

ACTUALIZACIÓN EN EL LÍMITE ENTRE SIERRAS PAMPEANAS OCCIDENTALES Y PRECORDILLERA ORIENTAL, EN LA PROVINCIA DE SAN JUAN

Juvenal J. ZAMBRANO¹ y Graciela M. SUVIRE^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan e Instituto de Geología. Gabinete de Geología ambiental, Avenida Ignacio de la Roza esquina Meglioli. J 5400 San Juan. E-mail: graciela_suvires@yahoo.com.ar

² CONICET

RESUMEN

En este trabajo se analiza el sistema de fallamiento existente en la depresión tectónica de Tulum, ubicada en la parte este y sur de la provincia de San Juan, en el oeste árido de Argentina. El límite entre los dos sistemas morfoestructurales, uno la Precordillera Oriental y el otro el Sistema Pampeano Occidental ha sido establecido en trabajos anteriores, a lo largo del sistema de fallamiento de Tulum, que cruza a la depresión diagonalmente en dirección NNE. No obstante la disponibilidad de nueva información de sondeos eléctricos verticales y de algunas perforaciones para búsqueda de agua subterránea, efectuados al sur y al oeste del cerro Valdivia, permite señalar que hacia el suroeste de este núcleo de basamento metamórfico limitado en ambos flancos por fallas, el límite Sistema Pampeano y Precordillera se aproxima al cordón montañoso de sierra Chica de Zonda, continuando al sur en el cerro Salinas. De allí al SSO existen, en superficie, indicaciones de que el sistema de fallamiento continúa hasta el Montecito, donde el sistema pampeano de fallas queda interrumpido por la gran falla con actividad cuaternaria que sirve de límite oriental a la sierra de Las Peñas. El contacto entre ambos sistemas forma el extremo sur de la Precordillera Oriental en subsuelo. Este conocimiento estructural permite no solo ser aplicado a la prospección de agua sino también a la de hidrocarburos en la región.

Palabras clave: *Tectónica, Geología del subsuelo, Cuaternario, Agua subterránea, Hidrocarburos.*

ABSTRACT: *Updating the boundary between the western Pampean ranges and the eastern Precordillera, province of San Juan.*

An analysis is made of the fault system in the Tulum tectonic depression, situated in the southeastern part of the province of San Juan, which is in the arid western part of Argentina. The boundary of two morphostructural systems occurs in this valley: the eastern Andean Precordillera and the western Pampean ranges. In former studies it was found that this boundary runs along a fault system that crosses the Tulum depression with a NNE trends. The availability of new information from electric resistivity tests and wells drilled for ground water show that the metamorphic basement exposed in the Valdivia low, isolated mountain continues to the SSW thereof in the subsurface, as a structural high limited by faults on both flanks. Further south, the basement crops out again in the Salinas hill and continues in the shallow subsurface, as suggested by geomorphic features and geophysic and well data, along the same trend, as far as the Montecito. In this way, the Tulum fault system comes nearer the Precordillera and, at the Montecito hill, ends against the Las Peñas range, which is in the central Precordillera and is limited to the east by a fault of regional importance with Quaternary activity. The contact between the Pampean and Precordillera systems was found, then, to continue further south than shown in former studies and represents the surface and subsurface boundary of the Eastern Precordillera along all its length. This new structural information may be useful for exploring ground water and hydrocarbons.

Keywords: *Tectonics, Subsurface geology, Quaternary, Ground water, Hydrocarbons.*

INTRODUCCIÓN

El valle de Tulum es una depresión tectónica, ubicada en la provincia de San Juan, que se extiende entre los 31°12' y los 32°08' de latitud sur y entre los 67°55' y los 68°50' de longitud oeste. Ocupa una superficie aproximada de 4.000 km².

El límite norte del "valle" está determinado por el alto de Mogna, zona estructuralmente elevada orientada de este a oeste, que separa los valles de Tulum y del Bermejo (Zambrano y Suvires 2005) (Fig. 1). El límite oriental es la sierra Pie de Palo y el occidental está formado por las sierras de Villicum, Chica de Zonda y

Pedral, pertenecientes a la Precordillera Oriental.

Al sur, el valle de Tulum no tiene un límite definido por un cambio geológico, sino que pasa transicionalmente a la llanura oriental de Mendoza. Convencionalmente se coloca el límite donde el río San Juan desvía su curso hacia el este (Fig. 1).

El Tulum corresponde a un sistema geomorfológico abierto, con drenaje exorreico, que actualmente alcanza el nivel de base constituido por un conjunto de lagunas denominadas del Rosario, Hechuna, Guanacache y La Balsita, ubicadas en el límite sur de la provincia de San Juan y norte de la provincia de Mendoza. Debido al incremento en el uso intensivo del agua del río San Juan los caudales de este río no alcanzan a constituir el antiguo sistema del Desaguadero, el que desembocaba en el océano Atlántico.

Esta depresión está rellena con sedimentos fluviales cuaternarios de hasta varios centenares de metros de potencia, que se apoyan sobre un zócalo de basamento precámbrico, paleozoico y/o terciario.

