

SAL EN LA CORDILLERA ORIENTAL DE COLOMBIA

GUILLERMO UJUETA L. *

RESUMEN

Se presenta un análisis conjunto de observaciones de campo y revisión bibliográfica, concerniente a las masas salinas presentes en la Cordillera Oriental de Colombia y especialmente a la mina de sal de Zipaquirá, en la Sabana de Bogotá. Edad Liásica ha sido asignada últimamente a las manifestaciones de sal presentes en la Cordillera Oriental de Colombia pero la evidencia disponible está indudablemente en favor de su origen cretácico. La sal que aflora en Zipaquirá se considera cenomaniana (?) y se enuncia además la posibilidad de que puedan existir otros niveles de sal en la columna estratigráfica cretácica. La deposición de estas evaporitas tuvo lugar en cuencas marinas restringidas. En la región de la Sabana de Bogotá movimientos orogénicos terciarios fueron responsables de una serie de anticlinales con culminaciones dómicas a los cuales están asociadas las manifestaciones de sal. En la mina de sal de Zipaquirá, la sal se encuentra interestratificada y plegada con sedimentos clásticos bituminosos, característica que permite clasificar esta estructura como un "anticlinal de sal". Por extensión puede aducirse que las otras masas de sal presentes en la región de la Sabana de Bogotá se ajustan más a la anterior clasificación en vez de domos de sal como han venido considerándose hasta ahora. Se sugiere que la extrusión de las masas de sal, tuvo lugar a lo largo de planos de fallas transversales a las estructuras dómicas, fallas que son muy comunes en la región de la Sabana de Bogotá.

ABSTRACT

An analysis both from field observations and bibliographic revision about the salt masses in the Eastern Cordillera of Colombia and especially in the Zipaquirá salt mine, in the Sabana de Bogotá region, is presented. Liassic age has been lately given to the salt masses in the Eastern Cordillera of Colombia, but the evidence available is undoubtedly in favor of a Cretaceous origin. The salt which crops out at Zipaquirá is considered Cenomanian (?), and also the possibility exists that salt could be present at some other levels within the Cretaceous stratigraphic column. The evaporites deposition took place in restricted marine basins.

In the Sabana de Bogotá region Tertiary tectonic stresses were responsible of a series of long anticlinal trends with domal culminations to which the salt masses are

* Geólogo. Apartado Nacional 4920, Bogotá, D. E.

associated. In the Zipaquirá salt mine the salt is interbedded and folded with bituminous clastic sediments; this feature makes possible to classify this structure as a "salt anticline". Similarly it can be deduced that the other salt masses present in the Sabana de Bogotá region are closer to the salt anticline than the salt dome as had been considered previously. It is suggested that the extrusion of salt may have taken place along transversal fault planes which cut across the domical structures, these faults are common in the area.

CONTENIDO

Introducción.

Teorías sobre el origen de la sal en la Cordillera Oriental de Colombia.

Argumentos en contra del origen jurásico de la sal.

Distribución de evaporitas en los sedimentos cretácicos.

Origen cretácico de la sal.

Características estructurales de la Sabana de Bogotá.

El anticlinal del Zipa.

Referencias citadas.

FIGURAS

1º Mapa geológico de la Sabana de Bogotá.

2º Mapa fotogeológico de Zipaquirá.

3º Residual gravity in the vicinity of the Zipaquirá Salt Mine.

4º Absolute gravity with Bouger correction, Zipaquirá, Colombia.

5º Sección Geológica Esquematisada.

INTRODUCCION

Un problema que ha sido por muchos años de gran interés para los geólogos, es la deposición de estratos gruesos de sal. Se reconoce al océano como la fuente de sales que da origen a los depósitos más importantes. Los propósitos de este artículo son: 1º Cotejar las razones que exponen los favorecedores del origen cretácico y jurásico de la sal; 2º describir las condiciones físicas que favorecen la deposición de la sal, y 3º utilizar las características de depósitos salinos bien conocidos, como medio de comparación, para postular el origen de la sal en la Cordillera Oriental de Colombia.

La mayoría de los autores de los trabajos relativos a la sal han establecido controversia acerca de su edad, sin tomar en cuenta las condiciones mismas de su deposición. La ocurrencia de estructuras complicadas, la ausencia de secciones expuestas completas y especialmente la carencia de estudios detallados en el cretácico de la Cordillera Oriental de Colombia, ha dado lugar a muchos equívocos. Es así como en la literatura corriente es común encontrar puntos de vista diferentes acerca del origen de la sal.

TEORIAS SOBRE EL ORIGEN DE LA SAL EN LA CORDILLERA ORIENTAL
DE COLOMBIA

Dos teorías han sido enunciadas para explicar la posición de la sal en la columna estratigráfica de la Cordillera Oriental de Colombia. Una considera la sal como cretácica y la otra favorece la idea de su formación jurásica.

