

# Comportamiento hidrológico de una cuenca endorreica, en la Puna septentrional argentina.

María C. Visich<sup>1</sup> & María Camacho<sup>2</sup>

(1) Carrera de Geología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta.

*mcvisich@hotmail.com*

(2) Carrera de Geología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Jujuy.

*mcamacho@yahoo.com.ar*

**RESUMEN:** La cuenca de Salinas Grandes y su entorno poseen gran importancia, desde el punto de vista hidrográfico y económico ya que, tanto en el núcleo, como en los relieves circundantes existen geofomas constituidas por sedimentos cuaternarios que permiten el desarrollo de acuíferos. En la zona marginal de la Salina, especialmente en los sectores nororiental y noroccidental existen cuerpos de agua superficiales, donde se desarrollan diferentes sistemas hidrológicos; éstos se ubican en un área donde confluyen el agua dulce de los acuíferos de la cuenca de aporte al salar y la salmuera del núcleo. La mayoría de las cuencas aportantes al núcleo de la Salina se desarrollaron en condiciones climáticas más húmedas que las actuales evidencia de ello, es la extensión de los conos aluviales generados, como el cono de Las Burras, el que desde el punto de vista hidrográfico recibió los aportes de la amplia cuenca del río Las Burras, cuya descarga fue progresivamente migrando hacia el norte hasta desembocar en el extremo sur de la laguna de Guayatayoc. La generación del mencionado cono incidió en la separación de la cuenca de Salinas Grandes- Guayatayoc emplazada en el sector occidental de la cuenca cretácica de Tres Cruces.

## 1. INTRODUCCION

La cuenca hidrográfica de Salinas Grandes- Guayatayoc ocupa una depresión conocida como bolsón Abra Pampa- Salinas Grandes emplazada en el sector occidental de la cuenca cretácica de Tres Cruces, depocentro norte de la cuenca del rift del Grupo Salta desarrollada a partir de una típica cuenca rift por su estructura, por las características del relleno sedimentario y por el magmatismo asociado (Salfity et al., 1984; Marquillas et al., 2005). Estructuralmente controlada por fallas ocupa una superficie de 1.717.094 ha., siendo el perímetro de la cuenca de 1.127.943 metros.

### 1.1 Ubicación y vías de acceso

La cuenca de Salinas Grandes- Guayatayoc se encuentra en el noroeste de la república argentina en las provincias de Salta-Jujuy, en el noroeste de los departamentos jujeños de Tumbaya y Cochino y en el salteño de la Poma, encontrándose el centro del salar próximo a las coordenadas 23° 38' LS y 66° 05' LO.

El acceso puede realizarse por vía terrestre desde la provincia de Salta, por la ruta nacional N° 51 hasta San Antonio de los Cobres, luego se recorren 70 kilómetros hacia el norte, por la ruta provincial N° 75 hasta la localidad de Cobres (borde suroccidental de la salina). El camino por la ruta nacional N° 51 presenta algunos inconvenientes en su transitabilidad especialmente en verano debido a los frecuentes cortes provocados por los procesos de remoción en masa que descienden de las quebradas laterales. Durante el otoño e invierno el tránsito no presenta mayores inconvenientes.

Desde la provincia de Jujuy, por la ruta Nacional N° 9, se recorren aproximadamente 60 Km. hacia el norte-noroeste, hasta conectarse con la estación Purmamarca (60 Km.).

El camino hasta este punto presenta los mismos inconvenientes que la ruta 51. A los perjudiciales problemas causados por los procesos de remoción en masa durante el verano se suman los cortes provocados por las crecidas de los ríos que descienden por las quebradas laterales. A pocos metros de la estación Purmamarca y hacia el oeste

se encuentra el empalme con la ruta nacional N° 52 (Paso de Jama) hasta la localidad de Purmamarca y desde allí, por la misma ruta se recorren 60 Km. hasta llegar al cruce con la ruta Nacional N° 40 extremo marginal de la salina. Este punto de la ruta proporciona el acceso norte por la ladera oriental del Salar de Guayatayoc y sur a lo largo del lado sur de Salinas Grandes. La Ruta 11 proporciona el acceso a lo largo del lado oeste del Salar Guayatayoc. La distancia total entre la ciudad de San Salvador de Jujuy y la zona de la salina es de aproximadamente 100 Km. Fig.1.

