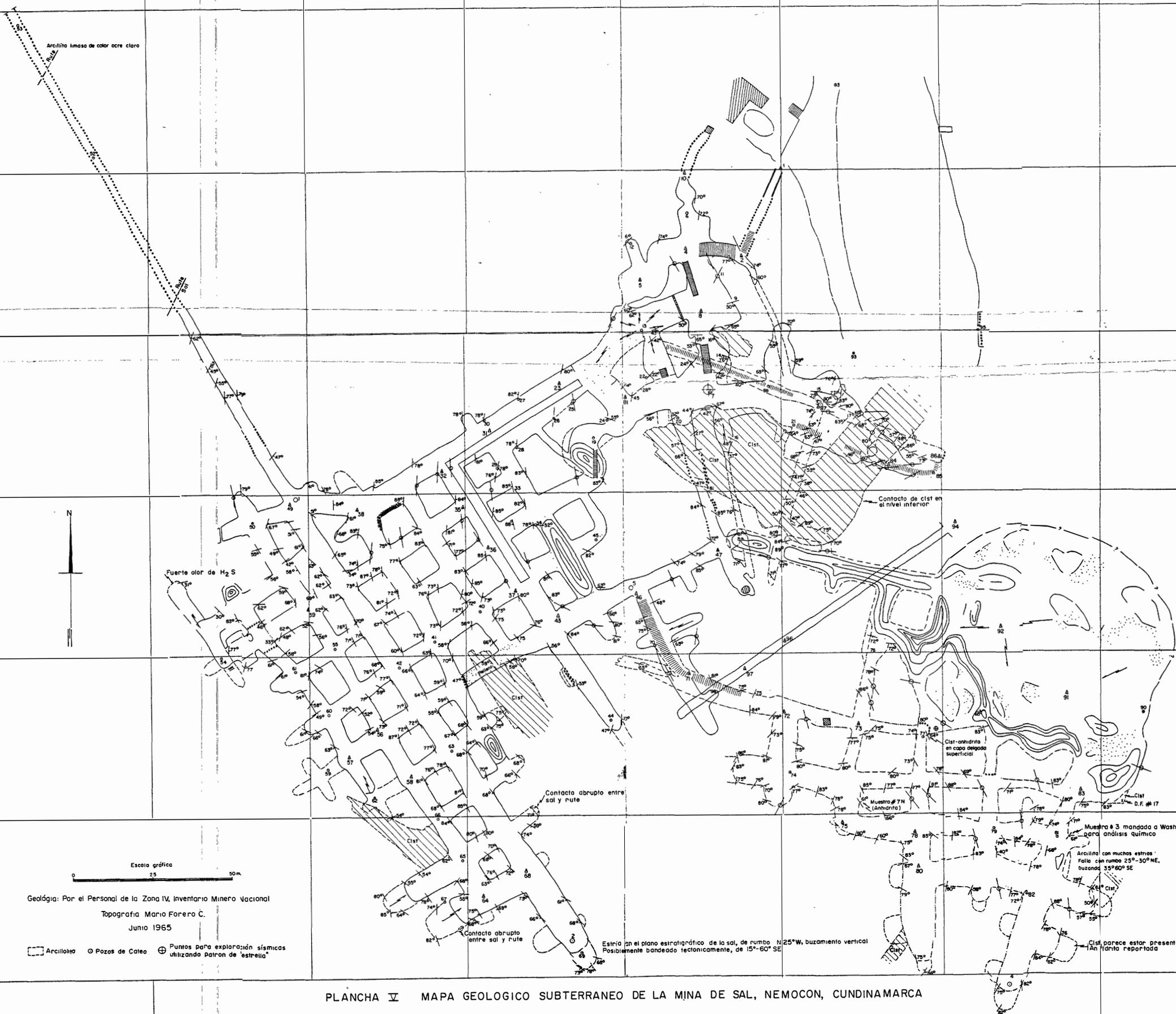


Plancha X- MAPA GEOLOGICO DE RECONOCIMIENTO DEL CERRO MONTECRISTO



Geología: Por el Personal de la Zona IV Inventario  
 Minero Nacional  
 Topografía: Mario Forero    Abril 1965

-  Arcillolita
-  Anhidrita



Arcillita limosa de color ocre claro



Escala gráfica  
0 25 50m.

Geología: Por el Personal de la Zona IV, Inventario Minero Nacional  
Topografía: Mario Forero C.  
Junio 1965

□ Arcillita    ○ Pozos de Cateo    ⊕ Puntos para exploración sísmica utilizando patrón de "estrella"

Contacto abrupto entre sal y rute

Contacto abrupto entre sal y rute

Contacto de cist en el nivel inferior

Cist-enchirra en capa delgada superficial

Muestra # 7N (Anhidrita)

Muestra # 3 mandada a Washington DC para análisis químico

Arcillita con muchos estrías. Falla con rumbo 25°-30° NE, buzamiento 35°-60° SE

Estría en el plano estratigráfico de la sal, de rumbo N 25° W, buzamiento vertical. Posiblemente bandeado tectónicamente, de 15°-50° SE

Cist parece estar presente. Anhydrita reportada

PLANCHA V MAPA GEOLOGICO SUBTERRANEO DE LA MINA DE SAL, NEMOCON, CUNDINAMARCA