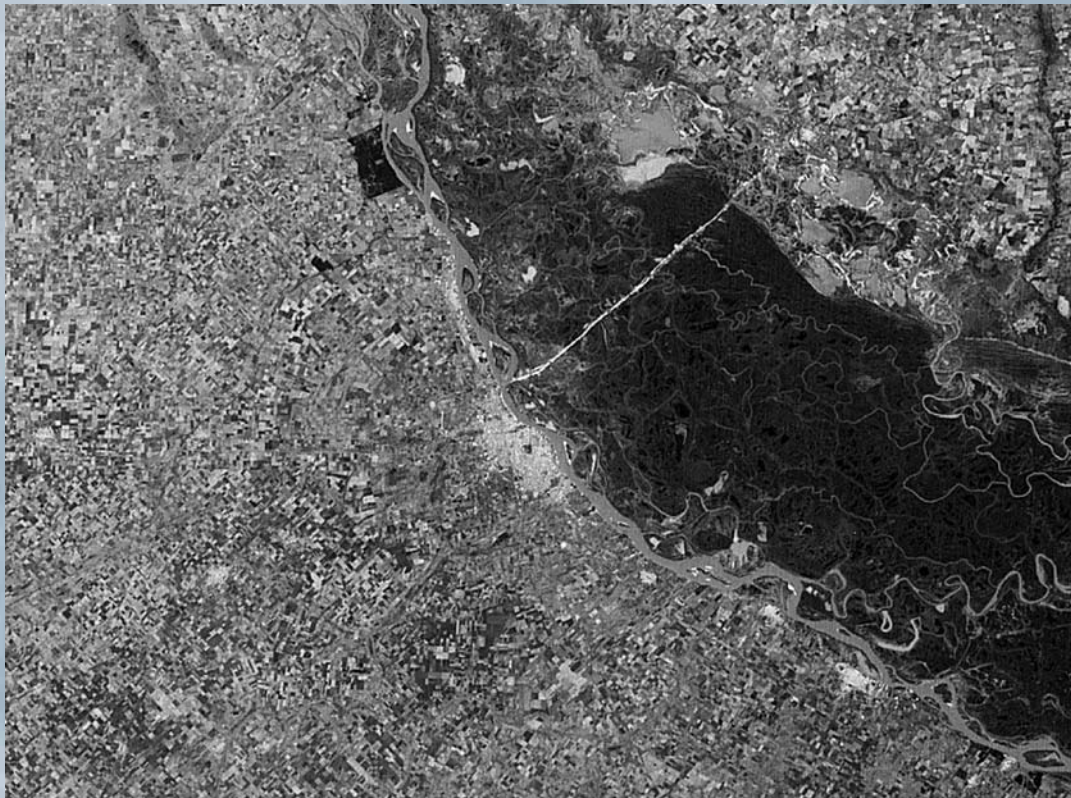




# Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología

**Volúmen 77 (2007), Números 1-2**



# Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología

ISSN 1666-115X

Edición del Instituto de Fisiografía y Geología  
"Dr. Alfredo Castellanos"  
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura  
Universidad Nacional de Rosario  
Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina

E-mail: ifg@fceia.unr.edu.ar

URL: <http://www.fceia.unr.edu.ar/fisiografia/publicaciones.htm>

## Características y alcance

El Boletín IFG es una revista internacional de publicación periódica de artículos científicos originales sobre temas de las denominadas Ciencias de la Tierra (Geología, Estratigrafía, Paleontología, y disciplinas afines), cuyos tópicos estén o no incluidos en los campos de investigación del Instituto de Fisiografía y Geología. Sólo son aceptados manuscritos de trabajos inéditos consistentes en contribuciones científicas significativas a criterio de los Editores y los árbitros. Todos los manuscritos son sometidos a arbitraje internacional de por, al menos, dos reconocidos especialistas en la materia. La decisión final de aceptación de un manuscrito para su publicación es de los Editores.

## Ediciones anteriores

El Boletín IFG es la serie única que reemplaza y sucede todas las ediciones anteriores del Instituto de Fisiografía y Geología que se publicaron con los nombres "Publicaciones" [ISSN 0041-8684], "Notas A" [ISSN 0325-4100] y "Notas B" [ISSN 0326-470X]. La numeración de la nueva y única serie comienza en el Volumen 70, correlativo con el último número de la antigua serie principal "Publicaciones", finalizada en 1996 con el número 69. Se publicará un volumen anual, dividido en un número variable de fascículos que dependerá de la extensión y número de contribuciones que se incluyan.

## Suscripción e intercambio

El Boletín IFG puede obtenerse por intercambio institucional, suscripción individual o suscripción institucional, dirigiéndose a la dirección indicada arriba. La nómina de los números anteriores disponibles puede obtenerse del sitio de internet, así como todos los números anteriores disponibles en formato pdf.

## Editores

Horacio Parent (Universidad Nacional de Rosario, Rosario)  
Eduardo P. Peralta (Universidad Nacional de Rosario, Rosario)

## Comité editorial

Antonio Introcaso (Universidad Nacional de Rosario, Rosario)  
Andrés F. Greco (Universidad Nacional de Rosario, Rosario)  
Günter Schweigert (Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart, Stuttgart)  
Eliseo Popolizio (Universidad Nacional de Noreste, Corrientes)

## Aim and scope

The Boletín IFG is an international periodical journal containing original scientific articles on the so called Earth Sciences (Geology, Stratigraphy, Paleontology, and related matters), related or not with the fields or research of the Instituto de Fisiografía y Geología. Only are accepted manuscripts of unpublished results consisting of significant scientific contributions. Every manuscript is subject to international peer review by at least two reviewers or referees, well known specialists on the matter. Final decision of publication is of the Editors.