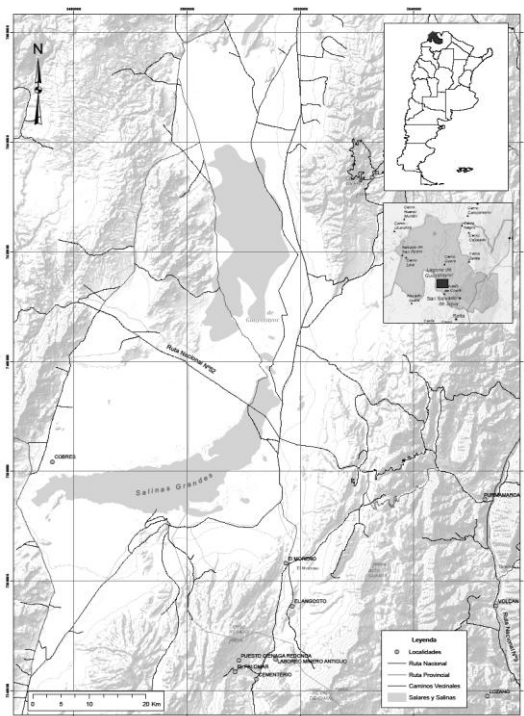


Figura 1: Mapa de ubicación y vías de acceso a la cuenca de Salinas Grandes- Guayatayoc.

### 1.2. Clima

La región de la Puna septentrional, exhibe un marcado gradiente climático que es controlado por el efecto orográfico y la altitud. En la zona occidental, el clima es árido y seco, mientras que en el extremo oriental, es húmedo y cálido. En la cuenca de Salinas Grandes el régimen de lluvias es casi exclusivamente estival, las precipitaciones disminuyen sensiblemente de este a oeste y denotan valores de 200 Mm en la estación Susques a 300 Mm anuales en las cumbres de la Sierra Alta. La temperatura media anual de la región es de 6°C y existe una amplitud térmica muy elevada. El elevado déficit hídrico fomentó

el desarrollo de la actividad eólica y la formación de salinas. A medida que se desplaza al oeste, se asciende de altitud (cumbres de la Sierra Alta y Altos de Tilcara: 4.000 a 5.000 m) y la temperatura decrece (región fría y seca de alta montaña). En estos sectores la actividad criogénica y glaciaria encontró su máxima expresión, de acuerdo a observaciones de campo, evidenciadas por la formación de circos glaciarios en la parte alta de los mencionados relieves.

Existen evidencias de que el gradiente climático presentó variaciones a lo largo del tiempo geológico, por lo que sectores extremadamente secos en la actualidad, se encontraron bajo condiciones climáticas más húmedas y frías en el pasado. La evidencia de estos cambios queda registrada en la presencia de antiguos niveles de regresión de costas en las Salinas Grandes, además del desarrollo de importantes abanicos aluviales como el de Las Burras al oeste de la cuenca.

El clima actual en el área de Salinas Grandes se caracteriza por las variaciones diarias de temperatura de hasta 35 ° C durante el día y hasta -30° C durante la noche. La radiación solar es intensa, especialmente durante los meses de verano lo que lleva a altas tasas de evaporación. Las condiciones climáticas favorecen los procesos de evaporación solar y aunque no se registran tasas de evaporación tan altas como en el Salar de Atacama, se considera que las condiciones climáticas son muy similares a las del salar de Hombre Muerto (ubicado a 250 Km. al sur-suroeste de Salinas Grandes-Guayatayoc.).

## 2. DELIMITACIÓN DE CUENCAS APORTANTES AL NÚCLEO DEL SALAR

La cuenca hidrográfica de Salinas Grandes-Guayatayoc se caracteriza por un marcado endorreísmo con el desarrollo de depresiones salinas que reciben los aportes de cursos fluviales con desagües de escasa magnitud y en cuyo centro suelen formarse, en forma temporal cuerpos lagunares de escasa profundidad.

Está compuesta por diez (10) subcuencas que aportan a los núcleos de Guayatayoc y Salinas Grandes, norte y sur de la cuenca respectivamente. Estas subcuencas se mantienen en las condiciones climáticas actuales, por las escasas precipitaciones, principalmente estivales y de gran intensidad producidas en forma de nieve o granizo en los cordones montañosos de mayor altitud, mientras que, en los sectores de

menor altura suelen, especialmente en el sector oriental, producirse lluvias torrenciales. El escurrimiento es por lo tanto intermitente y restringido al periodo estival.

