

REVISIÓN CIENTÍFICA

Origen de los afloramientos salinos del Subandino Sur de Bolivia

Hugo Salas Montaña

Ing. Geólogo y Docente de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UAGRM.
Especialista en Diseño Curricular

RESUMEN

El presente trabajo contiene los resultados de la investigación efectuada sobre el origen de los afloramientos salinos, ubicados en los alrededores de las localidades de Entre Ríos y San Simón (Departamento de Tarija – Bolivia). Este estudio es parte de una investigación efectuada por docentes y estudiantes de la Carrera de Ingeniería Petrolera (Hugo salas et al., 2014, inédito) donde se incluye el origen, su relación con la industria petrolera, su importancia alimenticia - medicinal y el impacto ambiental de la explotación de estos cuerpos salinos.

Los cuerpos salinos existentes en esta zona, son diapiros que han instruido las rocas suprayacentes rompiendo más de 5000 mts. de sedimentitas hasta llegar a la superficie. Inicialmente, corresponderían a depósitos de sal y otras evaporitas originadas en un ambiente restringido de trasarco, donde fueron cubiertas primero, por lavas del Basalto de Entre Ríos, debido al proceso distensivo de esa época (Ciclo Andino I). Luego, muchos millones de años después, debido a procesos compresivos (Ciclo Andino II), originados por la tectónica de placas (placa de Nazca), empieza a deformarse la corteza terrestre, produciendo pliegues y simultáneamente dando inicio al movimiento ascendente de la sal, que posteriormente

llega a la superficie debido a su baja densidad, su fluidez y las presiones de las rocas adyacentes, constituyendo parte importante de lo que actualmente es la Serranía de Salinas.

Para lograr este propósito, primeramente se revisó toda la bibliografía referida a la geología vinculada con los cuerpos salinos del lugar y el origen de estas sales a nivel general. Lo fundamental en esta investigación, fue el trabajo de campo realizado en dos oportunidades.

El primer viaje consistió en el reconocimiento del área, es decir, se visitaron las minas nominadas como San Simón 1, San Simón 2 y San Simón 3; ubicadas en flanco oriental volcado del sinclinal de Entre Ríos. También se efectuó la revisión geológica sobre la nueva carretera Entre Ríos – Tarija, correspondiente al flanco occidental del sinclinal de Entre Ríos.

El segundo viaje consistió en la realización del perfil geológico a través de la quebrada “El Chorro” adyacente a las minas San Simón 2 y San Simón 3. Así mismo se visitó la mina Yuquiporo, ubicada en el área de Potrerillos, al norte de la mina San Simón.

Tenemos que agradecer el gran apoyo que nos brindó el señor Decano de la Facultad de Ciencias Exactas y

Tecnología, Ingeniero Juan Carlos Paz Castro, quien estuvo plenamente identificado con el proyecto y la ejecución de esta investigación. Sin su apoyo habría sido difícil realizar los trabajos de campo.

Palabras claves: Depósitos de sal, Domos salinos, Diapiros, Trampas de Hidrocarburos, Anticlinal, Sinclinal, Fallas, Basalto Entre Ríos, Yuquiporo (Cerro de Sal), Proceso Distensivo, Ciclo Andino I, Procesos Compresivos, Ciclo Andino II.

INTRODUCCIÓN

El estudio efectuado a los afloramientos salinos ubicados en el Subandino Sur de Bolivia se debió a la falta de información referente al origen, morfología y estructuras asociadas, relacionadas con estos cuerpos salinos.

Conocimientos que seguramente servirán como punto de partida para posteriores investigaciones enfocadas principalmente con los hidrocarburos.

Durante los dos viajes de reconocimiento estratigráfico-estructural (Septiembre 2013 y Abril 2014) con mapeo geológico en la zona de las minas de sal y el entorno de la ciudad de Entre Ríos, se obtuvo información importante que ayuda a entender el origen de estos cuerpos salinos y de esta manera relacionarlos con modelos existentes.

Los cuerpos salinos estudiados están ubicados en el Subandino Sur de Bolivia en la provincia O'Connor del Departamento de Tarija. La ubicación de los afloramientos estudiados y sus coordenadas se resumen a continuación:

ZONA	UBICACIÓN	PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL (mm)	TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL (°C)	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
Santa Cruz de la Sierra		1290	21	17° 47' 21" S, 63° 11' 51" W Decimal -17.789167°, -63.1975°
Villamontes	Sub Andino Sur	1561.08	30.1	21° 15' 53" S, 63° 27' 31" W Decimal 21.264722°, -63.458611°
Entre Ríos	Sub Andino Sur	1300	20,9	21° 31' 33" S, 64° 10' 19" W Decimal -21.525833°, -64.171944°

Ubicación de minas dentro del área de estudio

ENTRE RÍOS - PROVINCIA O'CONNOR - TARIJA		
COORDENADAS	LATITUD	LONGITUD
SAN SIMÓN 1	21° 23' 40.11 °S	64° 7' 54.57 °O
SAN SIMÓN 2	21° 22' 53.17 °S	64° 8' 1.50 °O
SAN SIMÓN 3	21° 22' 47.40 °S	64° 8' 12.43 °O

PLANOS DE UBICACIÓN



Vías de acceso

Se puede llegar hasta la ciudad de Villa Montes por carretera pavimentada y a través del ferrocarril Santa Cruz – Argentina, cubriendo una distancia de 455 km, y de allí hasta la localidad de Entre Ríos mediante camino de tierra con una distancia de 142 km. De allí mediante caminos de tierra es posible llegar hasta la mina San Simón hacia el norte de la localidad de Entre Ríos (22,9 km); la mina Yuquiporo en la zona de Potrerillos se ubica a 7km de la mina de San Simón.