## Past editions

The Boletín IFG is the unique series of publications which replace and follows any former and past editions of the Instituto de Fisiografía y Geología which were published under the following names: "Publicaciones" [ISSN 0041-8684], "Notas A" [ISSN 0325-4100] y "Notas B" [ISSN 0326-470X]. The first volume of the series is the number 70 correlative with the last of the former series "Publicaciones", ended in 1996 with the number 69. It will be published one single volume per year, subdivided in a number of fascicules depending on the number and size of contributions included.

## Suscription and exchange

The Boletín IFG can be obtained by institutional exchange, individual suscription or institutional suscription contacting to the addresses given above. All current and past publications are available on-line in the website cited above, in pdf format.

*Portada:* Vista satelital de la Ciudad Rosario, centro-este de Argentina [Figura en la página 42 de este volumen].

## **A STRETCHING MODEL TO EXPLAIN THE SALADO BASIN (ARGENTINA)**

Carolina B. CROVETTO, Iván L. NOVARA & Antonio INTROCASO



**Boletín  
del Instituto de  
Fisiografía y Geología**

Crovetto C.B., Novara I.L. & Introcaso A., 2007. A stretching model to explain the Salado Basin (Argentina). *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología 77(1-2)*: 1-10. Rosario, 01-10-2007. ISSN 1666-115X.

**Abstract.-** The Salado Basin, placed in Buenos Aires province, Argentina, is one of the most studied sedimentary basins of the area because it curiously presents a significant positive residual Bouguer anomaly. Several models were proposed to explain this gravimetric anomaly in the last 50 years. Recently, some works incorporated geoid undulations, revealing also a positive geoid anomaly over the basin. In this work, we propose a stretching model in perfect Airy isostatic balance to study the Salado Basin. We make a three-dimensional study of the basin's balance from gravity anomalies and geoid undulations, finding a strong overbalance on it.

**Key-words:** Salado Basin, Gravity, Geoid undulations, Stretching model.

**Resumen.-** *Un modelo de estiramiento para la Cuenca del Salado (Argentina).* La cuenca del Salado, ubicada en la provincia de Buenos Aires, Argentina, es una de las cuencas sedimentarias más estudiadas del área debido a que curiosamente presenta significativos valores positivos de anomalías de Bouguer. Varios modelos han sido propuestos para explicar esta anomalía de gravedad en los últimos 50 años. Recientemente, algunos trabajos han incorporado las ondulaciones del geoide, revelando también una anomalía de geoide positiva sobre la cuenca. En este trabajo, se propone un modelo de estiramiento en perfecto equilibrio isostático de Airy para estudiar la Cuenca del Salado. Se presenta un estudio en tres dimensiones, en donde el equilibrio de la cuenca se analiza a partir de las anomalías de gravedad y ondulaciones del geoide, encontrando una fuerte sobrecompensación debajo de la misma.

**Palabras clave:** Cuenca del Salado, Gravedad, Ondulaciones del geoide, Modelo de estiramiento.

Carolina Beatriz Crovetto [e-mail: [crovetto@fceia.unr.edu.ar](mailto:crovetto@fceia.unr.edu.ar)]: *Grupo de Geofísica, Instituto de Física Rosario (CONICET-UNR), Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina*

Iván Lionel Novara: *Grupo de Geofísica, Instituto de Física Rosario (CONICET-UNR), Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina*

Antonio Introcaso: *Grupo de Geofísica, Instituto de Física Rosario (CONICET-UNR), Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina*

## INTRODUCTION

The Salado Basin, placed in the Buenos Aires Province, Argentina (Figure 1), has been studied for many years for its high potential as hydrocarbon's trap. This sedimentary basin is mostly placed over the continent, but it also presents a smaller part over the Argentinean continental shelf.

Twelve exploration boreholes exist over the basin, drilled by Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF) and other petroleum companies. From these early explorations, the basin appears to be non-productive, but still remains sub-explored. Several seismic profiles reveal the existences of basement depths up to 7000 m in its deepest area. All the explorations over the basin are well summarized and documented in Tavella & Wright (1996).

Several models have been proposed to explain the positive residual gravity anomaly found over the Salado Basin; among them, for example Martin (1954), Orellana (1964), Introcaso (1980, 1997b). Recently, Introcaso et al. (2002) studying geoid undulations over the basin, found also a positive geoid anomaly. Earlier results, together with this new evidence, reveal the possibility of unbalance of the structure of the basin.

In the present work, we employ gravity anomalies and geoid undulations to evaluate a theoretical balanced model of the basin. We apply three-dimensional calculation to evaluate gravity anomalies and geoid undulations from this balanced model, so an important improvement is achieved respect to the previous two-dimensional works performed over the basin with gravity and geoid. Results confirm the high over-balance of the basin.