Reseña de los trabajos anteriores

Al estar el valle de Tulum cubierto por sedimentos aluviales, pedemontanos y eólicos cuaternarios, el conocimiento de su estructura interna proviene mayoritariamente de datos de subsuelo (perforaciones, sondeos geoelectricos, pruebas sísmicas de refracción y, del cerro Salinas al sur, líneas sísmicas de reflexión) y de aislados afloramientos de rocas precuaternarias en el interior del valle: cerrillos de Barboza, Valdivia y Salinas (Figs. 1 y 2). La utilización de la información geológica de subsuelo entonces existente fue realizada por primera vez por Rocca (1970) autor que interpretó la existencia de una falla que cruzaba el valle de NNE a SSO, a la que denominó falla de Tulum. Esto permitió una subdivisión del valle en dos subcuencas de agua subterránea denominadas por dicho autor como subcuencas de Tulum superior y de Tulum inferior. Baldis *et al.* (1990) expresaron que la depresión tectónica existente entre la sierra Pie de Palo y la Precordillera Oriental, está caracterizada por la presencia de un basamento de tipo pampeano, con grandes bloques fallados y basculados, sobre los que yace una espesa secuencia de sedimentos paleozoicos, terciarios y cuaternarios. Por su parte, Zambrano y Suvires (1987) mediante estudios

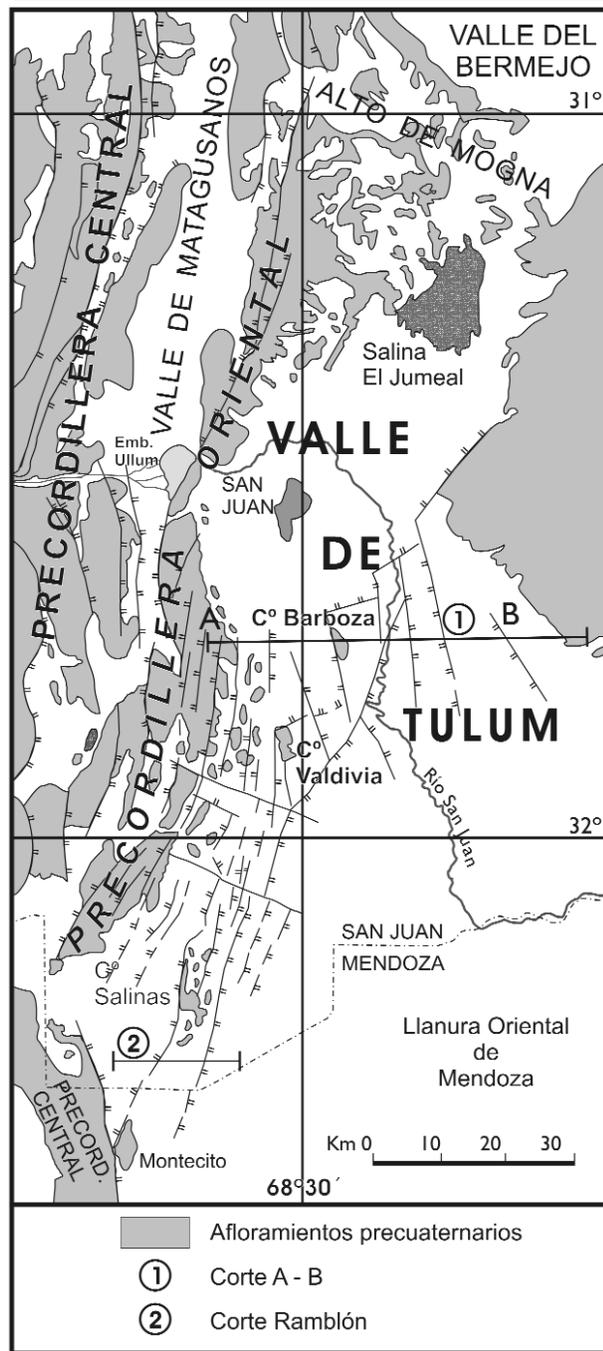


Figura 1: Ubicación y límites del valle de Tulum.

de imágenes satelitales e interpretación de datos geofísicos indicaron que esa depresión conocida como valle del Tulum, tiene un estilo estructural de bloques de basamento, rotados paralelamente a sus ejes y limitados por fallas de alto ángulo. Estudios de subsuelo posteriores, con datos proporcionados por nuevos pozos, especialmente aquellos en los que se efectuaron perfiles geofísicos, y por nuevos sondeos geoelectricos, permitieron

comprobar que la falla de Tulum en realidad es una zona de fallas (Zambrano 1986a y b, Zambrano y Suvires 1987). La existencia de tal sistema de fallas, además estaba sugerido por alineamientos observados en productos de sensores remotos (fotografías aéreas e imágenes satelitales), especialmente en aquellos sectores del valle no cultivados (Zambrano y Suvires 1987). También la presencia de fracturas en el subsuelo profundo del valle está in-