OBJETIVO

Establecer un modelo geológico sobre el origen de los cuerpos salinos que afloran en el Subandino Sur de Bolivia, Área de Entre Ríos, en base a una interpretación Estratigráfica – Estructural.

ANTECEDENTES

Se han estudiado algunos trabajos relacionados con los cuerpos salinos. A continuación se resume algunos de ellos.

- Según Reyes (1978), “La Formación Ipaguazú se encuentra mayormente desarrollada en Bolivia, ya que también penetra a territorio argentino. La cuenca de esta Formación es bastante restringida dentro de la cuenca triásica, ubicándose la parte más profunda cerca de la localidad de Entre Ríos (Bolivia). Allí tiene su mayor desarrollo y está constituida por margas y lutitas rojas y algunas margas arenosas, a las que se superponen potentes paquetes de anhidrita pura que llegan a alcanzar hasta 140 m de potencia con raras intercalaciones de margas arenosas yesíferas de color rojo chocolate. En ciertas áreas, de la parte más profunda de la cuenca (San Simón), siguen sobre la anhidrita hasta 26 m de sal de roca. Sobre esta unidad se presentan areniscas pardas rojizas hasta amarillentas muy calcáreas sobre las que se apoya la colada de “Basalto de Entre Ríos”.
- Según Rivas y Ahlfeld (1998), “En el Triásico del sinclinal de Entre Ríos (Tarija), hay enormes cantidades de sal de roca, principalmente en la mina San Simón, donde la sal por diapirismo constituye una serranía entera. También en Ingre, en río Acero al Este de Padilla. La sal de estos yacimientos es de color rosado rojo, gris o incoloro”.
- Rivas (2002), al referirse a las sales de la zona subandina sur de Bolivia, indica que al final del periodo Pérmico, se depositaron margas con evaporitas (Ipaguazú), estas margas tendrían su mayor desarrollo principalmente en el amplio sinclinal de Entre Ríos, de rumbo N10°E, con 150 km de longitud, desde la confluencia de los ríos Salinas y Tarija al sur, hasta Ingre en el norte. Sobre las margas se formaron evaporitas y salares aislados, en lugares de mayor depresión, que dieron lugar a los yacimientos de sal de roca de Salinas, Santa Bárbara, San Simón, Potrerillos, Yuquiporo y Yaquirenda. En Salinas se

explota un lente sub vertical de 1.50 m de espesor en las margas coloradas. En Santa Bárbara se explota subterráneamente un diapiro sub-horizontal de 25 m de ancho de sal rosada o blanca de grano grueso. Según este autor, desde la quebrada de San Simón hasta Yuquiporito, la cadena salífera se extiende 10 km de largo, en dirección norte, conteniendo inagotables cantidades de sal. La explotación se limita al extremo sur de la zona. El macizo de sal de roca, explotado por tajos abiertos, empieza a los 3 a 5 m debajo de la superficie. Su techo es casi plano. La sal compacta tiene 70 m de espesor. Es un diapiro, fuertemente plegado compuesto por sal de color rojo, blanco e incoloro de grano medio a grueso.

- Yubero de Mateo, M. Teresa (2004), en el capítulo 2 de su trabajo ANÁLISIS DEL PROCESO DE COMPACTACIÓN EN UNA ESCOMBRERA DE SAL, destaca sobre el origen, geometría y deformación de los materiales salinos ubicados en la comarca del Bages (España) y explica los procesos deformacionales más característicos que actúan sobre ellos, en base a información bibliográfica actualizada.
- Téllez (1910) en su libro GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO Y DEL GAS NATURAL Y LA EXPLORACIÓN PETROLERA EN BOLIVIA, menciona la existencia de varios ejemplos de trampas de diairos salinos como los de JAYUMA y del anticlinal de VILQUE.

En el siguiente trabajo, dos autores mexicanos hacen referencia a diferentes conceptos y actividades relacionadas a los Domos y Diairos de sal.

Estado de la Investigación sobre los Domos y Diairos de Sal de la Cuenca Salina del Istmo.