## STUDIED AREA

**Geological description.** The Salado Basin is placed in the Buenos Aires Province, Argentina, and presents an elongated

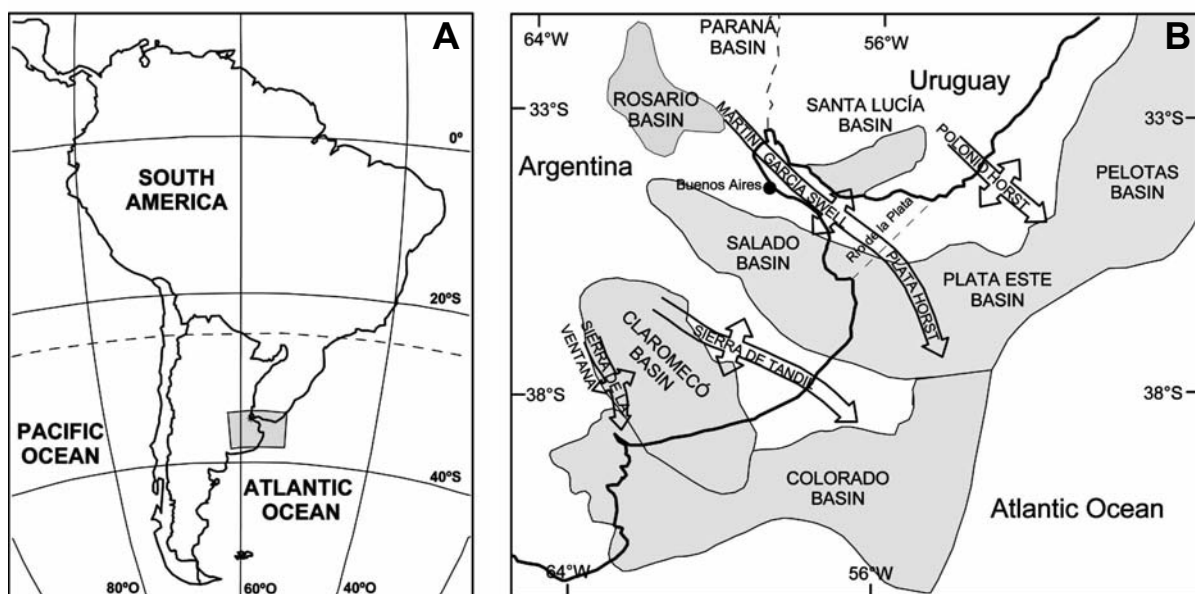
form with NW-SE inclination; it is located between 34° and 39° South Latitudes and 56° and 62° West Longitudes (Figure 1).

Following Ramos (1999) the Salado Basin is developed between Sierra de Tandilia and the Martín García Swell. Its tectonic is passive, with traction faulting gradually reaching the basin's center. This trench was shorter at the beginning, but it has grown during the Atlantic Ocean opening. It has been classified as an orthogonal pericratonic (Lesta 1974), aulacogen basin (Introcaso & Ramos 1984), with a smooth syncline (Rolleri 1975).

The Salado basin is one of the most studied basins of the area. Twelve hydrocarbon exploration boreholes have been drilled, three of them over the continental shelf. Several studies to find water sources were also made on the basin's interior and on its borders.

Several seismic works were performed over the basin. They include the refraction studies made by YPF inland and by Lamont Geological Observatory and the Servicio de Hidrografía Naval Argentino offshore. Other exploration seismic studies have been performed by the following oil companies: Astra and Signal (inland), and Esso, Shell, Union oil and Sun Oil (offshore). More than 2,700 km of seismic lines were explored inland and 8,300 km offshore.

The basin is thus very well delimited. Its extension is estimated in 70,000 km<sup>2</sup>, 44,000 km<sup>2</sup> inland and 26,000 km<sup>2</sup> offshore. The sedimentary volumes are estimated in 260,000 km<sup>3</sup>, 160,000 km<sup>3</sup> and 100,000 km<sup>3</sup> respectively. The north, south and east limits of the Salado Basin are constituted by normal faults of throw, confirmed by underground data. This faulting has generated positive areas of basement blocks covered by tenths or hundred of meters of Cretaceous and Cenozoic sediments. The basement emerges for example at the Martín García Island. Two positive areas have been found; the first one, the Martín García Swell, separating the Salado Basin from the Rosario, Santa Lucía and Paraná Basins, and the second one, the Plata horst, between the Salado Basin and the Plata Este Basin. The south-east limit of the Salado Basin is also described by normal



**Figure 1.** A: Location of the studied area in South America. B: Sedimentary limits of the Salado Basin and the surroundings tectonic units. Modified from Tavella & Wright (1996).

faults, with lower throws, separating the basin from the elevated basement block of the Sierras Bonaerenses. The north-west limit is the less known, but this area seems to be the one where the depositional border of the Cretaceous sequences is preserved.

Over the metamorphic Precambrian basement, similar to the that exposed in Uruguay, lower Cretaceous and upper Jurassic rocks have been found similar to those of the Paraná Basin. The maximum sedimentary thickness (mainly Cretaceous and Cenozoic) is 6500 – 7000 m. The depositional environment is mostly continental.