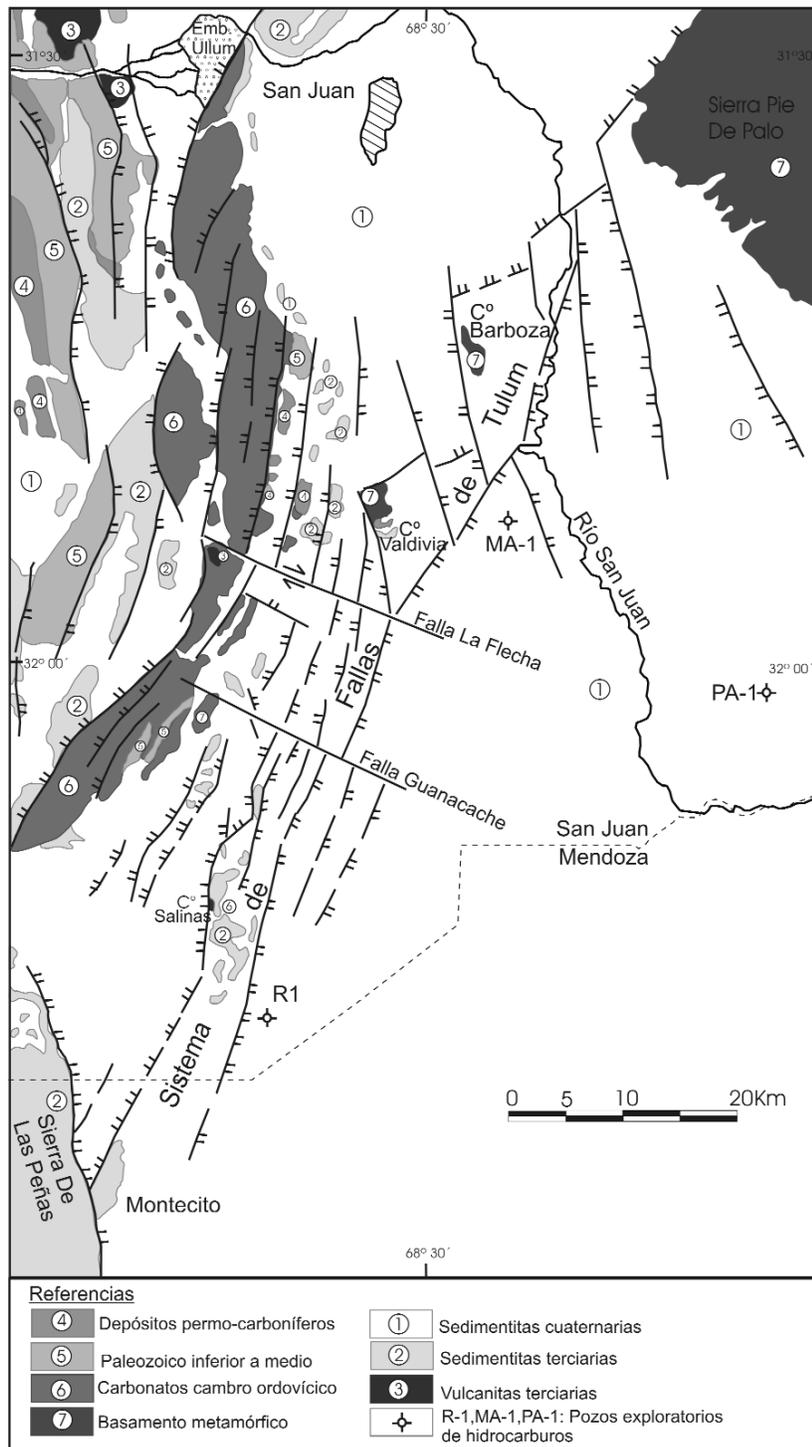


Figura 2: Mapa geológico generalizado del sistema de fallas de Tulum y alrededores

dicada por resultados de relevamientos gravimétricos (J.A. Robles com. pers.), por procesamiento de líneas sísmicas (Cominguez y Ramos 1991) en la zona sur del valle y otros estudios recientes (Vergés *et al.* 2007, Costa *et al.* 2000, Ramos *et al.* 2002, Meigs *et al.* 2006) en dicha

zona y en el extremo sur de la misma.

Sinopsis estratigráfica

Con la información actualmente disponible en el valle de Tulum se han determinado las siguientes unidades estratigráficas:

Rocas metamórficas del basamento de las Sierras Pampeanas. Afloran en los cerrillos de Barboza, Valdivia y Salinas. Su presencia en el subsuelo al alcance de perforaciones es, por lo tanto, altamente probable en la mayor parte del valle situado al este del sistema de fallas de Tulum (Figs. 2 y 3). Se ha comprobado la presencia de estas rocas en el subsuelo en el pozo de exploración de hidrocarburos perforado al este de la localidad de Media Agua, a partir de los 2.942 metros de profundidad, por debajo de sedimentitas de edad permocarbonífera.

Sedimentitas marinas de edad paleozoica inferior a media. Se han incluido aquí calizas y dolomias cámbricas y ordovícicas, aflorantes principalmente en la Precordillera Oriental, y lutitas, areniscas y grauvacas, cuyas edades comprenden desde el Ordovícico superior hasta el Devónico inferior, que forman diversos afloramientos en el piedemonte oriental de dicha provincia geológica. Estas unidades sedimentarias buzcan hacia el este, motivo por el cual son muy altas las probabilidades de encontrarlas en el subsuelo del valle al oeste de la zona de fallas de Tulum (Fig. 2). Como se ha propuesto en trabajos anteriores (Zambrano 1986a y b) esta zona debe considerarse el límite subsuperficial entre las Sierras Pampeanas y la Precordillera.