Javier Arellano Gil, arellano@servidor.unam.mx

Sergio Yussim Guarneros, yussim@servidor.unam.mx

- “A partir de este trabajo y tomando en consideración trabajos geológicos previos sobre el Golfo de México, se interpreta que durante el Jurásico Medio se formó

una extensa cuenca oceánica donde se depositó una gruesa secuencia de más de 1500 m de evaporitas (sal, yeso y anhidrita), producto de una trasgresión generalizada que originó el ancestral Golfo de México. Al incrementarse el hundimiento del fondo oceánico cambiaron las condiciones ambientales, por lo que sobre las evaporitas se acumuló una gruesa secuencia silicoclástica de mayor densidad (areniscas y lutitas), que posteriormente en el Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano, fue afectada por la tectónica salina (intrusión), con lo que se formaron importantes domos, diairos y fallas que forman estructuras geológicas de gran interés económico petrolero, minero y geohidrológico. La exploración y explotación de los recursos del subsuelo, sobre todo hidrocarburos y azufre, en los domos de sal y su entorno, han afectado negativamente al medio ambiente, sobre todo en las últimas cuatro décadas.

Con relación a la geología estructural se reconoció un sistema de pliegues dómicos, con sus ejes longitudinales orientados al NE; los pliegues se exponen como una banda de anticlinales, que corresponden de oeste a este con los domos de Sayula, Jaltipan y Chinameca, y ligeramente al sur de este último el de Cosoleacaque; bordeando a los anticlinales se identifican también bandas de sinclinales representados por bajos en la topografía. Por lo general los pliegues llegan a mostrar en su núcleo a la Formación Depósito, del Oligoceno Superior; no obstante, en el núcleo del Domo de Chinameca aflora una secuencia calcárea que se corresponde con las rocas de la Formación Chinameca, de edad Jurásico Superior. El origen de los pliegues está relacionado con el empuje vertical de la sal sobre la cubierta sedimentaria, por lo que al no ser homogéneo, ni uniforme, las estructuras resultantes tampoco lo son. Así, el desarrollo de anticlinales está directamente relacionado con las cimas de los cuerpos de sal, mientras que los sinclinales corresponden con los límites externos de los domos, propiamente con la superficie del cuerpo de sal, como es el caso del sinclinal que se encuentra entre Jaltipan y Petapa. Tomando en consideración el origen y dinámica de los domos salinos, se formó en todos los casos durante el movimiento de la sal un sistema de fracturas y fallas en las formaciones

de cubierta y en la secuencia intrusionada. Otro sistema de fallas más reciente, corresponde con las fallas de desplazamiento lateral que afectan a toda la Cuenca Salina y presentan una dirección general NW40°SE, son verticales y fueron originadas por esfuerzos de cizalla.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio de esta temática tiene un alcance exploratorio enmarcado en un diseño no experimental de tipo transversal descriptivo, en un contexto inicialmente de campo para luego continuar con el análisis de las sales en laboratorio. De esta manera en base a la descripción desarrollada, se pudo interpretar el origen de estos cuerpos salinos.

Las muestras de sal corresponden a muestras no probabilísticas, puesto que se seleccionaron los lugares de toma de las mismas para ver su variación de las características físico – químicas, a través de análisis de laboratorio.

I ESTRATIGRAFÍA RELACIONADA CON EL ÁREA DE ESTUDIO

1.1 Ciclo Subandino (Suárez Soruco, 2000)

Los sedimentos marinos y transicionales-continentales de este ciclo han sido reunidos en tres grupos: Macharetí, Mandiyutí y Cuevo. Temporalmente se inicia en el Namuriano (Tupambi) y concluye en el Jurásico inferior (San Diego). El Basalto de Entre Ríos, que constituye la base del Grupo Tacurú y el inicio del Ciclo Andino, marca el límite superior del ciclo.

El complejo grupo turbidítico basal Macharetí, depositado en una cuenca de antepaís, está conformado por un enrejado de canales submarinos que se cortan y entrelazan entre sí, siguiendo una pendiente general SE-NW, rellenando la cuenca subandina con detritos procedentes tanto de la cordillera hercínica occidental, como del Cratón de Guaporé. La secuencia sedimentaria está formada por eventos cíclicos de conglomerado-arena y arcilla- diamictita, que de base a tope fueron

diferenciadas como formaciones Tupambi, Itacuamí, Tarija, Chorro y Taiguati.

Durante el depósito del grupo Mandiyutí, constituido por las formaciones Escarpment y San Telmo, las condiciones ambientales se mantienen. Grandes canales submarinos atraviesan la cuenca subandina, manteniendo los antiguos canales del Macharetí o abriendo nuevos cursos con la energía de nuevos y espesos flujos detríticos.

Desde el Pérmico medio a superior y hasta el Jurásico temprano, se deposita una secuencia que incluye rocas clásticas, carbonáticas y evaporíticas, el Grupo Cuevo (Schlatter & Nederlof, 1966). Este conjunto agrupa a las formaciones Cangapi en la base, Vitiacua en la parte media y culmina con las formaciones Ipaguazu y San Diego.