**Previous studies.** Since the first studies carried on by YPF, great attention has been paid to the Salado Basin because of the positive gravity anomaly present on it, contrary to the expected behavior for a sedimentary basin. The first gravimetric study was done by Martin (1954), who proposed that the positive gravimetric maximum observed over the basin could be attributed to an isostatic re-accommodation that did not take place during the genesis because of either the crustal rigidity or an insufficient lapse of time. Therefore, the sedimentary layers were compacted, generating the positive effect. Later, Orellana (1964) proposed the existence of an anti-root as the cause of the positive effect, while Zambrano (1974) assumed the existence of basic intrusive bodies on the bottom of the basin.

Recently, Introcaso (1980) analyzed several two-dimensional models with sedimentary layers of different densities, and concluded that the anti-root that Airy model predicts is not enough to explain the positive anomaly found. More recently, Introcaso (1997a) proposed several two-dimensional over-balanced models, with thicker anti-roots than the Airy anti-root, which together with dense basaltic materials on the bottom of the basin (compatible with materials found during the explorations), could explain the positive gravity anomalies observed inland.

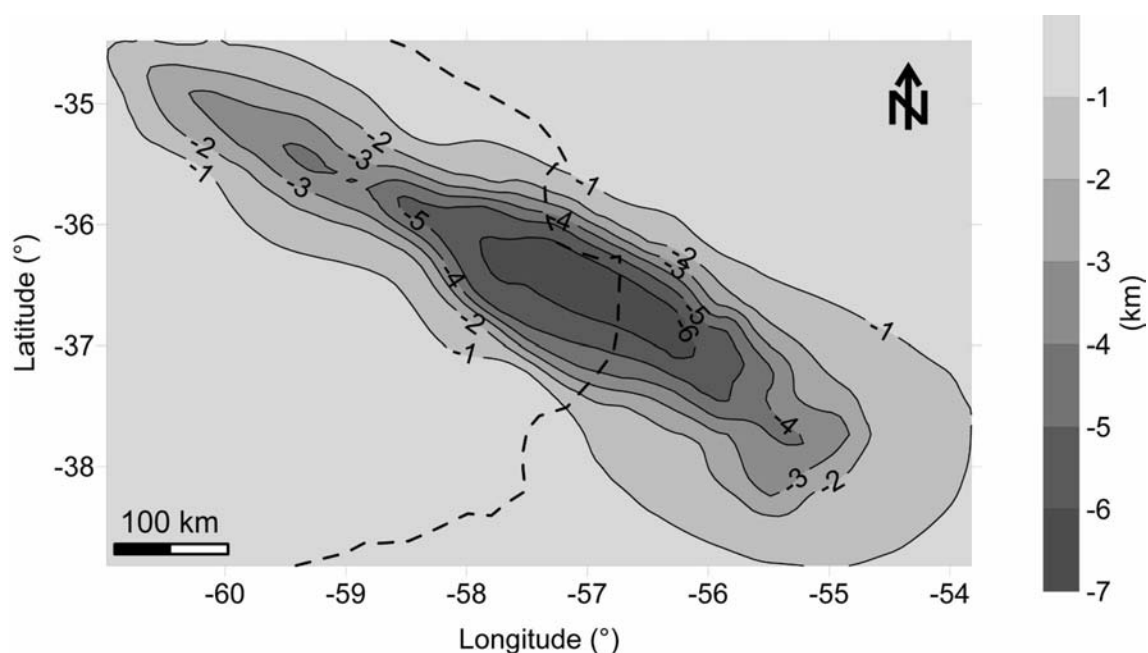
Introcaso et al. (2002, 2005) employed geoid

undulations to study the Salado Basin. In the first work, geoid undulations over the basin were extracted from two different sources: GPS-leveling values measured by Perdomo & Del Cogliano (1999) over the Buenos Aires province, and geoid undulations obtained from free-air gravity anomalies by the equivalent sources technique (Guspí et al. 2004). After filtering long wavelengths, residual geoid undulations from both sources show a positive anomaly of +1 m, coincident with the positive gravity anomaly found. In a preliminary isostatic analysis, geoid undulations from a balanced Airy model were computed employing one-dimensional approximations from Haxby & Turcotte (1978), finding that this balanced model could not explain the observed geoid undulations. The second work (Introcaso et al. 2005) shows several methods to obtain geoid undulations from gravity anomalies and inversely, gravity anomalies from geoid undulations, and the Salado Basin is employed as an example of application. No isostatic analysis is made in that work, but residual positive geoid undulations are also found from different methods.