### 2.1. Caracterización de las principales subcuencas.

Se realiza la descripción de las principales cuencas aportantes identificadas en la Fig. 2.

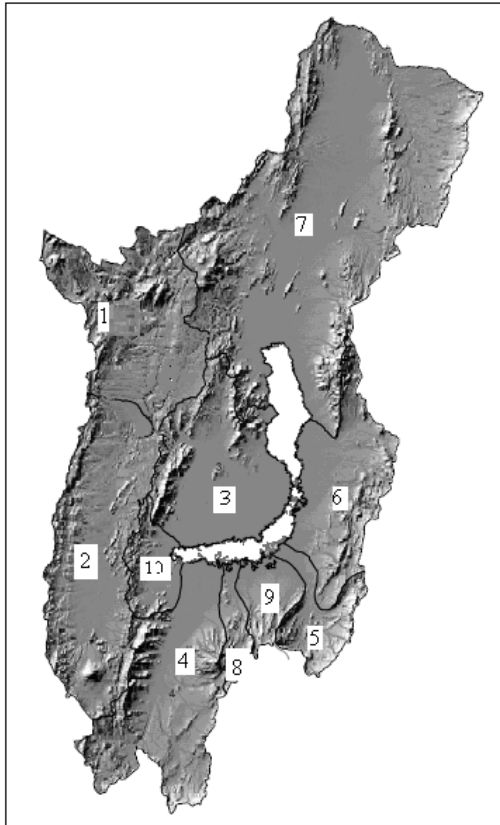


Figura 2: Identificación y numeración de las diferentes subcuencas.

El río Coranzuli identificado con el número 1, tiene sus nacientes a partir de la confluencia de los ríos Barrialito y Convento, desarrollando un extenso valle al oeste del Complejo Volcánico Coranzuli, el que ocupa una superficie de 1.867,12 Km<sup>2</sup> y está constituido por una red de drenaje de tipo dendrítica en la cabecera de la cuenca, que resulta de la interacción de rocas de baja permeabilidad (ignimbritas dacíticas), resistencia uniforme y pendiente moderada. Escurre en dirección N-S, hasta confluir con el río Pastos Chicos, identificado con el número 2. Este río, tiene sus nacientes al oeste de la sierra de Cobres a los 4.400 m.s.n.m. con el nombre de A°

Tajamar, recibiendo a medida que escurre en dirección N el aporte de numerosos cauces tales como Agua Blanca, Los Charcos, Sepultura, Potreros y Cobres. Forma su cuenca a partir de la pendiente occidental de los cordones montañosos de la sierra de Cobres. Circula hacia el norte hasta la confluencia con el río Coranzuli, 3.600 m.s.n.m. y ocupa una superficie de 2.252,64 Km<sup>2</sup>. El diseño de red responde al drenaje en enrejado, ya que los tributarios de primer orden son largos y de trazado recto, siendo a menudo paralelos al curso principal. Los tributarios cortos confluyen con el río Pastos Chicos formando ángulos aproximadamente rectos. Este diseño de red indica un importante control estructural, coincidente con el desarrollo sobre zonas que han sido fuertemente plegadas, indican además la alternancia de estratos subyacentes de diferente resistencia a la erosión, deslizándose los tributarios cortos sobre los lados de las capas más resistentes levantadas. Fig. 3.

La cuenca del río Las Burras, identificado con el número 3, tiene sus nacientes a partir de la confluencia de los ríos Pastos Chicos y Coranzuli, sector occidental de la sierra de Cobres y austral de las sierras de Viscaña. Ocupa una superficie de 1.656,44 Km<sup>2</sup>. En los relevamientos realizados en el campo no se observaron evidencias de capturas fluviales, tampoco en las fotografías aéreas e imágenes satelitales. El vaciamiento exorreico de la vecina cuenca de Sey-Pastos Chicos-Susques hacia la de Salinas Grandes, se produjo probablemente durante el Pleistoceno, período caracterizado por condiciones climáticas más húmedas que las del Holoceno (Servant, 1977; Argollo et al., 1998; Tchilinguirian et al., 2001; Camacho, 2010; Plackzeck et al. 2013), ya que entre ambas media una diferencia de altura, que permite el drenaje desde el oeste hacia la cuenca de Salinas Grandes.