Con una marcada discontinuidad erosiva y sobre diferentes unidades del Carbonífero, se asienta la Formación Cangapi (Mayes, 1925). Esencialmente arenosa, es característica de un ambiente eólico y fluvial, con cierta influencia costera, fue depositada en una cuenca de trasarco

A partir del Pérmico superior cambiaron en el Subandino sur las condiciones del ambiente de depósito, la cuenca de trasarco derivó hacia un régimen marino de plataforma somera y transicional deltaico a costero. Sobre las areniscas de la Formación Cangapi, y en aparente continuidad, se depositaron las rocas carbonáticas de La Formación Vitiacua (Mather, 1922). La unidad está constituida principalmente por dolomías y calizas silicificadas, con nódulos de pedernal.

Sobre la anterior unidad se sobrepone la Formación Ipaguazu (Padula & Reyes, 1958), que constituye un depósito continental, fluvial y lacustre, de lutitas y margas con intercalaciones de areniscas, yeso y halita. López-Pugliesi (com. pers.) destaca la presencia en la base de niveles conglomerádicos con clastos de calizas y yesos de la formación anterior, indicando con ello una relación discordante con las calizas Vitiacua. La Formación Ipaguazu se depositó en un graben estrecho de dirección NNW (rift de trasarco).

Con la Formación San Diego (López-Pugliesi, 1968) concluye el Ciclo Subandino. Esta unidad, conocida también como “Areniscas Té con Leche”, no tiene una distribución regional y está restringida a pocas localidades del Subandino sur, especialmente en el área de influencia del camino Tarija-Villamontes. Su relativa presencia es debida a la acción erosiva posterior. Las formaciones Ipaguazu y San Diego se depositaron durante el Jurásico temprano.

1.2 Ciclo Andino (Suárez Soruco, 2000)

El Ciclo Andino se inicia en la parte central de la Cordillera Oriental y el Subandino Sur, con un régimen distensivo que produjo la efusión de los basaltos de Tarabuco y Entre Ríos (ca 171 Ma).

Discordante sobre diferentes unidades del Grupo Cuevo, se asentaron numerosos flujos del Basalto de Entre Ríos (Padula & Reyes, 1958), que representa un excelente nivel guía característico en la estratigrafía del Subandino meridional. Este basalto, como sus equivalentes de la Cordillera Oriental, corresponde a una actividad volcánica en una cuenca de rift de trasarco.

La información referida a este punto, fue tomada de Hugo Salas et al. (2014).

II ESTRATIGRAFÍA Y GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL ÁREA DE ENTRE RÍOS

La información referida a este punto, fue tomada de Hugo Salas et al. (2014).

El flanco Oriental del sinclinal de Entre Ríos, donde están inmersos los depósitos salinos (minas San Simón, Saladito, etc.), presenta un repliegue (Ipaguazú sobre Basalto Entre Ríos), aspecto verificado en el camino nacional Entre Ríos – Serere - Palos Blancos.

2.1 ESTRATIGRAFÍA

2.1.1. Formación Cangapi

Conformada por estratos potentes de areniscas amarillas predominantes, grises y rojizas en menor proporción, contienen granos medios a finos bien seleccionados con buena redondez, presentan estratificación entrecruzada diagonal indicando paleodunas para las areniscas amarillas con matriz limosa, mientras que las areniscas rojizas muestran canales sobrepuestos con secuencias granulométricas positivas, signo de deposición fluvial. En definitiva las sedimentitas pertenecientes a la Formación Cangapi se habrían depositado en un ambiente sedimentario mixto fluvial-eólico (foto 2.1)

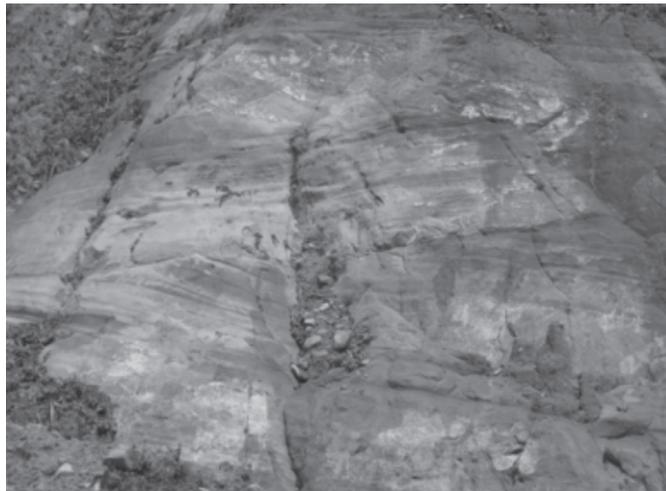


Foto 2.1 - Formación Cangapi

2.1.2. Formación Vitiacua

Presenta alternancia paralela de estratos centimétricos de calizas silicificadas multicolores: marrón clara, que están alternando con margas y pelitas marrón rojizas, gris verdosas, gris medio y anaranjadas, esporádicamente se tienen estratos de areniscas amarillentas de grano fino con buena selección con cemento y matriz calcáreos; el conjunto muestra estratificación delgada paralela. Por el abundante contenido de carbonato de calcio que contiene, la Formación Vitiacua, se habría depositado en un ambiente restringido, probablemente

una albufera o en una plataforma carbonatada, pues mayoritariamente se trata de rocas sedimentarias de origen químico (Foto 2.2).