Entre quienes favorecen la idea de la formación cretácica de la sal, y quienes implícitamente la consideran contemporánea con los sedimentos del Villeta, se cuentan: Lleras (1927, p. 76) quien refiriéndose a la salina de Upín dice: "El banco de sal está asociado a las mismas rocas que están inclinadas de 45 a 50° sobre el plano horizontal y llevan una dirección general SW a NE". Scheibe (1935, p. 52) afirma que: "En el piso de Villeta son muy frecuentes las pizarras arcillosas negras, a veces calcáreas, e incluídas en éstas se encuentran bancos de sal gema". Lleras (1935, pp. 2236-2237) dice: "Los bancos de sal están localizados en las pizarras negras del piso de Villeta en la Cordillera Oriental y son los de Zipaquirá, Nemocón, Sesquilé y Upín; últimamente se han encontrado (algunos) de suma importancia en el Valle de Tenza". Robiedo (1935, p. 3072) hablando de Zipaquirá a su vez dice: "La sal, tal como hoy podemos verla, aparece en forma de una roca estratificada la cual en muchos puntos está ennegrecida por intercalaciones de una arcilla bituminosa conocida con el nombre de rute, pero también en otras partes la sal presenta un aspecto más puro". Lleras (1929, p. 297) dice: "A corta distancia de Zipaquirá queda la salina de Nemocón; este es otro banco de sal cubierto de rute, rodeado de las mismas rocas que se observan en Zipaquirá". Este mismo autor, Lleras (1929, p. 297) también dice: "A las mencionadas sigue en importancia la salina de Sesquilé; el banco de sal se encuentra en esta localidad como encajado en las areniscas y pizarras que lo separan del valle de Boitá. Los estratos de estas rocas, que están muy dislocados y en algunos sitios casi verticales, ocupan con respecto a la sal una posición análoga a la que se observa en Zipaquirá y Nemocón". Finalmente Hubach (1957, p. 110) afirma que "el único sitio donde se ha determinado la sal en estratificación regular se halla en el eje del anticlinal de Tabio, al nordeste de las minas de hierro de La Pradera; están ahí en el nivel de la *Exogyra Mermeti*".

Entre quienes favorecen la edad jurásica de la sal y a quienes atrae la asociación de ella con lechos rojos figuran: Harrison (1929, p. 402) quien afirma que la sal presente en la Sabana de Bogotá, procede de los sedimentos pre-cretáceos (se refiere a los estratos del Girón). Posteriormente Bürgl (1961, p. 153) dice: "El Girón es la única formación (por lo menos mesozoica) de la Cordillera Oriental, que se formó bajo condiciones que facilitan la acumulación de grandes depósitos de sal"; Campbell y Bürgl (1965, p. 572) hablan de una incursión del mar en el Liásico y dicen: "Tal incursión marina temporal en una cuenca continental con un clima desértico suministró las condiciones para la deposición de evaporitas" y estos mismos autores, Campbell y Bürgl (1965, p. 569), afirman que la formación de la sal se llevó a cabo después de movimientos orogénicos triásicos que

dieron lugar a deformaciones antes de la incursión marina liásica que pudo dejar a su retiro depósitos de evaporitas del tipo llamado por Borchert y Muir (1964, p. 185) *depósitos en lagos de origen marino*.

ARGUMENTOS EN CONTRA DEL ORIGEN JURASICO DE LA SAL

A la hipótesis de que la sal se depositó en el jurásico pueden indicarse las siguientes razones en su contra: en primer lugar, la presencia de depósitos triásicos y liásicos en el Departamento de Cundinamarca no han sido probados. A pesar de que Bürgl (1960, p. 182) y Campbell y Bürgl (1965, p. 572) han descrito fósiles liásicos en el río Batá, Bürgl mismo (1957, p. 121) hablando de las facies marinas del Triásico y Liásico expresa: "en tanto que en Cundinamarca no hemos encontrado aún testigo paleontológico que denote la existencia de estos períodos".

Por otra parte, Parker y McDowell (1955, p. 2468) han sugerido que un gran espesor de sedimentos previene el flujo plástico de la sal para continuar el ascenso de domos o tapones de sal ya iniciados. Por tanto, el espesor cretácico en exceso de 11.000 m. determinado por Campbell y Bürgl (op. cit., p. 573)¹ impediría la posibilidad de las intrusiones de sal de una fuente pre-cretácica a menos que esas intrusiones hubieran tenido lugar simultáneamente con la deposición de los sedimentos cretácicos. Esta última posibilidad, sin embargo, debe descartarse ya que el examen del corte presentado por estos autores, no muestra ningún adelgazamiento ni inconformidad de los estratos del cretáceo alrededor de los supuestos tapones de sal de que hablan Campbell y Bürgl. Esas intrusiones salinas son, de hecho, una característica geológica prominente en el corte citado, para lo cual ninguna evidencia ha sido ofrecida por los autores. Por otra parte no se dispone de ningún estudio en la Cordillera Oriental de Colombia, que demuestre el efecto de la intrusión de estos domos en las estructuras locales de la Sabana de Bogotá y el efecto en la sedimentación durante el crecimiento de los domos. Puede anticiparse que en el Cretáceo más superior (formación Guadalupe), hasta donde llega la sal en la Sabana de Bogotá, no existe ninguna inconformidad y que el espesor es bastante constante en esta región.

Es bien sabido también que la altura de un domo depende del espesor original del estrato de sal. En este caso particular una capa de sal muy gruesa se requeriría para explicar la extrusión de domos salinos a través del cretáceo más superior (formación Guadalupe). Tal enorme capa de sal —considerando que llega a la superficie a través de 12.000 m. según Campbell y Bürgl (op. cit., p. 585)— debería observarse fácilmente en afloramientos, pero tanto Campbell (1962, p. 13) como Campbell y Bürgl (1965, p. 572) han reconocido que no se han encontrado evaporitas *in situ* donde quiera que afloran estratos triásicos y jurásicos.

El autor hizo una visita a la mina de sal de Zipaquirá, aproximadamente 50 km. al norte de Bogotá, así como también a otros sitios

¹ Las medidas del espesor son muy vagas ya que varían entre 11.000 m. y + de 16.000 m. lo que significa que hay una discrepancia del 45%.

cercanos donde se han citado afloramientos de sal. En la mina de sal de Zipaquirá, la cual ha sido trabajada desde hace mucho tiempo, no hay ninguna evidencia de la presencia de *lechos rojos*² liásicos o fósiles que hayan podido ser traídos con la sal en su ascenso a través de los estratos del cretáceo inferior y medio donde estos últimos son tan abundantes.