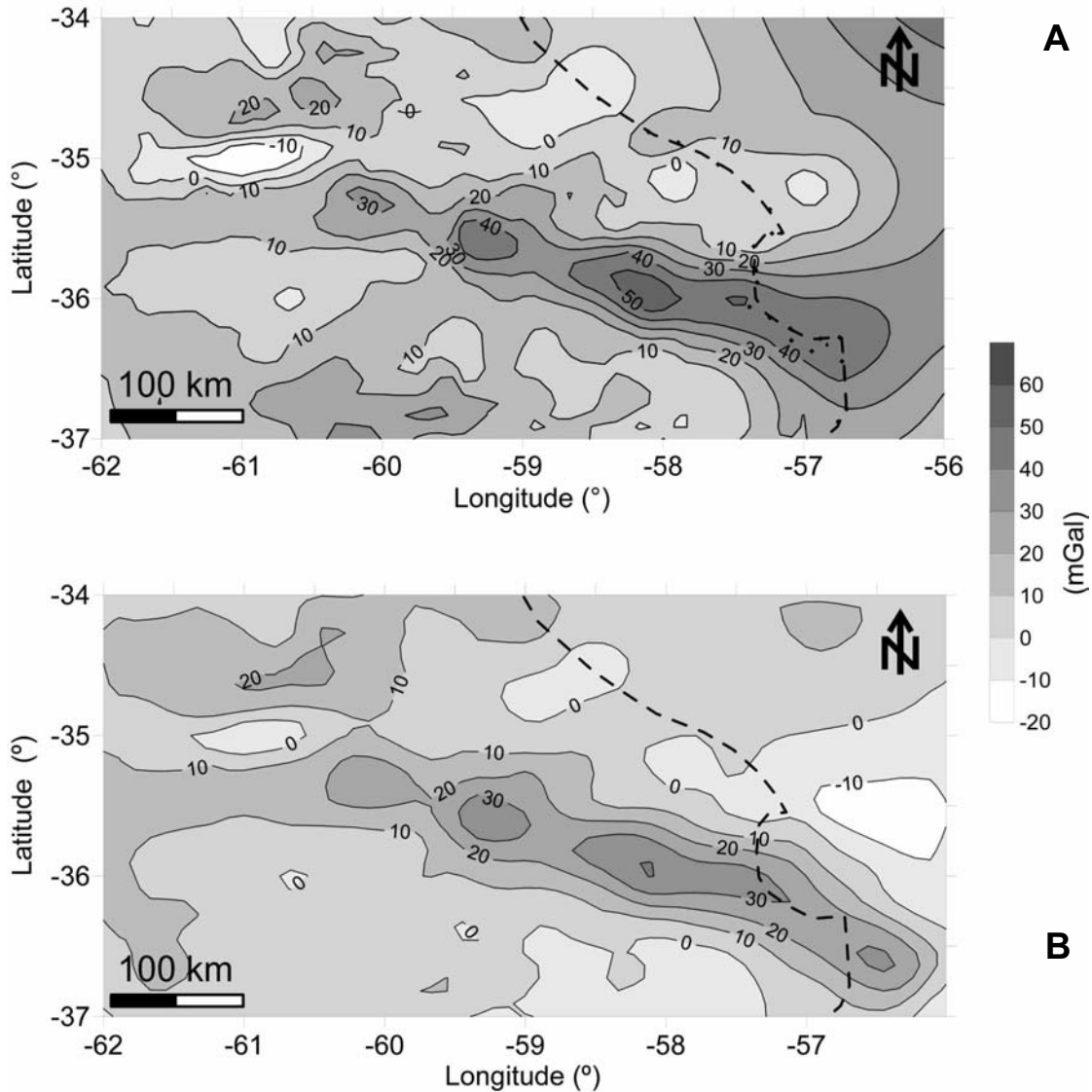
Unfortunately, previous isostatic analyses made for the Salado Basin from geoid undulations lack enough precision, since one-dimensional approximations for computing geoid undulations from balanced structures have proved to be deficient in middle to short wavelengths (Crovetto et al. 2006). In view of this situation we propose in the present paper a rigorous isostatic study of the Salado Basin from geoid undulations and gravity anomalies, carrying on all the computations in three-dimensions.

## OBSERVED DATA

**Basement isobaths.** Following Zambrano (1974), we considered as “basement” the lithostratigraphic set where the velocity is equal or more than 5 km/s. The basement isobaths corresponding to 1, 2, 3, 4, 5 and 6 km depth,



**Figure 2.** Basement isobaths, digitized from Zambrano (1974). The separation between contours is 1 km. The broken line shows the coast line.



**Figure 3. A:** Observed Bouguer anomalies. Continental anomalies are from the IFIR database (western of 57°W), and oceanic anomalies are from Baglietto (1969) (eastern of 57°W). **B:** Residual Bouguer anomalies filtered from long and very short wavelengths. The contour separation is 10 mGal. The broken line shows the coast line.

proposed in this sense by Zambrano (1974), were digitized considering 70 points for each curve. Depths values were interpolated in order to generate a rectangular grid between 35.5 – 39° S and 54 – 61° W employing the Kriging interpolation method, with a grid spacing of 10 km x 10 km (Cressie 1991). The election of Kriging as the gridding method was done for to ensure smoothness (Figure 2).

**Gravity anomalies.** Observed free-air gravity anomalies were obtained from the IFIR Argentinean data base (Introcaso et al. 1996), inside a window placed between 34 – 37° S and 57 – 62° W, where the most relevant values are present. Since this data base contains only continental data, an oceanic free-air anomaly chart was employed to extend the area up to 56° W, were obtained from Baglietto (1969) through underwater gravimetric measurements performed with the remote controlled submarine “North America” and an oceanographic ship from the Servicio de Hidrografía Naval (Argentina), measuring gravity in the