Foto 2.2 - Formación Viticua

2.1.3 Formación Ipaguazú

En la sección del nuevo camino Entre Ríos – Tarija, el Ipaguazu consta de estratos gruesos de areniscas marrón amarillentas de grano medio predominante que en sectores grada a grano fino, con buena selección, están alternando con areniscas marrón rojizas de grano muy fino bien seleccionadas que en sectores presentan clastos intraformacionales de arcilla (clay galls) y clastos dispersos de anhidrita.

A lo largo del camino nacional Villa Montes - Tarija y desde Palos Blancos hasta cerca de Entre Ríos, regionalmente la formación Ipaguazu está constituida por limolitas arenosas de color marrón claro hasta anaranjado, con cristales diminutos brillosos de sulfato de calcio, que aparentan ser mica. En la serranía San Simón se visitaron tres minas donde explotan sal de la Formación Ipaguazú.

En la Mina 1 arcilitas y limolitas arenosas están relacionadas con estratos deformados, de hasta diez metros de espesor, principalmente de sal rosada aunque en menor proporción está presente también la sal blanca y gris (Foto 2.3).



Foto 2.3 – Formación Ipaguazú - Mina 1

En las minas 2 y 3, adyacentes a la quebrada El Chorro, la Formación Ipaguazu presenta limolitas arenosas relacionadas con bochones principalmente de sal gris y blanca, transparentes, bien cristalizadas (cristales cubicos) y con estructura de disolución propia de la sal; también están presentes los bochones de yeso y anhidrita en menor proporción (Foto 2.4).



Foto 2.4 - Bochones de sal en Ipaguazú

Estos bochones evaporíticos hacen ver a las sedimentitas del Ipaguazu deformadas por diapirismo.

A lo largo de la quebrada El Chorro en la Formación Ipaguazu se identificaron slumps constituidos por resedimentos de pelitas y areniscas medianas a finas y conglomerados finos con clastos de chert.

También en esta quebrada se evidenció la presencia de un afloramiento de anhidrita de 30 mt de espesor (Foto 2.5).



Foto 2.5. - Anhidrita en la Formación Ipaguazú

2.1.4. Formación Basalto Entre Ríos

Las rocas que componen el Basalto Entre Ríos, en esta zona, corresponden a lavas básicas que han fluido sobre los sedimentos de la Formación Ipaguazu y posteriormente cubierto por los sedimentos de la Formación Tapehua (Foto 2.6).

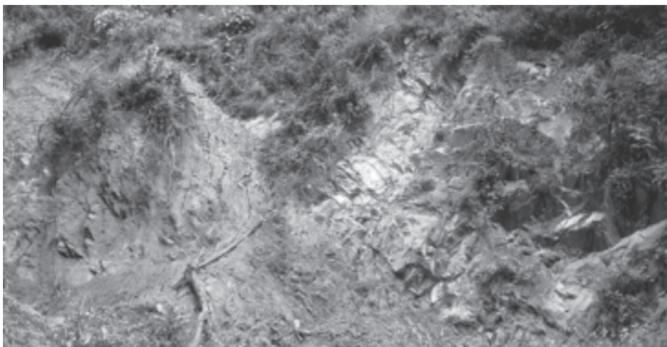


Foto 2.6. - Basalto Entre Ríos-Ipaguazú

En la sección camino Entre Ríos-Tarija, tiene un espesor entre 9-12 m, es de color gris oscuro con tono verdoso en fractura fresca, donde se puede apreciar cristales muy pequeños de hornblenda y olivino envueltos en material vítreo, además de los alveolos productos del escape de gases durante el rápido enfriamiento.

Es necesario indicar que el Basalto Entre Ríos contiene las únicas rocas ígneas extrusivas presentes en la columna estratigráfica del Subandino Sur.

2.1.5. Formación Tapehua

Consta de estratos gruesos de 9-12 m de espesor de areniscas de grano fino arcillosas de color marrón, predominantes, están alternando con limolitas rojizas subordinadas. En la sección camino nuevo Entre Ríos – Tarija se han identificado varios estratos conteniendo espectaculares grietas de desecación (Foto 2.7).



Foto 2.7 - Grietas de desecación - Tapehua

Son comunes también en este lugar, ondulitas de corriente que indican la dirección de paleo corrientes con azimut de 175 grados, por consiguiente el ambiente de deposición para la formación Tapehua es fluvial. En la quebrada El Chorro la Formación Tapehua tiende a formar caídas de agua de hasta 10 mt de altura propias de un cauce joven.

2.2. Geología Estructural

Se ha evidenciado estratigráficamente que el flanco oriental de la Serranía Salinas, donde están emplazadas las minas de Sal (San Simón, Saladito y otras) está volcado, pues el Basalto Entre Ríos (B.E.R.) está anormalmente debajo de la Formación Ipaguazu y por debajo de B.E.R. anormalmente están las sedimentitas arenosas de la formación Tapequa. (Fig. 2.8).