Depósitos fluviales, glaciares y fluvio-eólicos del Carbonífero y Pérmico. Consisten en areniscas, lutitas y conglomerados verdosos o grises en su parte inferior y rojizo en la superior. Su presencia en el subsuelo del valle se ha comprobado, no sólo por extrapolación de los afloramientos en el pie oriental de la Precordillera y en el cerrillo de Valdivia, sino por habérselos encontrado en el pozo Media Agua-1 entre 2.240 y 2.942 metros de profundidad.

Vulcanitas terciarias. Se presentan en pequeños afloramientos en la quebrada de La Flecha (Rossa *et al.* 1986) y en ambos márgenes del río San Juan a unos 10 Km al oeste del embalse de Ullum (Fig. 1).

Depósitos aluviales mio-pliocenos. Afloran en los bordes norte y este del valle (Fig. 2) y han sido alcanzados por diversos pozos

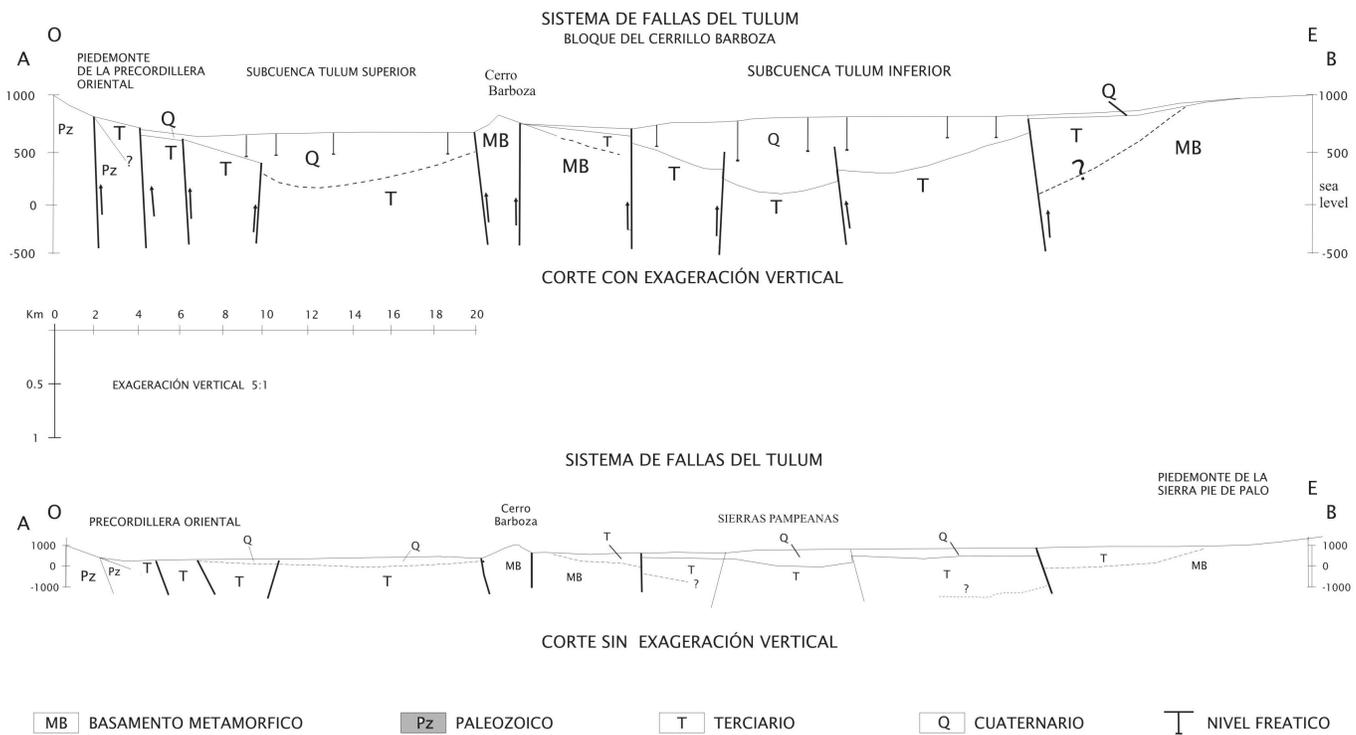


Figura 3: Corte geológico A-B que atraviesa el valle del Tulum a los 31°44' de latitud sur. La principal diferencia estratigráfica entre las Sierras Pampeanas y la Precordillera oriental es la presencia, en esta última provincia geológica, de depósitos marinos de edades cámbrica a devónica: afloran en los cordones monañosos y el piedemonte oriental, y buzan hacia el este, es decir hacia el subsuelo de la cuenca Tulum superior. En las sierras Pampeanas, las sedimentitas paleozoicas halladas en los afloramientos y en el subsuelo no son marinas y su edad es permocarbonífera.

de agua. En el borde precordillerano se observa su parte inferior formada por areniscas y lutitas rojizas, amarillentas o grises, en parte yesíferas o tobáceas. Pasan transicionalmente a la parte superior, integrada por bancos de conglomerados grises, con algunas intercalaciones de areniscas generalmente gruesas grises claras. Esta unidad conglomerádica no se ha encontrado en los pozos perforados sobre la zona de fallas de Tulum. El espesor de estos depósitos terciarios se conoce solamente en el ya mencionado pozo de Media Agua, donde alcanzó 1.200 m. En el pozo Ramblón-1, se perforaron 2.090 m y no se alcanzó su base, y lo mismo ocurrió en Punta del Agua-1, donde se superaron los 2.000 m.