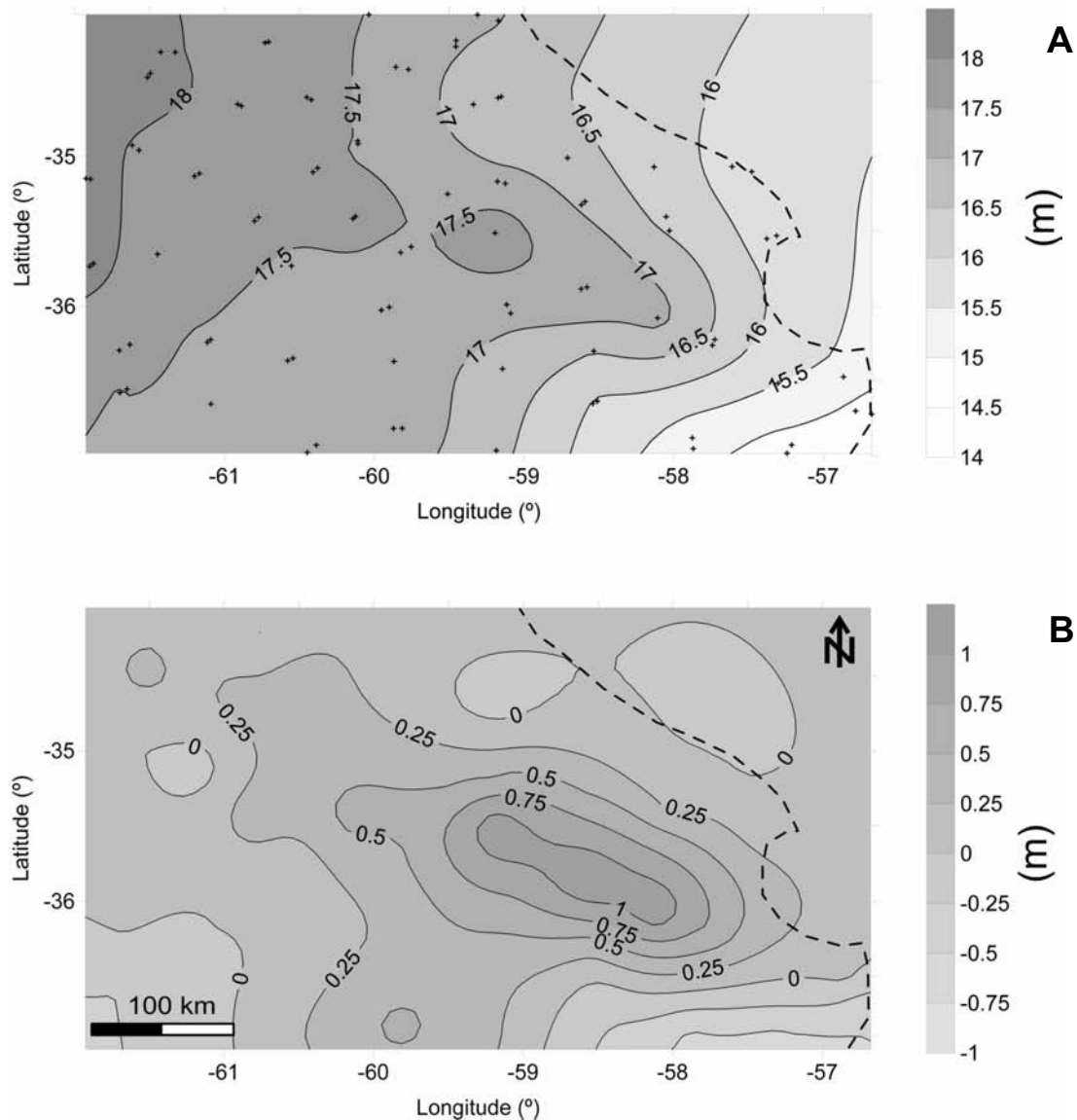
bottom of the Río de la Plata and the continental shelf.

Gravity anomalies from Baglietto (1969) were digitized and joined to the IFIR anomalies. Inland Bouguer anomalies (BA) were derived from free-air anomalies (FAA) through the classical Bouguer correction:

$$BA = FAA - 2.67 \cdot H \quad (\text{Eq. 1})$$

where  $G = 6.67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g s}^2$  is the universal gravitational constant,  $\rho_t = 2.67 \text{ g/cm}^3$  is topographic density and  $H$  is the topographic height (in meters), obtained from altimetry. Because of the low topography of the area, the Bouguer correction is very little and Bouguer anomalies almost coincide with free-air anomalies. Offshore Bouguer anomalies coincide with free-air anomalies.

Bouguer anomalies are shown in Figure 3A, where much contamination due to the surroundings structures (like Claromecó and Colorado Basins, and Sierras de Tandilia and Ventania) can be observed. The maximum Bouguer



**Figure 4. A:** Observed geoid undulations from Perdomo & Del Cogliano (1999). Contours separation is 0.5 m. The location of the 90 *h-H* stations is shown. **B:** Residual geoid undulations. Contours separation is 0.25 m. The broken line shows the coast line.

anomaly is nearly +60 mGal, which is north-west displaced respect to the maximum depths (Figure 2).