La zona donde se produjo el vaciamiento corresponde a la desembocadura del río Las Burras, es una planicie perteneciente a la llanura aluvial del colector principal. En este sector el río Las Burras va perdiendo identidad debido a la extensión de la llanura de inundación. El desarrollo del cono aluvial del río Las Burras influyó en el formato actual del depósito salino.

Las condiciones secas del Holoceno permitieron la acumulación de arena conformando diferentes geoformas, que atraviesan la salina hasta volcarse sobre las nacientes del río Yacoraite (subcuenca del río Grande de Jujuy). La acumulación de cordones de arena al norte de Salinas Grandes favorece la migración actual del cauce del río Las Burras hacia la laguna de Guayatayoc.

La cuenca del río San Antonio, identificado con el número 4, ocupa una superficie de 1.889,18 Km<sup>2</sup>, posee un extenso valle desarrollado a partir de tributarios como los ríos Tocomar, quebrada de Mojón, Organullo, Angosto de Piscuno y otros menores. Este río, en el sector sur de la cuenca de Salinas Grandes, presenta un diseño en enrejado en la cabecera de su cuenca y en su desembocadura genera un delta de baja pendiente. Consta de un canal principal que lo conecta con el núcleo de Salinas Grandes.

La subcuenca del río Abra Pampa o Miraflores, identificada con el número 7, tiene sus nacientes en el sur de Yavi, donde recibe la denominación de Río del Puesto. Pasa por la laguna de Runtuyoc, toma luego la denominación de Río Abra Pampa. Continuando siempre hacia el sur se denomina Río Miraflores y por último Cochogasta, para finalmente desaguar en la laguna de Guayatayoc (Departamento de Cochino). Su lecho es arenoso y no presenta accidentes hasta su desembocadura. Ocupa una superficie de 5.892,25 km<sup>2</sup>, con centro en Abra Pampa (65Q 30' W y 22Q 45' S), el lecho es arenoso y no presenta accidentes hasta su desembocadura (Bargiela et al., 2007). Las cuencas restantes tienen como nivel de base el núcleo de Salinas Grandes.

Existen cursos fluviales como los ríos Coranzuli, Pastos Chicos, Las Burras y San Antonio, todos de régimen temporario, que incidieron en condiciones climáticas más húmedas que las actuales, en la generación de las geoformas fluviales de la región.

El comportamiento hidrológico de una cuenca resulta de la relación existente entre las características morfológicas de la cuenca, la que se considera como una unidad geomorfológica fundamental que resulta de las interacciones del flujo de la materia y la energía frente a la resistencia de la superficie topográfica (Zavoianu, 1985). Se hace necesario, por lo tanto, conocer la configuración de la cuenca fluvial, para lo cual se analizaron diversos parámetros morfológicos y del relieve.

## 2.2. Parámetros de forma

La forma de una cuenca influye sobre los escurrimientos y el grado de erosividad de una corriente.

### Superficie

Se considera el área total de la cuenca, a toda el área del terreno cuyas precipitaciones son evacuadas por un sistema común de curso de agua, estando comprendida desde el punto donde

se inicia esta evacuación hasta su desembocadura. Para su delimitación se consideraron las divisorias topográficas por ser prácticamente fijas. El área total calculada para la cuenca Salinas Grandes- Guayatayoc es de 1.717.094 has.

### Perímetro (P) de la cuenca

Esta característica, relacionada en los parámetros de forma y expresada en kilómetros, refleja el tiempo necesario para que el agua que cae en el punto más alejado de la cuenca llegue a la salida o desembocadura. Es la longitud de la línea divisoria de aguas la cual puede medirse con curvímetero o como en nuestro caso mediante el Software Arcgis. Para la cuenca Salinas Grandes- Guayatayoc es de 1.127.943 has.

### Forma

Esta característica interviene en la distribución de las descargas a lo largo del curso principal y es en gran parte responsable de las particularidades de las crecientes que presentan las cuencas. Para determinarla se calcularon parámetros como el *Coficiente de Compacidad o Índice de Gravelius* y el *Factor de Forma*.

### Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (Kc):

Es la relación que existe entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área igual a la de la cuenca. Como resulta de la ecuación (1).