Sedimentos cuaternarios. Formados por arenas intercaladas con limos, además de gravas gruesas y finas, y material arcilloso, localmente con algún contenido de sales. Se han depositado en la zona periférica del valle en bajadas pedemontanas y abanicos aluviales, mientras que en el interior de éste, se acumularon en llanu-

ras fluvio-aluviales, con aporte de arenas y limos eólicos. Este relleno cuaternario contiene prácticamente todos los acuíferos explotados en el valle de Tulum mientras que el subyacente terciario forma el basamento hidrogeológico de la cuenca. Se ha investigado el espesor de esta cubierta cuaternaria con perforaciones y sondeos eléctricos. Los mayores espesores de depósitos cuaternarios se registran en el pozo Ramblón-1, 975 m, en Media Agua-1, 1022 m y Punta del Agua-1, 1150 m (Fig.2). En sondeos eléctricos realizados en la parte profunda de la cuenca se interpretaron valores hasta de 1000 m (Rocca 1970, Zambrano 1986a).

METODOLOGÍA

En la actualidad se dispone de datos de más de 6.000 pozos perforados para producir agua y de tres exploratorios de hidrocarburos (Media Agua-1, Punta del Agua-1 y Ramblón-1). Una creciente proporción de los nuevos pozos cuenta con perfil geofísico. Con esta informa-

ción adicional ha sido posible actualizar el conocimiento estructural del subsuelo del valle y verificar que el sistema de fallas de Tulum es en realidad un pilar tectónico segmentado por numerosas fallas transversales y oblicuas al rumbo del mismo (Figs. 1 y 2). Para realizar el presente trabajo, es decir, extender a las partes sur y oeste del valle de Tulum el conocimiento geológico de superficie y subsuelo, se aplicó la misma metodología empleada en trabajos anteriores en otros sectores del valle (Zambrano 1986 a y b, Zambrano *et al.* 2005). Se comenzó así por interpretar geológicamente los resultados de nuevos sondeos eléctricos y correlacionar perfiles litológicos y geofísicos de pozos. Además, se ajustaron los resultados geoelectrónicos con los de las perforaciones. La información de subsuelo así obtenida se completó con nuevos datos de superficie mediante observaciones de campo complementada con estudios en fotografías aéreas e imágenes satelitales apoyados en los resultados obtenidos en la investigación prece-

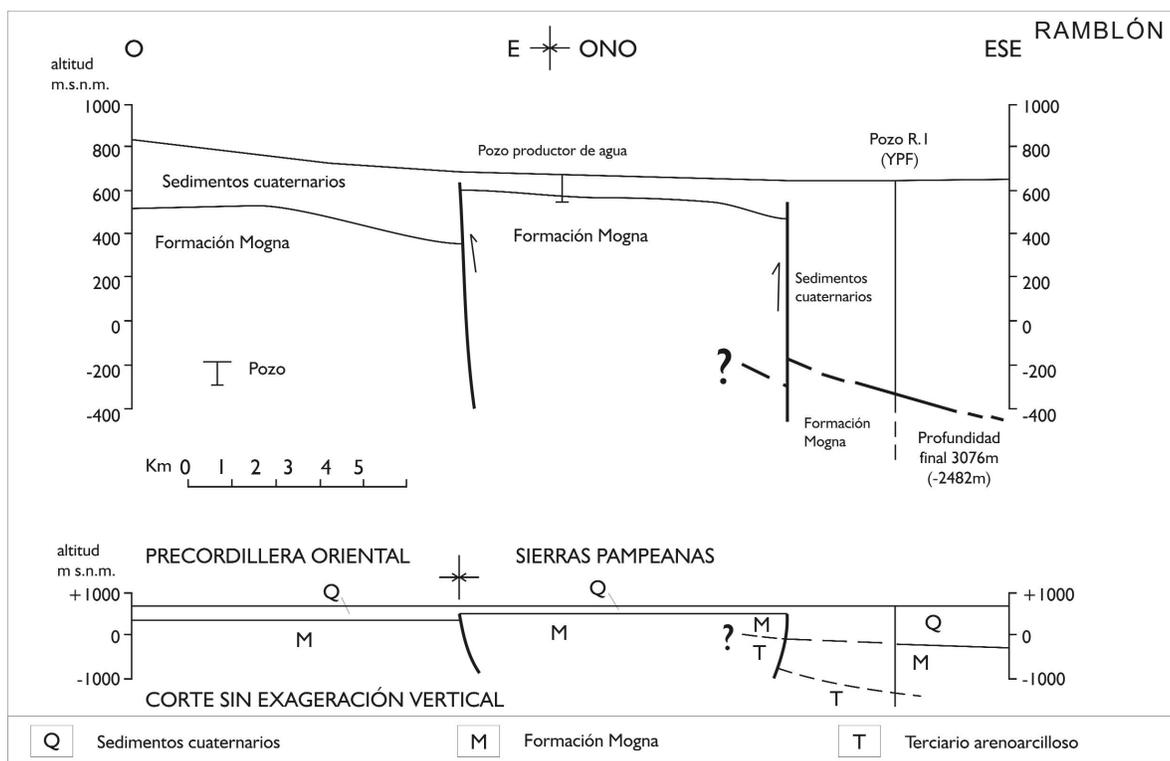


Figura 4: Se observa la estructura del sistema de fallamiento del valle de Tulum no aflorante en el tramo entre el cerro Salinas y el Montecito. La principal expresión geomórfica de dicha zona en este tramo consiste en cambios en la red de drenaje. Corte ubicado en Fig. 1, entre los 32° 14' y 32° 17' de latitud sur.