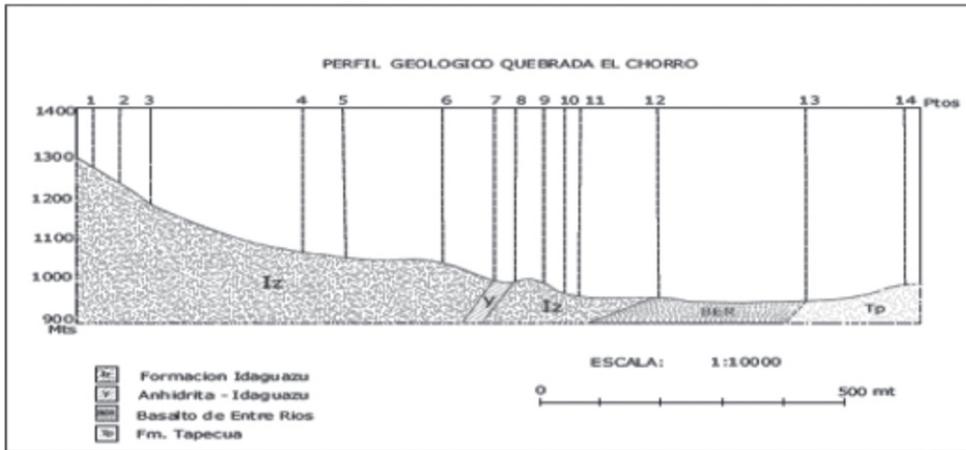


Fig. 2.8 - Perfil Geológico Qda. El Chorro

CUADRO 2.1. Datos sobre el perfil geológico de la quebrada El Chorro.

PTO	FORMACIÓN	DB/Ángulo Buz	ALTURA (MSNM)	DATOS ADICIONALES
1	Ipaguazu	202/43	1246	
2	Ipaguazu	256/49	1239	
3	Confluencia-Quebrada		1172	
4	Perfil Río		1134	
5	Manantial		1125	32,7 LTS/MIN
6	Ipaguazu	236/66		
7	Banco Anhidrita	264/66	1123	74,16 MTS DE ESPESOR
8	Base Anhidrita		1095	PH=6, AUMENTO LA SALINIDAD
9	Ipaguazu - Limolina Marrones		1080	MUESTRA SLUMP DE LA FORMACIÓN
10	Ipaguazu - Repliegue	165/32	1070	EVIDENCIANDO UN REPLIEGUE
11	Farallón - Punto En Chorro	155/24	1077	ALTURA APROX. 60 MTS
12	Ipaguazu - B.E.R.	232/17	1065	LOS ESTRATOS ESTAN VOLCADOS
13	B.E.R. - Tapequa			
14	Tapequa	230/60		

Con los datos estratigráficos y estructurales, se ha interpretado una anomalía estructural en el Subandino Sur justo en la zona de transición (interandino) entre las cadenas montañosas del Subandino Sur y el Andino,

anomalía estructural con fallamiento normal en medio de una zona de plegamiento y corrimiento con predominancia de fallas inversas que forman pliegues con vergencia predominante hacia el Este, anomalía que indica vestigio de fenómenos de diapirismo.

III. CONTEXTO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y ORIGEN DE LOS AFLORAMIENTOS SALINOS DEL SUBANDINO SUR DE BOLIVIA

De acuerdo a las características estratigráficas relacionadas con los cuerpos salinos existentes en el subandino sur de Bolivia, los sedimentos marinos y transicionales-continentales del Ciclo Subandino han sido reunidos en tres grupos: Macharetí, Mandiyutí y Cuevo. Temporalmente se inicia en el Namuriano (Tupambi) y concluye en el Jurásico inferior (San Diego). El Basalto de

Entre Ríos, constituye el tope del Ciclo Subandino y el inicio del Ciclo Andino.

Los sedimentos turbidíticos de los Grupo Macharetí y Mandiyutí se depositaron siguiendo las mismas características ambientales, es decir, rellenando canales submarinos de la cuenca subandina de antepaís, con materiales provenientes de la Cordillera Hercínica, en el occidente, como del Cratón de Guaporé en el oriente.

El Grupo Cuevo integrado por las formaciones Cangapi en la base, Viatiacua en la parte media y las formaciones Ipaguazu y San Diego en el tope, abarca un tiempo geológico desde el Pérmico medio a superior hasta el Jurásico temprano y cuya litología incluye una secuencia de rocas clásticas, carbonáticas y evaporíticas.

La historia geológica de la sedimentación evaporítica de la formación Ipaguazu podemos resumirla de la siguiente manera:

a) A partir del Pérmico superior cambiaron en el Subandino Sur las condiciones del ambiente de depósito, la cuenca de trasarco derivó hacia un régimen marino de plataforma somera y transicional deltaico a costero. Sobre las areniscas de la Formación Cangapi, y en aparente continuidad, se depositaron las rocas carbonáticas de La Formación Vitiacua (Fig. 3.1).