El examen de la mina de sal de Zipaquirá puso de relieve los siguientes hechos: 1º en la entrada de la mina los estratos de sal tienen buzamiento al oeste, en conformidad con los estratos infra y suprayacentes y mantienen esa actitud por varios cientos de metros hacia el oeste, pero antes del final de la mina, la sal muestra recristalización y tiene el carácter de una masa inyectada; 2º la sal tiene una estructura estratificada que consiste de capas de sal blancas y grises alternadas.

La preservación de la sal estratificada, en conformidad con los estratos clásticos infra y suprayacentes y la falta de remanentes liásicos dentro de la masa inyectada de la sal, son argumentos fuertes en contra del origen profundo de la sal y al mismo tiempo, sugiere que la sal inyectada está cerca de su posición estratigráfica original (Cenomaniano?).

Aquí es oportuno citar a Tucker (1950, p. 4) quien dice: "La segunda teoría, aquella de acumulación de lentes *in situ*, es una explicación adecuada. Mr. Q. D. Singwald, el geólogo americano, fue enviado en 1945 a Colombia por el Gobierno de los Estados Unidos para evaluar el depósito. Su punto de vista corresponde al de la teoría de las lentes. Esta teoría postula "que la sal se formó contemporáneamente con las rocas que la contienen". Pero el argumento más diciente en contra de la opinión de grandes tapones salinos, y en favor del origen cretáceo de la sal, es el hecho registrado por Tucker (1950, p. 8) en el estudio gravimétrico de la mina de sal de Zipaquirá, quien dice: "Se sabe que la sal ocupa una bolsa en el plegamiento invertido. No se sabe si la sal está en su posición original o ha fluído desde una posición más profunda y más vieja. Es suficiente decir que hoy ocupa un pequeño espacio y no es una columna de sal. Esto basado en el tamaño de la anomalía negativa. Una columna de sal que ha alcanzado la superficie debería tener una anomalía negativa del orden de 50 unidades más bien que las 10 unidades determinadas para este depósito. El depósito debe, por necesidad, ser de tamaño limitado".

Sobre la base de las observaciones de Tucker, la ocurrencia de la sal en una bolsa puede probablemente explicarse como el resultado de flujo de la sal hacia la cresta del plegamiento. Es también interesante notar que la fauna de los estratos cerca de Zipaquirá, gradualmente se empobrece y disminuye su tamaño con el aumento de su salinidad, hecho que ha sido descrito por Hubach (1957, p. 103): "En Zipaquirá la caliza apenas asoma en la calera de Wiesner, donde la *Exogyra* aparece deformada notablemente a causa del ambiente concentradamente salado en que vivía y que dio lugar a la deposición de la sal". La fauna incluye a la *Exogyra squamata* D'Orbigny, conside-

² Los *lechos rojos* asociados con evaporitas se depositan en condiciones no marinas o en depósitos de lagunas de transgresiones marinas.

rada como fósil guía para el Cenomaniano por Campbell y Bürgl (1965, p. 579). Así, por la evidencia presentada, se rebate el origen liásico de la sal.

DISTRIBUCION DE EVAPORITAS EN LOS SEDIMENTOS CRETACICOS

No es posible presentar una distribución espacial de las evaporitas, por falta de trabajos detallados, pero en la figura 1 (por lo menos para la región de la Sabana de Bogotá) se han compilado las localizaciones de las evaporitas, como también en las diferentes citas se dan las localizaciones de las fuentes saladas de que se tiene noticia.

La presencia de sal en profundidad se indica por las fuentes saladas que han sido registradas siempre en el Cretáceo de la Cordillera Oriental de Colombia. Así los siguientes autores las han encontrado en diferentes niveles dentro de la columna estratigráfica: Lleras (1935, pp. 2236-2237) dice: "Las fuentes saladas superficiales son frías, brotan de las rocas del piso de Villeta, y provienen del agua infiltrada que tropieza en su curso subterráneo con algún depósito de sal. La mayor parte de estas fuentes están localizadas en la Cordillera Oriental; las principales son Pinsaima, Tausa, Camancha, Gachetá, Chita, Muneque, Gámeza, Recetor y Pajarito", Grosse (1935, pp. 133-134) hablando de las fuentes saladas, cita algunas en el Huila y en el Caquetá: "Todas las fuentes están situadas en el Cretácico: la de El Jabón, que está acompañada por petróleo, en el piso porfirítico; la de El Signo, que produce 5 litros de agua salada por minuto, en el piso de areniscas blancas, y la de Tilinguara, en el piso de Villeta". Gerth bajo Hubach (1957, p. 107) afirma: "En la Sabana de Bogotá existen varios eczemas de sal, entre los cuales los más importantes están al NE, a saber: Zipaquirá, Nemocón, Tausa y Sesquilé, estudiados por R. Scheibe. Otros menores existen al sur de Suesca (Portrero Grande), al sur de Sopó (Salitre), al sur de la Calera (Santa Rosa) y en Tabio. En general estos eczemas están relacionados con fuentes termales que además se presentan independientemente en otros sitios como en el domo fallado de Suba al NW de Bogotá", y Lleras (1927, p. 76) dice: "Las otras salinas de Cundinamarca, Gachetá, Tausa, Cumaral, etc., son fuentes saladas que brotan del rute o de rocas análogas; la fuente de Pinsaima y otras del occidente del Departamento, contienen proporciones notables de sulfato de sodio y otras impurezas. Las salinas de Boyacá, Chita, Muneque, Gámeza, Recetor, etc., son fuentes más o menos cargadas de sal, que brotan del piso de Villeta". Como ya ha sido consignado en la página 5, Scheibe (1933, p. 52), Lleras (1935, pp. 2236-2237), Robledo (1935, p. 3072) y Hubach (1957, p. 110) han descrito la sal interestratificada con shales negros cretácicos en varios niveles estratigráficos, los períodos citados son el Cenomaniano, Aptiano y Valanginiano.