dente. Esto permitió confirmar la buena correlación de muchas fallas determinadas en subsuelo con alineamientos observados en las fotografías e imágenes. Además, se verificó que el alto estructural no aflorante entre el cerro Salinas y el Montecito produce anomalías en el diseño del drenaje. Así se pudo prolongar al suroeste dicho alto estructural, que ya había sido determinado en su parte norte con resultados de subsuelo obtenidos al sur del cerro Salinas.

La figura 4 muestra el corte geológico realizado entre 32°14' y 32°17' de latitud sur, que pasa por el pozo exploratorio de hidrocarburos R-1, donde se representa la interpretación efectuada en el presente trabajo. Dicha interpretación se basa sobre resultados obtenidos en la mencionada perforación, que atravesó casi 1.000 m de sedimentos cuaternarios, y un pozo productor de agua, donde el espesor de los depósitos cuaternarios apenas sobrepasa los 100 m. Apoyan además a esta interpretación los resultados de numerosos sondeos geoelectrónicos.

El brusco aumento de espesor cuaternario de más de 800 m, en un trayecto de

unos 3 km (Fig. 4) ha sido interpretado como una falla con bloque hundido al este y unos 700 m de rechazo. Esta interpretación es consistente con los datos de numerosos pozos perforados a lo largo de la zona de fallas de Tulum (Zambrano y Suvires, en prensa).

En la zona al este y sureste del cerro Salinas, Comínguez y Ramos (1991) realizaron una interpretación diferente, sobre la base de los resultados obtenidos por la línea sísmica de reflexión profunda 31017, obtenida por registros de señales Vibroseis, migrada y reprocesada. Dichos autores, así como Vergés *et al.* (2007) no interpretan la existencia de una falla con bloque hundido al este, entre el cerro Salinas y el pozo Ramblón-1 (Comínguez y Ramos 1991).

Sin embargo, en la mencionada línea sísmica, a unos 2 a 3 km al este de la localidad de Ramblón, existe una zona pobre en reflectores. En opinión de los autores del presente trabajo, esta pobreza en reflectores ha sido causada por la falla, interpretada por los resultados de los pozos (Fig. 4) apoyados por los obtenidos con los sondeos geoelectrónicos.

RESULTADOS

Los resultados de los trabajos antes citados y del presente, indican que, en la mayor parte del valle, los depósitos cuaternarios yacen sobre las sedimentitas rojizas terciarias que son impermeables o contienen poca agua salobre o salada. Donde esto ocurre, la base del Cuaternario está indicada por una brusca caída de la resistividad, tanto en perforaciones como en sondeos geoelectrónicos. En cambio, donde se encuentran en el subsuelo los conglomerados de la parte más alta del basamento terciario, si bien se observa un descenso de la resistividad, el contraste con el Cuaternario no es tan neto. Esta situación ocurre casi siempre en las zonas próximas a los cordones precordilleranos.

En la zona sur del valle, próxima al límite interprovincial, los terrenos cuaternarios en la superficie y en las primeras decenas de metros en el subsuelo consisten predominantemente en limos y arenas finas limosas con contenido salino. Allí las resistividades cerca de la superficie son bajas, razón por la cual es muy

difícil obtener información geoelectrónica del subsuelo. Tampoco se han efectuado allí perforaciones, salvo los dos pozos exploratorios de hidrocarburos antes mencionados. Por lo tanto, en esta parte del valle no se dispone de datos sobre espesores del relleno cuaternario al sur de dichos pozos profundos.

Además de las variaciones de espesores del relleno cuaternario en cortas distancias y de los alineamientos observados en fotografías aéreas e imágenes satelitales, la existencia de fallas en el interior del valle de Tulum estaba sugerida por los perfiles asimétricos de los cerrillos de Barboza, Valdivia y Salinas. Estos cerrillos muestran pendientes abruptas al oeste y suaves al este (Cominguez y Ramos 1991, Costa *et al.* 2000). Se comprobó, con los datos de subsuelo, que las pendientes occidentales coinciden con fallas cuyo rumbo es NNO a N (Figs. 2 y 3). Donde no hay afloramientos precuaternarios, los cambios bruscos de espesores de la cubierta cuaternaria en cortas distancias han permitido determinar la presencia de fallas, especialmente donde son consistentes los resultados geoelectrónicos con la información proporcionada por pozos. Se comprobó así que en el valle de Tulum muchas fallas, como las que limitan por el oeste a los mencionados cerrillos, tienen su bloque occidental hundido. Pero se determinaron fallas importantes con bloque hundido al este que, en muchos casos tienen rechazos mayores que las primeras (Figs. 3 y 4). Este es el caso del alineamiento de las fallas que limitan por el este al sistema de fallamiento de Tulum (Figs. 2 y 4).