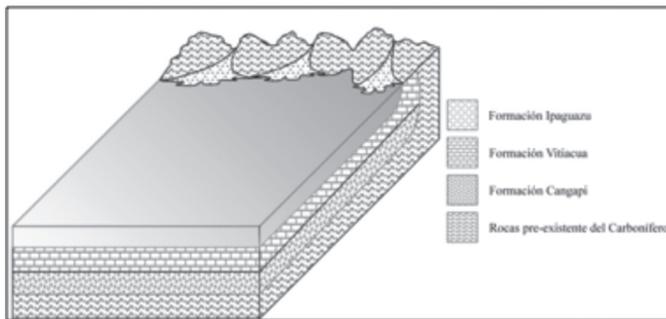


Fig. 3.1

b) Sobre la anterior unidad y en forma discordante (presencia de conglomerado con clastos de caliza y yeso de Vitiacua) la Formación Ipaguazu se deposita en un ambiente continental, fluvial y lacustre correspondiente a una estrecha cuenca de trasarco (Figs. 3.2).

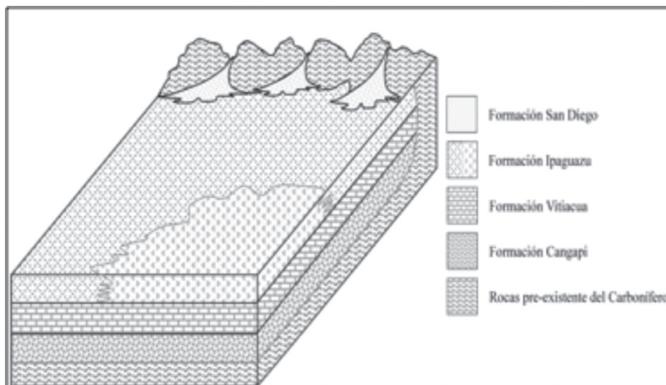


Fig. 3.2

La parte más profunda, de esta cuenca se ubica cerca de la localidad de Entre Ríos, donde inicialmente los ríos depositaron margas y lutitas rojas y margas arenosas.

c) Posteriormente debido a que se trataba de una cuenca arealmente restringida, las aguas se fueron evaporando y el ambiente se saturó de iones que finalmente precipitaron originando potentes paquetes de anhidrita con algunas intercalaciones de margas arenosas yesíferas. La secuencia continúa, con la sedimentación de sal de roca en ciertas áreas de la parte más profunda de la cuenca (Salinas, Santa Bárbara, San Simón, Potrerillos, Yuquiporo y Yaquirenda), culminando con la depositación de la Formación San Diego compuesta de areniscas pardo rojizas hasta amarillentas muy calcáreas (Fig. 3.3).

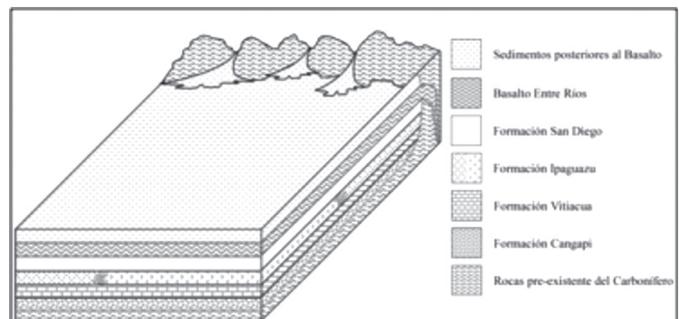


Fig. 3.3

d) El Basalto de Entre Ríos asentado sobre diferentes unidades del grupo cuevo, marca la conclusión de los acontecimientos del Ciclo Subandino y el inicio del Ciclo Andino con un régimen distensivo en el Subandino Sur (Fig. 3.3).

e) Posterior al proceso magmático distensivo del ciclo andino I, se inicia en la cuenca subandina meridional un régimen continental, rellenando la cuenca una espesa secuencia de arenas fluviales, lacustres y eólicas. La cuenca de antepaís fue reemplazada por un rift de trasarco donde se depositó el Grupo Tacurú.

f) En forma discordante sobre el Grupo Tacurú se deposita el Grupo Chaco, en una fase compresiva del Ciclo Andino II donde hay influencia de la colisión de la Placa de Nazca con la Placa Sudamericana que produjo la deformación del Grupo Chaco y los sedimentos precedentes, determinando la

configuración morfológica actual del Subandino Sur de Bolivia (Fig. 3.4).