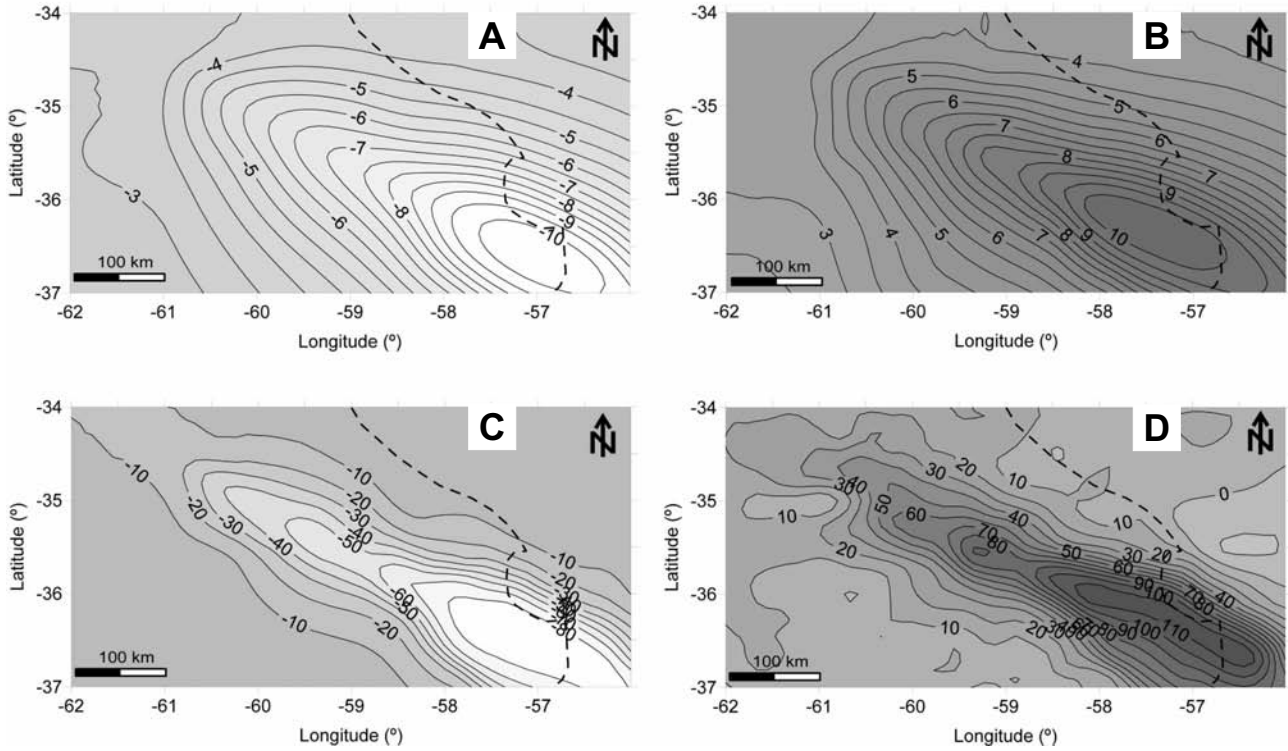
Observed Bouguer anomalies were filtered for long and very short wavelengths to eliminate the effects of the continental masses and the surroundings structures. Several methods were evaluated to perform the filtering. The tendency surface was adopted to isolate long wavelengths (Pacino 1983), employing a plane surface of NW-SE inclination to represent the regional anomaly, coherently with Introcaso et al. (2005). Very short wavelengths were filtered through an upward continuation at 5 km, performed in the frequency domain (Guspí & Pacino, 1985). Residual Bouguer anomalies obtained after applying both filters are shown in Figure 3B.

**Observed geoid undulations.** Geoid undulations were taken from Perdomo & Del Cogliano (1999), who performed GPS-leveling measurements over the whole Buenos Aires Province, 90 values of *h-H* inside our study area were interpolated using again the Kriging method;

level contours are shown in Figure 4A, where the location of the original *h-H* points is also illustrated.

Observed geoid undulations were also filtered for long wavelengths employing the tendency surface method and adopting a plane surface of inclination NW-SE, coherent with regional geoid inclination for South America (Blitzkow et al. 1996). Residual geoid undulations show maximum amplitude of +1 m over the basin, similar to that found by Introcaso et al. (2002) and Introcaso et al. (2005); Figure 4B shows this residual geoid.

**Sedimentary geological correction.** Since geometry and density of the basin are known, a geological correction can be performed to reduce the uncertainties in the modeling procedure. This correction consists of filling of the basin with the same material as the surrounding upper crust, then remaining anomalies will show the effects of all the unknown underlying masses, different to those filling the basin. This correction can be performed over the residual



**Figure 5.** **A:** Effect of the sediments over the geoid undulations. Contours separation is 0.5 m. **B:** Geoid undulations due to the unknown underlying masses. Contours separation is 0.5 m. **C:** Effect of the sediments over the gravity anomalies. Contours separation is 10 mGal. **D:** Gravity anomalies due to the unknown underlying masses. Contours separation is 10 mGal. The broken line shows the coast line.

observed Bouguer anomalies and the residual observed geoid undulations, employing the basement isobaths (Figure 2). The corrections are opposite to the effects generated by a mass of the same shape as the basin with density equal to the difference between the sedimentary and the upper crustal densities. It can be computed decomposing the basin into a set of right rectangular prisms, of heights equal to the basin depths and density contrast  $\rho_s - \rho_{uc} = (2.35 - 2.70) \text{ g/cm}^3 = -0.35 \text{ g/cm}^3$ , following Introcaso & Crovetto (2005);  $\rho_s$  is the density of the sediments or water filling the basin and  $\rho_{uc}$  is the upper crustal density.