Se sabe que existen depósitos de yeso en el Berriasiano (Bürgl, 1958, p. 184), Hauteriviano-Barremiano (Zamarreño de Julivert, 1963, p. 27), Barremiano (Hubach, 1931, p. 44), Barremiano-Aptiano inferior (Bürgl, 1954, p. 21), Barremiano-Aptiano (Jimeno y Yepes, 1963, p. 274), Aptiano inferior (Bürgl, 1955, p. 9), Aptiano superior (Bürgl, 1954, p. 17), Albiano medio (Bürgl, 1955, p. 16) y Coniaciano (Ujueta,

1961, p. 36). Anhidrita ha sido descrita en el Hauteriviano-Barremiano por Zamarreño de Julivert (1963, p. 23) y se halla presente en la mina de sal de Zipaquirá.

Lo anterior demuestra la aparición de evaporitas en varios niveles estratigráficos en la columna cretácica de la Cordillera Oriental de Colombia. La presencia de evaporitas en una cuenca de sedimentación denota que la cuenca fue restringida por lo menos durante parte de su historia. Así varias cuencas pudieron desarrollarse a través de diferentes períodos geológicos lo cual implicó el desarrollo de condiciones favorables.

El espesor del yeso es en general delgado, no pasa de unos pocos centímetros. Sin embargo en la mina de yeso Lusitania, caserío Quebrada Honda, Bürgl (1958, p. 184) cita bancos de yeso hasta de 1 m. de espesor. El espesor de los lechos de sal no se conoce exactamente, el único dato disponible del espesor en la Sabana de Bogotá es el que Tucker (1950, p. 8) da para la salina de Zipaquirá: "El depósito tendrá por tanto, un ancho de 600 metros en la superficie, un espesor máximo de 120 metros y una longitud mayor de 1.800 metros". Este espesor, sin embargo puede ser debido a la acumulación de sal por migración horizontal, que puede ocurrir en las formaciones de sal, lo cual no da el verdadero espesor de los estratos de la sal.

ORIGEN CRETACICO DE LA SAL

Todas las grandes ocurrencias de evaporitas parecen estar relacionadas con aguas marinas, ya sea como cuencas localmente aisladas del mar abierto, extensiones lagunales o apéndices del mar. Los depósitos de evaporitas asociados con estratos continentales cubren grandes áreas, pero su volumen es pequeño comparado con el de las evaporitas marinas.

La principal suposición que se hace es, pues, que los depósitos de sal deben ser de origen marino. Por falta de observaciones precisas, se hacen algunas inferencias con respecto a su origen por comparación con depósitos de sal bien conocidos.

Los requerimientos básicos para que tales depósitos se formen son: el desarrollo de un umbral, como restricción entre la cuenca marginal y el mar abierto y un clima favorable durante períodos de tranquilidad tectónica como ha sido demostrado por Borchert y Muir (1964, p. 44). Contrariamente a la idea de que condiciones tectónicas regionales son indispensables como dice Bürgl (1961, p. 158): "La región inundada por el Titoniano, que llamamos la cuenca de Cundinamarca, estaba ya preformada como depresión en el jurásico inferior, cuando se formó el lago salado en el Girón"; es solo necesario, como se ha enunciado antes y como ha sido reconocido por Campbell y Bürgl (op. cit. p. 587) hablando del geosinclinal cretáceo que se cumpla la siguiente condición: "Los mares fueron poco profundos en la mayoría de los casos" y "en general, más bien condiciones sedimentarias tranquilas prevalecieron durante el período geosinclinal".

La evidencia referente a las condiciones de temperatura y desarrollo de arrecifes que puedan haber actuado como restricciones, puede resumirse como sigue:

1. Los estratos cretácicos son localmente bastante fosilíferos.

2. Fósiles formadores de arrecifes son comunes, tales como *Nerinea* (Bürgl, 1959, p. 89; Campbell y Bürgl, 1965, p. 577), *Rudistas* (Bürgl, 1961, p. 164), *Orbitolinas* (Petters, 1954), *Ostreas* y *Gryphaeas* (Hubach, 1950, p. 104) y *Corales*.

3. Hay algunos fósiles de aguas salobres tales como *Trigonia* (Bürgl, 1957, pp. 133-134; Royo y Gómez, 1945, pp. 221-222), *Paraglauconia* (Bürgl, 1961, p. 164; Hubach, 1931, p. 43) y *Nerineas*.

4. Los corales son evidencia de clima cálido y ellos se presentan distribuidos en la Cordillera Oriental (Hubach, 1931, p. 43; Botero, 1937, p. 37).

Las restricciones a la circulación del agua del mar pueden pues establecerse en la forma indicada anteriormente, es decir, por barreras físicas construídas por el crecimiento de organismos. Se postula aquí esta teoría a pesar que debe admitirse que los datos conocidos son pocos para confirmar completamente esta posibilidad.

Muchos investigadores se han ocupado del orden y condiciones de precipitación y han encontrado que las evaporitas son altamente cíclicas. La secuencia de precipitación se ha establecido en la siguiente forma:

Supersalina	6. Sales de potasio.
Salina	5. Halita.
	4. Anhidrita.
Penisalina	3. Dolomita.
	2. Caliza dolimítica.
Marina normal	1. Caliza.