De modo que:

$$Kc = \frac{\text{perímetro .cuenca}}{\text{Perímetro .circulo}} = 2.5 \quad (1)$$

Es un número adimensional independiente de la extensión de las cuencas y será mayor o igual a la unidad, de modo que cuanto más cercano a ella se encuentre más se aproximará la forma de la cuenca a la de un círculo, en cuyo caso la cuenca tendrá mayores posibilidades de producir crecientes con picos de caudales más elevados y el tiempo de concentración será menor. Por contrapartida, cuando el índice se aleja de la unidad, más elongada será la cuenca. De este modo, para una precipitación dada los escurrimientos correspondientes serán distintos si se considera una cuenca casi circular y otra de forma elongada. Tabla1.

| Kc         | Clase de Forma                         |
|------------|--|
| 1-1,25     | Casi redonda a oval redonda (compacta) |
| 1,25-1,50  | Oval Oblonga                           |
| 1,50- 1,75 | Rectangular Oblonga                    |

>1,75

Casi rectangular (alargada)

Para la cuenca Salinas Grandes- Guayatayoc el valor 2.5 indica una forma casi rectangular, alargada.

#### *Factor de Forma (Ff)*

Es la relación entre el ancho medio de la cuenca (Am) y la longitud del curso de agua más largo. Permite observar la relación entre la morfología y las inundaciones de la cuenca. Una cuenca con factor de forma bajo esta sujeta a menos crecientes que otra del mismo tamaño pero con factor de forma mayor. Es un parámetro adimensional.

Para la cuenca Salinas Grandes- Guayatayoc es de 0.23 lo que indica una moderada tendencia a presentar crecientes. Se considera que esto es particularmente apropiado en los cursos del sector oriental de la cuenca sector donde durante la temporada estival como consecuencia del régimen estival de precipitaciones ocurren procesos de remoción en masa en los relieves perimetrales e inundaciones en la salina.

#### *2.3. Parámetros del relieve*

La influencia del relieve es relevante en el comportamiento de los diferentes cauces que conforman una cuenca. A una mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal. La red colectora de la cuenca de Salinas Grandes-Guayatayoc se desarrolla, en zona montañosa, por lo que presenta una pendiente elevada, especialmente en su cabecera.

La topografía o relieve de una cuenca puede tener mas influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma de la misma (Vich, 1996). A una mayor pendiente corresponderá un menor tiempo de concentración de las aguas de escorrentía en la red de cursos que drenan hacia un colector principal.

#### *Amplitud del relieve.*

Se define como la diferencia entre la altura máxima (hmax) menos la altura mínima (hmin) de la cuenca, que toma el valor de la ecuación (2):

$$Amp = h_{max} - h_{min} = 5000 - 3000 = 2000 \text{ m} \quad (2)$$

#### *Pendiente*

La pendiente media es otro parámetro que es considerado al momento de caracterizar morfológicamente a una cuenca. Según los

valores que adopte la misma, se determina el tipo de relieve predominante en la cuenca. Fig. 3.

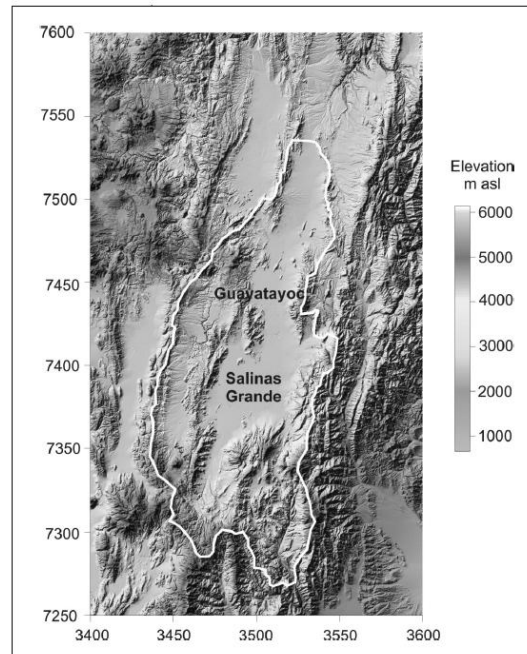


Figura 3: Modelo de elevación cuenca Salinas Grandes- Guayatayoc.