El citado sistema está segmentado por fallas transversales u oblicuas a su rumbo (Fig. 2). La más conspicua de estas fracturas transversales es la falla rumbo deslizando de La Flecha, que aflora en la quebrada de ese nombre (Rossa *et al.* 1986). Con información de perforaciones y geoelectrónica se comprobó que esta falla continúa en el subsuelo del valle (Zambrano *et al.* 2005) a lo largo de varios kilómetros (Fig. 3).

Con las sucesivas investigaciones se de-

terminó así que el sistema de fallas de Tulum está conformado por una sucesión de bloques tectónicos ascendidos de 5 a 10 km de ancho, alineados al NNE. Esta alineación de bloques divide al valle en dos subcuencas de agua subterránea, como lo determinara Rocca (1970), si bien este autor consideró que ambas subcuencas estaban separadas por una sola falla.

La segmentación del sistema de fallas de Tulum origina variaciones de espesor del relleno cuaternario a lo largo de dicha estructura, desde los afloramientos de los cerrillos de Barboza, Valdivia, Salinas y Montecito o cubiertas cuaternarias con espesores de pocos metros o subafloramientos precuaternarios hasta, en algunos pozos, valores de casi 200 metros. Los bloques formados por la segmentación tienen entre 5 y 20 km de largo y 5 a 10 km de ancho (Fig. 2). Al sur de la falla Guanacache la segmentación es menos marcada: las fallas observadas en el subsuelo de este sector tienen rumbo predominante NNE, paralelo al sistema de Tulum. Este sistema, por lo tanto, puede interpretarse como formado por un pilar tectónico segmentado en bloques ascendidos menores que divide al valle de Tulum en dos subcuencas, conclusión apoyada también por las revisiones de trabajos anteriores.

Entre el cerro Salinas y el Montecito, existen indicaciones superficiales de la continuación al SSO del sistema de fallas de Tulum, observadas por los autores en fotografías aéreas, a pesar de que no afloran las fallas. Las principales expresiones geomórficas de dichas estructuras son alineamientos y cambios en la dirección y frecuencia de la red de drenaje.

Con la información de subsuelo disponible no es posible determinar el carácter normal, inverso o vertical de las fallas no aflorantes. Como hipótesis de trabajo se interpretan como inversas aquellas fallas paralelas o subparalelas a los cordones montañosos que limitan al valle, en los que son inversas las fallas paralelas al rumbo de dichos cordones. Se basa la hipótesis aquí propuesta sobre el tectonismo compresivo que afecta a la región.

Las fallas transversales al sistema son directas o verticales, por sus relaciones con la dirección de los esfuerzos compresivos. Probablemente tengan diversos valores de desplazamiento de rumbo, como está comprobado en superficie (Rossa *et al.* 1986) y en el subsuelo, en las orientadas al ONO (Fig. 2).

EDAD DE LAS ESTRUCTURAS

La actual configuración morfológica y estructural del valle de Tulum es resultado del tectonismo compresivo, del que existen indicaciones desde el Mioceno en la cordillera andina, la Precordillera y las Sierras Pampeanas. Los datos de superficie y subsuelo, sin embargo, indican que gran parte de las estructuras, especialmente las fallas, se formaron por reactivación de fallas preexistentes, puesto que en el valle puede observarse una tectónica de bloques, especialmente en su borde oriental, donde aflora el basamento pampeano. También el sistema de fallas de Tulum muestra, como se ha señalado en páginas precedentes, una configuración estructural en bloques. Este estilo estructural indica que la zona estudiada estuvo afectada por tectonismo extensional antes del Terciario. Tal tipo de tectonismo se menciona también en la Cordillera Frontal (Sato *et al.* 1990) donde se observan indicaciones de fases extensionales en el Paleozoico Superior y Mesozoico inferior.

El tectonismo compresivo neoterciario cambió el tipo de aquellas fallas orientadas paralela o subparalelamente a los cordones montañosos: de normales o verticales pasaron a ser inversas. Parte del desplazamiento de rumbo de las fallas orientadas transversalmente a dichos cordones también puede atribuirse a esta actividad compresiva.

APLICACIONES

La existencia de depósitos marinos del Paleozoico inferior y medio en el subsuelo de la parte del valle situada al oeste del sistema de Tulum, puede indicar la exis-

tencia de hidrocarburos en este sector. Apoya lo expresado la circunstancia que estos terrenos contienen materia orgánica y, en el caso de las calizas cámbricas y ordovícicas la presencia de hidrocarburos en fracturas (Baldís y Beresi 1986). No deben descartarse, por lo tanto, las perspectivas de explorar hidrocarburos en este sector precordillerano del valle de Tulum.

CONCLUSIONES

- El estudio de la nueva información de subsuelo y la revisión de la información existente muestra que el sistema de fallas de Tulum al haberse determinado que está limitado por el este por fallas con bloque hundido en esta dirección, es un pilar tectónico de extensión regional.

- Este pilar tectónico está segmentado por fallas orientadas transversal u oblicuamente al rumbo del mismo.

- El bloque del cerro Valdivia separa diferentes direcciones de sistemas fracturantes: el primero, al norte de dicho cerro, predominantemente de dirección NNO y un sistema secundario de dirección ENE, conformando un sistema de bloques limitados por fallas.