Los ciclos comúnmente comienzan con los miembros 1 y 2 progresan hacia arriba hasta 4 y 5 para volver a 1 y 2 y comenzar de nuevo. Pocas veces se presentan ciclos completos como parece ser el caso en el Cretácico de la Cordillera Oriental de Colombia.

La precipitación de sales a partir del agua del mar requiere que la concentración salina aumente hasta alcanzar el punto de saturación de cada una de las sales contenidas en la solución. En la naturaleza esto ocurre con mayor frecuencia en cuencas restringidas, en donde con clima favorable, la evaporación excede el aporte de aguas lluvias, de ríos y del mar.

Cambios laterales de facies pueden suceder y así ha sido observado por Borchert y Muir (op. cit. p. 60) en la formación "Castile" en donde: "Los carbonatos predominan en el sur, halita en el norte y en el este y anhidrita que es la sal más abundante en una zona intermedia de 5-100 millas de ancha".

Hubach (1931, p. 44) ha registrado la ocurrencia de yeso, en Apulo, en depósitos cercanos a bancos de corales, hecho que puede dar una indicación general de un ambiente favorable para la deposición de evaporitas. Pero aún más, Zamarreño de Julivert (1963, p. 27) en el estudio petrográfico de la formación Rosablanca el cual es de paso, uno de los muy pocos trabajos de esta clase que se han hecho en el Cretáceo de la Cordillera Oriental de Colombia, dice: "Hay que señalar en primer lugar que la porción basal del Rosablanca se carac-

teriza por una hipersalinidad y tranquilidad en las condiciones de depósito. En esta parte basal se deposita un conjunto de dolomías, dolomías calcáreas y calizas dolomíticas, con yeso interestratificado. La presencia de pirita en todas las capas de este nivel indica además que el medio era muy reductor". Que esta deposición de evaporitas también estuvo asociada con el desarrollo de arrecifes, algas calcáreas del tipo Halimeda, fue claramente expresado por el mismo autor, Zamarreño de Julivert (op. cit., p. 14). De la cita anterior los siguientes puntos son de particular importancia:

a) Los arrecifes estuvieron limitados a cuencas marginales relativamente profundas que dieron lugar a la cuenca de deposición anteriormente descrita;

b) Dolomita tiende a precipitarse en aguas relativamente poco profundas donde la temperatura es alta;

c) Halita no se depositó y dolomita y sulfatos de calcio predominaron a causa de que la concentración máxima de sales en la cuenca fue baja;

d) "En todas las secuencias de evaporitas marinas, descomposición bacteriana puede producir una deficiencia de sulfato, reduciendo los sulfatos a sulfuro de hidrógeno", Borchert y Muir (1964, p. 234).

Sobre el nivel dolomítico de la formación Rosablanca, las condiciones de salinidad fueron de nuevo normales y sedimentos calcáreos marinos comunes se depositaron. A pesar de que la halita no se precipitó, indicando que la concentración de sales fue baja y que ocurrió un cambio en las condiciones físicas de la cuenca, esos hechos se mencionan para apoyar la teoría anterior. Las varias manifestaciones de yeso y anhidrita (ver pág. 10) pueden ser esencialmente el resultado del mismo tipo de condiciones descritas anteriormente.

Una facies de evaporitas en áreas poco profundas de mares restringidos está usualmente asociada con una facies sapropélica en la parte profunda de la cuenca donde se acumulan margas bituminosas. Este ambiente euxínico puede dar lugar a la formación de shales negros. Como Borchert y Muir (1964, pp. 232-233) han indicado: "Las margas bituminosas frecuentemente pasan a calizas bituminosas, a yeso y a halita". Tal origen se sugiere para los shales negros bituminosos asociados con los depósitos de sal en la Sabana de Bogotá.

Debe hacerse aquí referencia a la presencia de rocas bituminosas en la Cordillera Oriental para llamar la atención de la similitud con las condiciones mencionadas antes. En la cantera de caliza de Neusa, en la región de la Sabana de Bogotá, estudiada por Hubach (1950, p. 105) se encuentra que "las capas inmediatamente superiores al horizonte de calizas se observan bien en la cantera de Neusa y son arcillas pizarrosas pardas, margosas, bien estratificadas con un alto porcentaje de bitumen". Alvarado y Sarmiento (1945, p. 108), en un estudio cerca a Zipaquirá, expresan: "Debido a un cierto grado de metamorfismo de la materia bituminosa, tan abundante en los esquistos arcillosos, el rute³ es en parte grafitoso". Con referencia a una

³ El término "rute" se usa para describir los restos de los shales negros intercalados que quedan de la solución de la sal en la parte inyectada, y los cuales cubren actualmente las masas de sal en vez del caparazón normal.