La geología y la sísmica (Ganguí, 1998) de la cuenca indican que estructuralmente está controlada por fallas inversas. Mediciones de gravedad y ATM sugieren que los depósitos clásticos de relleno del salar pueden ser de hasta 400 m de espesor. Estos sedimentos forman la acogida del acuífero de la salmuera. Los resultados demuestran que el centro de la cuenca es generalmente de arena de grano más fina, la que tiende a dominar en la parte oeste de Salinas Grandes y al este de la parte norte de Guayatayoc. Esta distribución se ajusta a las principales fuentes de sedimentos originarios del norte del río Miraflores, además de provenir de los relieves al este de Guayatayoc. En Salinas Grandes, el gran aporte proviene de la cuenca Susques al noroeste, la que aporta una fracción de arena a lo largo de la frontera norte, así como importantes cantidades de sedimentos de grano más grueso de la gran cuenca del río Las Burras, al sur.

#### *3. Conclusiones*

En base a la arquitectura típica de las cuencas situadas en la Puna es probable que los sedimentos de grano grueso se encuentren a mayor profundidad, con sucesivas capas internas de sedimentos clásticos de grano más fino,

carbonato, sulfato, cloruro y finalmente evaporitas. De hecho, la superficie del salar se encuentra dominada por un núcleo interno de halita rodeada por depósitos de evaporitas marginales que resultan de la mezcla de carbonato y sulfato con sedimentos clásticos de grano fino. De la proximidad a la laguna de agua ligeramente salobre como la de Guayatayoc y, de la variable cobertura vegetal, se infiere, que Salinas Grandes posee características morfodinámicas diferentes a la de los restantes depósitos evaporíticos de la Puna. Lo mencionado permitiría determinar la influencia que tuvieron en el desarrollo y génesis de la cubeta salina los distintos relieves, la influencia tectónica y las variaciones climáticas, todo lo cual le otorga interés desde el punto de vista de la investigación y seguramente también desde el punto de vista económico.

#### REFERENCIAS

- Argollo, J. & P. Mourguiart. *Escenarios Paleohidrológicos y Paleoclimáticos de los últimos 25.000 años en los Andes bolivianos*. Bamberger Geographische Schriften BD. 15, S. 1-15. Bamberg. 1998.
- Bargiela, M., N. Ivone, S. Maggi, A. y A. Kindgard. *Estudio de la mineralización del agua en cursos de la cuenca del río Miraflores y la laguna de Guayatayoc (Jujuy)*. XXI Congreso Nacional del Agua CONAGUA. San Miguel de Tucumán. 2007.
- Camacho, M. *Geoindicadores paleoclimáticos y paleoambientales proxies (relaciones Sr/Ca, Ba/Ca, Mg/Ca), de las facies lacustre del Pleistoceno superior "Edad Minchin" de la Laguna de Los Pozuelos, Puna jujeña, Argentina*. Investigaciones en Facultades de Ingenierías del NOA. Capítulo 4 Ciencias de la Tierra. Págs. 217-220. ISSN 3367-5072. Jujuy. EdiUnju. 2010.
- Gangui, A.H. *A combined Structural Interpretation base don Seismic Data and --D Gravity Modeling in the Northern Puna/ Eastern Cordillera, Argentina*. Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen. Reihe B. Band 27, Berlin. 1998.
- Marquillas, R.A., del Papa, C. y Sabino, I.F. *Sedimentary aspects and paleoenvironmental evolution of a rift basin: Salta Group (Cretaceous-Paleogene), northwestern Argentina*. International Journal Earth Sciences 94: 94-113. 2005.
- Placzek C.J., Quade, J., Patchett, P.J. 2013. *A 130 ka reconstruction of rainfall on the Bolivian Altiplano*. Earth and Planetary Science Letters 363. P. 97-108. 1984.
- Salfity, Gorustovich J.S. y Moya, M. *Las fases diastróficas en Los Andes del Norte Argentino*. Simposio Internacional de Tectónica Centro - Andina y Relaciones con Recursos 109 Naturales, Comisión Nacional de Estudios Geofísicos, Academia Nacional de Ciencias, La Paz, Bolivia. 1984.
- Servant, M. *El Cuadro estratigráfico Plio-Cuaternario del Altiplano de los Andes tropicales de Bolivia*. Investigaciones Científicas (Recherches) Francesas sobre el Cuaternario. INQUA. Suplemento del Boletín AFEQ 1 N° 50. 1977.
- Tchilinguirian, P. y F. Pereyra. *Geomorfología del sector Salinas Grandes- Quebrada de Humahuaca, provincia de Jujuy*. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 56 (1): 3-15. 2001.
- Vich, A.I. *Aguas Continentales – Formas y Procesos*. Mendoza. Argentina. 1996.