- El segundo en cambio, hacia el sur y oeste del anterior, se encuentra en su mayor parte en el piedemonte de la Precordillera Oriental. Este segundo sistema presenta direcciones NNE y está segmentado por otro de dirección ONO, y también da origen a un conjunto de bloques de basamento, limitados por fallas. Hacia el sur el cerro Valdivia continúa en subsuelo el bloque elevado del basamento aflorante en dicho cerro con eje casi N-S cortado al sur por la falla de la Flecha.

- La continuación hasta el Montecito del sistema de fallamiento que divide al valle de Tulum en dos subcuencas al limitar por el sur la Precordillera Oriental en subsuelo (Fig. 2) pone en contacto la provincia geológica de las sierras Pampeanas con la sierra de las Peñas, perteneciente a la Precordillera Central.

- El conocimiento estructural de la región permite ser aplicado a la exploración y explotación de cuencas de agua

subterránea, actividades fundamentales para la economía de la provincia de San Juan, que depende principalmente del desarrollo agrícola del valle del Tulum.

- Asimismo, al oeste de este pilar tectónico, se justificaría investigar la posible existencia de hidrocarburos en el subsuelo porque es de esperar la presencia de rocas generadoras en las formaciones paleozoicas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a los doctores V.A. Ramos y E. Cristallini, quienes efectuaron útiles críticas y valiosos aportes al manuscrito original.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Baldís, B., Martínez, R., Villegas, R., Pereyra, M. y Pérez, M. 1990. Estructura, provincialismo geológico y unidades tectonoestratigráficas. En *Geología y Recursos Naturales de la provincia de San Juan*, 10° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 1: 186-211, San Juan.
- Baldís, B y Beresi, M. 1990. Presencia de hidrocarburos en las Formaciones Zonda y San Roque (Cámbrico y Ordovícico de la Precordillera) y posibilidades prospectivas. 10° Congreso Geológico Argentino (San Juan), Actas 1: 183-186, San Juan.
- Cominguez, A. H. y Ramos, V. A. 1991. La estructura profunda entre Precordillera y sierras Pampeanas de la Argentina: Evidencias de la sísmica de reflexión profunda. *Revista geológica de Chile* 18(1): 3-14.
- Costa, C.H., Gardini, C.E., Diederix, H. y Cortés, J.M. 2000. The Andean Orogenic Front at sierra Las Peñas - Las Higuera, Mendoza, Argentina. *Journal South American Earth Sciences* 13: 287-292.
- Meigs, A., Krugh, W.C., Schiffman, C., Vergés, J. y Ramos, V.A. 2006. Refolding of thin-skinned thrust sheets by active basement involved thrust faults in the eastern Precordillera of western Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina* 61(4): 589-603.
- Ramos, V.A., Cristallini, E.O. y Perez, D.J. 2002. The Pampean flat slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 59-78.

Rocca, J.A. 1970. Geología de los valles de Tulum y Ullum-Zonda, provincia de San Juan. *Plan Agua Subterránea. Informe Técnico P -031, (inédito)*, 1: 1-112, San Juan

Rossa, N, Uliarte, E. R. y Vaca, A. 1986. Magmatismo traquítico en Precordillera Oriental. 1° Jornadas sobre Geología de Precordillera (San Juan), Actas 337-340, Buenos Aires.

Sato, A.M., Llambías, E., Shaw, S., y Castro, C.E. 1990. El batolito de Colanquil: Modelo del magmatismo neopaleozoico de la Provincia de San Juan. En *Geología y Recursos Naturales de la provincia de San Juan*, 10° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 100-122, San Juan.

Vergés, J., Ramos, V.A., Meigs, A., Cristallini, E., Bettini, B.H. y Cortés, J.M. 2007. Crustal wedging triggering recent deformation in the Andean thrust front between 31° S and 33° S: Sierras Pampeanas-Precordillera interaction. *Journal of Geophysical Research* 112, B03S15, doi: 10.1029/2006JB 004287.

Zambrano, J.J. 1986a. Actualización de la geología de subsuelo del valle de Tulum. Centro Regional de Agua Subterránea. Informe P-234 (inédito), 1:1-102, San Juan.

Zambrano, J.J. 1986b. El límite oriental de la Precordillera en el valle de Tulum. 1° Jornadas sobre Geología de Precordillera (San Juan), Actas 349 -353, Buenos Aires.

Zambrano, J.J. y Suvires, G.M. 1987. La estructura superficial y profunda del valle del Tulum. Provincia de San Juan. 10° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 267-270, Tucumán.

Zambrano, J.J., Victoria, J.A. y Di Chiacchio, J.C. 2005. Fallas y cuencas de agua subterránea al este de la Precordillera Oriental en el sur sanjuanino. 20° Congreso Nacional del Agua y 3° Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur, 1-15, Mendoza.

Zambrano, J.J. y Suvires, G.M. 2005. Aporte a la geología del Alto de Mogna, al norte de la depresión de Tulum, provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60(2): 425-427, Buenos Aires.

Zambrano, J.J. y Suvires, G.M., 2007. A geologic structural updating of the Tulum valley, San Juan, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences (en prensa)*.

Recibido: 10 de abril, 2007

Aceptado: 22 de noviembre, 2007