sección en Panga Panga, al este de Bogotá, Hubach (1945, p. 32) dice: "Las calizas son siempre bituminosas y están en número de 3 a 4 bancos". El mismo autor, Hubach (1947, p. 21) hablando de las calizas que separan el Villeta del antiguo Guadalupe inferior dice: "Con una sola excepción que es la región de la Calera (señores Samper) donde el banco de caliza muestra un color natural amarillo, los bancos fosilíferos son de color gris oscuro hasta negro, color muy común de la formación Villeta y de la parte inferior de la formación Guadalupe. La diferencia existente entre el horizonte de calizas y la mayor parte de los estratos oscuros de la formación Villeta reside en que el colorante no se debe a pirita finamente diseminada sino a materias bituminosas" y además el mismo autor informa de la ocurrencia de calizas bituminosas con petróleo parafínico en la La Calera y El Salitre (Hubach, 1957, p. 103). El análisis de varias muestras, principalmente shales oscuros, colectados por Bürgl y estudiados y registrados por Colom (1962, p. 70) muestra que esas rocas están impregnadas con materia orgánica, y que en casi todos los casos del material le pareció de naturaleza bituminosa. Esas muestras son representativas del Cretáceo inferior, Cretáceo medio y parte del Cretáceo superior. Borchert y Muir (1954, p. 234) han hecho notar que "donde los depósitos de sal son muy bituminosos, ellos probablemente no se forman en una cuenca salada continental poco profunda, donde el medio podría ser hostil para la vida" y concluyen diciendo que "el bitumen está usualmente ausente en depósitos de evaporitas continentales y en lagunas marginales; donde las arcillas intercaladas son principalmente rojas, marrones y amarillas" (Borchert y Muir, 1964, p. 234).

La hipótesis del origen de la sal postulada antes, para las ocurrencias de sal en la Cordillera Oriental de Colombia, está de acuerdo con la interpretación genética de otros depósitos de sal bien conocidos que tienen características similares.

CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LA SABANA DE BOGOTA

Se hace referencia solamente a la Sabana de Bogotá, donde están localizadas las principales ocurrencias de sal. Estructuralmente la Sabana de Bogotá consta de una serie de anticlinales alargados con culminaciones dómicas separados por sus respectivos sinclinales. Esta serie de anticlinales y sinclinales lleva una dirección general NE y ellos determinan ampliamente el cuadro morfológico de la región. Los plegamientos de la Sabana de Bogotá se caracterizan por su asimetría. Generalmente están presentes a lo largo de los flancos invertidos de los plegamientos una serie de fallas de cabalgamiento que son aproximadamente paralelas al tren general de las estructuras de la región.

Las estructuras anticlinales parecen sencillas, pero sin embargo si se examinan en detalle como puede verse en el anticlinal del Zipa (figura 2), son tectónicamente complejas. Lo mismo sucede con el anticlinal de Nemocón donde están presentes una buena serie de fallas transversales y radiales. Existe una estrecha relación entre los anticlinales y las masas de sal y es así como a lo largo de estas estructuras se presentan las masas de sal que han ascendido hasta las proximida-

des de la superficie (Zipaquirá, Nemocón, Sesquilé y Suesca). Como puede observarse en la figura 1 es notoria la alineación de unos de estos depósitos de sal y el paralelismo de otros. La figura 1 es el resultado de la compilación de una serie de trabajos y de observaciones personales. Entre los trabajos que principalmente se han tenido en cuenta están los de Hubach (1957a), mapas fotogeológicos preliminares del Servicio Geológico Nacional, Julivert (1962), y Ujueta (1961).

Es importante notar también en la figura 1 la existencia de un gran número de fallas que se extienden aún fuera de la zona donde afloran las principales manifestaciones de sal. Esas fallas con base en la presente información son perpendiculares al tren general de las estructuras anticlinales de la Sabana de Bogotá.

EL ANTICLINAL DEL ZIPA

Siguiendo el mismo tren que los otros anticlinales de la Sabana de Bogotá, se puede estudiar en superficie un anticlinal particularmente interesante, el anticlinal del Zipa, del cual solamente se presenta aquí una interpretación fotogeológica. Este anticlinal ha sido designado así por el autor del presente trabajo por el cerro del Zipa (ver figura 2). La estructura anticlinal del Zipa, en la magnitud mostrada, no ha sido notada anteriormente. Es de lamentar que debido precisamente a la falta de conocimiento de la existencia de esta estructura, Tucker (1950) en su estudio gravimétrico de la salina de Zipaquirá, haya limitado su trabajo exclusivamente a la salina, sin avanzar hacia el SW donde se presume haya sal en profundidad.

Para efectos de descripción, la estructura se dividirá en dos partes. Una parte hacia el SW de la falla que se llamará de Zipaquirá (ver figura 2) y la otra hacia el NE de la misma falla.

La parte al SW de la falla de Zipaquirá en la cual se encuentra el cerro del Alto del Gallo, cuya expresión topográfica es una colina en forma ovalada truncada por fallas al norte, sur y este, es un excelente ejemplo del tipo de estructura dómica, está rodeada por cuevas concéntricas que forman la pendiente sur, oeste y norte del cerro.

El Alto del Gallo está situado aproximadamente 4 km. al SW de Zipaquirá y su relieve es de 3.000 m. sobre el nivel del mar. Este cerro ocupa el centro de la estructura, donde los estratos originales pueden ser identificados. Aproximadamente oval en forma (a pesar de las dislocaciones presentes), su eje mayor es de 7.000 m. de los cuales 1.800 m. están sobre la Sabana, valor obtenido por medida sobre la figura 3 que ha sido reproducida del trabajo de Tucker (1950) y donde el límite posible de sal y/o rute lleva un tren general NE aproximadamente paralelo a la dirección de los plegamientos de la Sabana; su eje menor alcanza los 3.500 m. La altura máxima sobre el domo es de 3.100 m. en el Cerro del Zipa. La erosión ha sido activa y el efecto de la red hidrográfica superficial se ha demostrado claramente en un buen número de corrientes que fluyen en todas direcciones a partir del Alto del Gallo, formando una red hidrográfica radial muy bien marcada. Además el río Frío y la quebrada Honda, abrazan por el occidente y el sur el Alto del Gallo, formando una red hidrográfica semianular.

Estratos pertenecientes a la formación Guaduas compuestos principalmente de arcillas con algunas areniscas ferruginosas intercaladas, forman los flancos y el tope de la estructura. Los estratos del Guadalupe están representados por afloramientos en el NE de la estructura (Cerro del Zipa). Su eje cabecea en dirección SW y se hunde a la altura del río Frío.