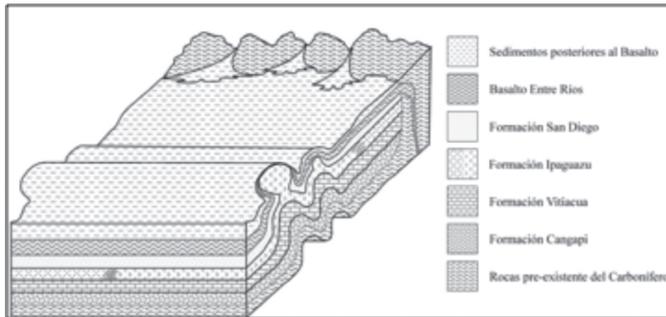


Fig. 3.4

g) Simultáneamente a la formación de los anticlinales, en sus núcleos se produjo la intrusión diapírica de las evaporitas subyacentes. Los cuerpos salinos que originariamente se encontraban a gran profundidad, actualmente afloran a consecuencia de este proceso. Las evaporitas forman diapiros, relacionados con pliegues, que se han abierto paso a través de las capas suprayacentes por su comportamiento plástico, su menor densidad en relación a las rocas que lo rodean y por el peso de los materiales superiores (Fig. 3.4).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La formación Ipaguazu de edad Triásica (Reyes 1978) se depositó en forma discordante sobre la Formación Vitiacua en un ambiente continental, fluvial y lacustre correspondiente a una estrecha cuenca de trasarco. Posteriormente las aguas de esta cuenca se fueron evaporando y el ambiente se saturó de iones que finalmente precipitaron originando potentes paquetes de anhidrita con algunas intercalaciones de margas arenosas yesíferas y la precipitación de sal de roca en ciertas áreas de la parte más profunda de la cuenca.
2. La fase compresiva del Ciclo Andino II, produce la orogenia que originó el plegamiento de las rocas

existentes con las que estaban relacionadas las evaporitas de la Formación Ipaguazu. De esa manera siguiendo las zonas de debilidad de los anticlinales (fallas normales y núcleos), empieza el ascenso de las evaporitas favorecido por la baja densidad, plasticidad, fluidez y la presión proveniente de las rocas adyacentes.

3. El resultado final del ascenso de las evaporitas, es la existencia de diapiros que han intruido las rocas suprayacentes hasta llegar a la superficie donde actualmente se los puede observar.
4. El flanco oriental de la Serranía de Salinas, está volcado como se muestra en la sección estratigráfica-estructural del valle que baja desde las minas de sal de San Simón. Esto se puede verificar en el camino nacional en el tramo Entre Ríos hacia Sereré y Palos blancos (el B.E.R. está infrayaciendo a la formación Ipaguazú).
5. Con los datos estratigráficos – estructurales aportados podríamos inferir que en la zona tenemos presencia de estructuras en flor, situación que se podrá definir con un mapeo geológico detallado en el flanco occidental de la Serranía Salinas.
6. El conocido hecho de la presencia de un lineamiento (serranía) de minas de sal que están en forma de bochones envueltos en limolitas y limolitas arenosas pertenecientes a la formación Ipaguazu, confirma el intenso diapirismo ocurrido en la zona de Entre Ríos y su entorno.
7. En la sección del camino nuevo desde Entre Ríos a Tarija, se evidencian y mapean pequeñas fallas, todas de carácter normal con lo cual podríamos postular que en la zona de Entre Ríos y el entorno de la Serranía de Salinas predominan las fallas normales que ampliando la observación a nivel de pliegues y fallas mayores y/o escala de los cordones montañosos, se podría interpretar que todo el gran y amplio Valle de Entre Ríos, fue creado como producto del accionar de fallas de carácter normal, verlo como

un gran graven, constituyendo esta situación en una notoria anomalía estructural inmersa en medio de la falla plegada y corrida del Subandino Sur en la cual predominan los cabalgamientos por grandes fallas de tipo inverso.

RECOMENDACIONES

Con el objetivo de profundizar los conocimientos de estos cuerpos salinos, se recomienda efectuar estudios geológicos en detalle de la zona, apoyados por estudios geofísicos (gravimetría, magnetometría) para tener conocimientos más reales de las características cualitativa y cuantitativas de estas sales, dada la importancia que tienen desde el punto de vista petrolero, industrial y medicinal.

BIBLIOGRAFÍA

- ARELLANO G. Y YUSSIM G. Estado de la Investigación sobre los Domos y Diapiros de Sal de la Cuenca Salina del Istmo; México.
- Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Facultad de Geología. Universidad de Barcelona. Barcelona-08071- España.
- Los Diapiros y Domos Salinos
<http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Diapiro&oldid=55781656>.
- Mecánica de la formación de los domos y diapiros salinos
<http://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/yacimientosGAB>
- PADULA L. E. Y REYES F. C.; 1958. Contribución al Léxico Estratigráfico de las Sierras Subandinas, República de Bolivia-Boletín Técnico de YPF, 1(1): 9-70, 1958; La Paz-Bolivia.
- RIVAS V. Y AHLFELD F., 1998. Los minerales de Bolivia y sus Parajes; Santa Cruz de la Sierra, Bolivia; tomo I.
- SUÁREZ-SORUCO, R., 2000. Compendio de Geología de Bolivia. Revista Técnica Y.P.F.B., vol. 18.
- TÉLLEZ S. J. A.; 2010. Geología del Petróleo y del Gas Natural y la Exploración de Hidrocarburos en Bolivia; Editorial MARCOTZ La Paz - Bolivia
- YUBERO DE MATEO, M.; 2004. Análisis del Proceso de Compactación en una Escombrera; Universitat Politècnica de Catalunya; España.