Esta estructura está cortada al norte y al sur por fallas paralelas al eje del plegamiento y que se llamarán fallas de la Hondita y de San Jorge, nombres asignados por el autor de la quebrada Hondita y por la vereda de San Jorge respectivamente. La falla de San Jorge está bien expuesta en la quebrada Santa Librada (ver figura 2) y se reconoce más fácilmente sobre las fotografías aéreas que sobre el terreno mismo, debido al carácter plástico del Guaduas presente en ambos lados de la falla. En cuanto a la falla de la Hondita, ha sido inferida de los rumbos y buzamientos presentes a lado y lado de la línea de falla.

La falla de San Jorge muy probablemente se prolonga hacia el NE sobre la Sabana, después de ser cortada por la falla de Zipaquirá. Se sugiere esto, a pesar de que ella está cubierta por el cuaternario de la Sabana, ya que podría corresponder con el anticlinal invertido (ver figura 4) deducido por Tucker (1950) y reproducido de su trabajo. Este plegamiento invertido no tiene continuación conocida hacia el SW después de la falla de Zipaquirá (ver figura 2) y como es notorio presenta paralelismo con el eje del anticlinal del Zipa. Por otra parte de acuerdo a la figura 4 el anticlinal invertido está desplazado con respecto a la siguiente estructura presente que es un sinclinal de acuerdo con H. F. Belding quien hizo la geología superficial del área y que aparece en la figura en referencia. Este último plegamiento que ha sido también cartografiado por Scheibe (1933), Hubach (1957a) y otros autores y compañías de petróleo que han tenido que ver en el área, y que ha sido llamado el sinclinal de San Jorge, coincide y ha sido por tanto tiempo confundido con su verdadera estructura, la falla de San Jorge.

Sin embargo, las fallas de la Hondita y la de San Jorge, en el concepto del autor, no tienen la importancia que conlleva la falla de Zipaquirá, geológicamente más joven y de mayor magnitud que las dos fallas nombradas. Estas pudieron ser consecuencia del plegamiento (anticlinal del Zipa) que se formó en primer lugar, ellas contemporáneamente o algo después, y finalmente la falla de Zipaquirá, la cual seguramente fue la responsable de haber levantado el Villeta hasta la posición que hoy ocupa (ver figura 5). Ella corta la estructura en la parte NE y ha permitido que la parte actualmente conocida y donde se llevan a cabo los trabajos de explotación de sal haya sido levantada.

La parte al NE de la falla de Zipaquirá, en la cual se encuentra la mina de sal, se presenta como una colina de forma cónica con pendientes suaves y tope aproximadamente plano. Ocasionalmente sobre la superficie superior se muestran algunos sumideros, probablemente formados por solución de sal. La figura 5 ilustra la relación existente entre la superficie y el subsuelo en la salina de Zipaquirá y corresponde al corte A-A' de la figura 2. Allí es posible observar una completa correspondencia (para el E de la mina) entre los estratos de superficie y los de subsuelo que llegan hasta el punto X donde la

inclinación de los estratos es vertical. Luego hacia el oeste y hasta la falla de Zipaquirá la sal pierde su carácter de estratificación y se presenta como una masa de sal pura.

En la mina de Zipaquirá, la sal está interestratificada con los sedimentos plegados por lo menos en la parte oriental de la mina y exhibe características intrusivas hacia el extremo occidental de la mina donde está cortada por la falla de Zipaquirá, la cual es aproximadamente perpendicular al eje del anticlinal del Zipa. Este tipo de estructura puede ser similar a lo que se ha llamado "anticlinal de sal" por Levorsen (1954, p. 260) y Hills (1963, p. 268). La fuente de sal en domos de sal intrusiva es de origen profundo, mientras que en un anticlinal de sal, como sucede en Zipaquirá, la sal está interestratificada con los sedimentos y se pliega con ellos. Fallas transversales similares a la falla de Zipaquirá cortan a través de otros anticlinales en el área (ver figura 1). Se sugiere por tanto que la extrusión de la sal en la cresta de los anticlinales puede haber tenido lugar a lo largo de planos de falla.

Finalmente, es importante anotar que en un examen mundial de la distribución de evaporitas en períodos geológicos sucesivos (Borchert y Muir, 1964, pp. 18-36) muestran una desviación en la posición de los principales centros de deposición de evaporitas. Ellos claramente expresan (op. cit. p. 30) que "las evaporitas cretáceas aparecen en muchos Estados suramericanos. Aquí los depósitos de sal son más abundantes en este tiempo que durante cualquiera otro período geológico".

REFERENCIAS CITADAS

- ALVARADO, B. y SARMIENTO, R., 1945, Yacimientos de fosfatos de El Salitre, La Pradera, Municipio de Subachoque (Cundinamarca), *Comp. Estud. Geol. Oficiales de Colombia*, tomo VI, pp. 105-115, Bogotá.
- BORCHERT, H., and MUIR, R. O., 1964, Salt Deposits, *D. Van Nostrand Co.*, p. 338, London.
- BOTERO G., 1937, Bosquejo de Paleontología Colombia, *Anales Esc. Nal. de Minas*, N° 35, p. 86, Medellín.
- BÜRGL, H., 1954, El cretáceo inferior en los alrededores de Villa de Leiva, Boyacá, *Bol. Geol.*, v. 2, N° 1, pp. 5-22, Bogotá.
- BÜRGL, H., 1955, El anticlinal de Apulo, Depto. de Cundinamarca, *Bol. Geol.*, v. 3, N° 2, pp. 2-23, Bogotá.
- BÜRGL, H., 1957, Bioestratigrafía de la Sabana de Bogotá y sus alrededores, *Bol. Geol.*, v. 5, N° 2, pp. 113-185, Bogotá.
- BÜRGL, H., 1958, El jurásico e infracretácico del río Batá, Boyacá, *Bol. Geol.*, v. 6, Nos. 1-3, pp. 169-211, Bogotá.
- BÜRGL, H., 1961, Historia Geológica de Colombia, *Rev. Acad. Colombiana Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, v. 11, N° 43, pp. 137-191, Bogotá.
- CAMPBELL, C. J., 1962, A section through the Cordillera Oriental of Colombia between Bogotá & Villavicencio, *IV Annual Field Conference, Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists*, p. 37, Bogotá.
- CAMPBELL, C. J., and BÜRGL, H., 1965, Section through the Eastern Cordillera of Colombia, *Geological Society of America Bulletin*, v. 76, pp. 567-590.

- COLOM, G., 1962, Micropaleontología del Cretácico al NW de Bogotá, Colombia, *Bol. de Geología, Univ. Ind. Sant.*, N° 10, pp. 69-75, Bucaramanga.
- GROSSE, E., 1935, Acerca de la geología del sur de Colombia, viaje al Huila y al Alto Caquetá, *Comp. Est. Geol. Oficiales de Colombia*, tomo III, pp. 31-137, Bogotá.
- HARRISON, J. V., 1929, The Magdalena Valley, Colombia, South America, *XV International Geological Congress, vol. II of the Compte Rendu, South Africa*, pp. 399-409.
- HILLS, E. S., 1963, Elements of Structural Geology, *John Wiley & Sons.*, New York, p. 483.
- HUBACH E., 1931, Exploración en la región de Apulo-San Antonio-Viotá, *Bol. Min. Petrol.*, v. 4, Nos. 25-27, pp. 41-60, Bogotá.
- HUBACH, E., 1945, La región Panga Panga, al noreste de Choachí, Departamento de Cundinamarca, *Comp. Est. Geol. Oficiales de Colombia*, tomo VI, pp. 27-38, Bogotá.
- HUBACH, E., 1950, El área petrolífera cretácea de la Cordillera Oriental en especial de Cundinamarca y Boyacá, *Comp. Est. Geol. Oficiales de Colombia*, tomo VIII, pp. 99-118, Bogotá.
- HUBACH, E., 1957, Los Andes Colombianos. Traducción parcial del Capítulo IV del libro Los Andes Caribes de H. Gerth con anotaciones personales del autor. *Serv. Geol. Nal. Biblioteca*, p. 129, Bogotá.
- HUBACH, E., 1957a, Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores, *Bol. Geol.*, v. 5, N° 2, pp. 93-112, Bogotá.
- JIMENO, A. y YEPES, J., 1963, Estudio de las reservas yesíferas de la región de los Santos-Batán-Villanueva, *Bol. Geol.*, v. 11, Nos. 1-3, pp. 261-286, Bogotá.
- JULIVERT, M., 1962, La estratigrafía de la formación Guadalupe y las estructuras por gravedad en la serranía de Chía (Sabana de Bogotá), *Boletín de Geología, Univ. Ind. de Santander*, N° 11, pp. 5-21, Bucaramanga.
- LLERAS, R., 1927, *Los Minerales de Colombia*, Imprenta Nacional, p. 150, Bogotá.
- LLERAS, R., 1929, Las Salinas de Colombia, *Bol. Min. Petrol.*, tomo I, N° 4, pp. 292-304, Bogotá.
- LLERAS, R., 1935, Regiones Mineras de Colombia, *Rev. Minería*, N° 32, pp. 2231-2238, Medellín.
- LEVORSEN, A. I., 1954, Geology of Petroleum, *Freeman and Co.*, San Francisco, p. 703.
- PARKER, T. J., and MCDOWELL, A. N., 1955, Model Studies of Salt-Dome Tectonics, *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, v. 39, N° 12, pp. 2384-2470.
- PETTERS, V., 1954, Typical foraminiferal horizons in the Lower Cretaceous of Colombia, S. A., *Contrib. Cushman Found.*, v. 5, part. 3, pp. 128-137, Washington.
- ROBLEDO, E., 1935, Informes de una excursión geológica a la Cordillera Oriental, *Rev. Minería*, N° 42, pp. 3057-3075, Medellín.
- ROYO Y GÓMEZ, J., 1945, Fósiles carboníferos e infracretácicos del Oriente de Cundinamarca, *Comp. Est. Geol. Oficiales de Colombia*, tomo VI, pp. 193-246, Bogotá.
- SCHEIBE, R., 1933, Informe sobre los yacimientos de carbón en las haciendas de San Jorge y Llano de Animas, en el Municipio de Zipaquirá, *Comp. Est. Geol. Oficiales de Colombia*, tomo I, pp. 15-38, Bogotá.
- TUCKER, P. M., 1950, Gravity Survey of the Zipaquirá Salt Mine, *Inf. Inédito bajo N° 3385 Bibliografía Inst. Geofísico de los Andes*, p. 12, Bogotá.
- UJUETA, G., 1961, Geología del Noreste de Bogotá, *Bol. Geol.*, v. 9, Nos. 1-3, pp. 23-46, Bogotá.
- ZAMARREÑO DE JULIVERT, I., 1963, Estudio petrográfico de las calizas de la formación Rosablanca de la región de La Mesa de los Santos, *Bol. de Geología, Univ. Ind. Sant.*, N° 15, pp. 5-34, Bucaramanga.