For computing the gravity attraction of the prisms, the expression of Okabe (1979) was considered. Dividing the whole basin in a set of prisms, the vertical attraction of each one of them is:

$$g_z(x, y, z) = G \int \int \int \left[ x \ln(y+r) - y \ln(x+r) - 2z \arctan \frac{x-y+r}{z} \right]_{x_1}^{x_2} \left[ y_1 \right]_{y_2} \left[ z_1 \right]_{z_2} \quad (\text{Eq. 2})$$

where  $G$  is the universal gravitational constant,  $\rho$  is the contrast density,  $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$  are the limiting planes of the faces of the prism,  $P(x, y, z)$  is the computation point,  $x_i = x - x_i, y_i = y - y_i, z_i = z - z_i$ , with  $i = 1, 2$ , and  $r = \left[ (x_i)^2 + (y_i)^2 + (z_i)^2 \right]^{0.5}$  is the distance between the computation point and the vertices of the prism.

The same procedure was employed to compute the effect of the sediments on the observed geoid undulations. The gravity potential  $V$  of each prism was computed through the expression of Guspi (1999), symbols as in Equation 2:

$$V(x, y, z) = G \int \int \int \left[ xy \ln(z+r) - xz \ln(y+r) - yz \ln(x+r) - x^2 \arctan \frac{y-z-r}{x} - y^2 \arctan \frac{x-z-r}{y} - z^2 \arctan \frac{x-y-r}{z} \right]_{x_1}^{x_2} \left[ y_1 \right]_{y_2} \left[ z_1 \right]_{z_2} \quad (\text{Eq. 3})$$

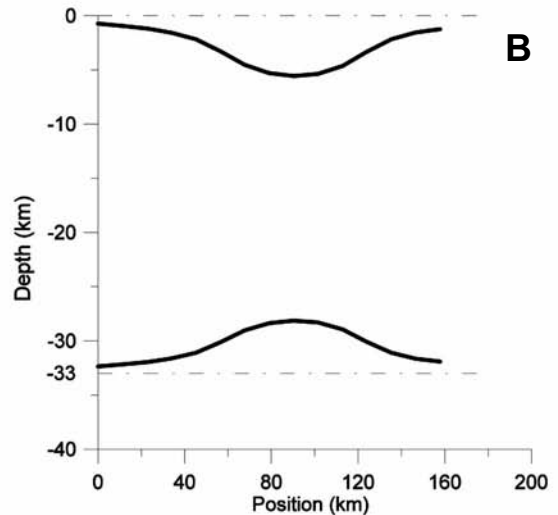
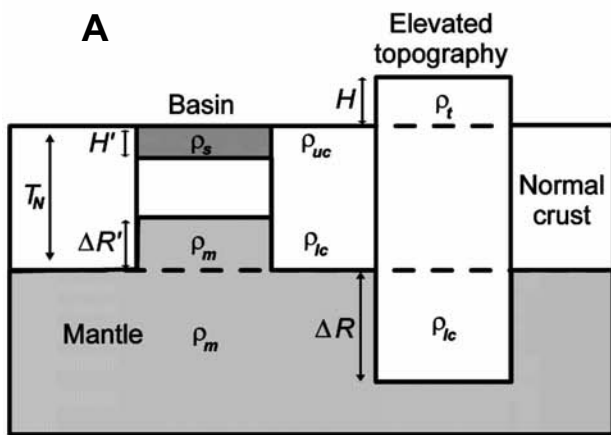
The Bruns' expression (Heiskanen & Moritz 1967, among others) was then employed to transform gravity potentials  $V$  of each prism into geoid undulations  $N$  of each prism:

$$N(x, y) = \frac{V(x, y, 0)}{g} \quad (\text{Eq. 4})$$

$g = 980 \text{ mGal}$  normal gravity of WGS84 Model, assuming the mean latitude of the studied area.

Figure 5 shows the effects of the anomalous sedimentary mass over the geoid undulations and over the Bouguer anomalies, and the geologically corrected geoid undulations and Bouguer anomalies. The sediments





**Figure 6. A:** Airy's hypothesis for basins and elevated topographies. **B:** Theoretical Airy balanced model for the Salado Basin. A profile across the maximum depths is shown.

generate a negative geoid undulation of -10 m in amplitude (Figure 5A), therefore geoid undulation due to the unknown underlying masses present a positive undulation of almost 11 m in amplitude (Figure 5B). The gravity attraction of the sediments raises to -80 mGal (Figure 5C), coherently with the values found by Introcaso (1997b), computed through the least rigorous method of Talwani & Ewing (1960). The unknown underlying masses generate an attraction of more than 110 mGal in the deepest area (Figure 5D).

**THEORETICAL MODEL**

**Airy's hypothesis.** Isostasy studies the crustal equilibrium of masses. When the crust raises respect to the sea level, as in the case of a mountain, there must be some kind of mechanism that balances the mass excess due to the mountain. In the same way, in oceanic or sedimentary basins, something must equilibrate the mass defect generated by the basin filling.

Several isostatic hypotheses have been proposed, being those of Airy (1855) and Pratt (1855) the earliest ones. Both authors assume that the equilibrium is locally reached due to crustal thickness variations (Airy) or lithosphere densities variations (Pratt). Later, Vening-Meinesz (1939) proposed the flexural hypothesis, where the external layer of the lithosphere behaves as an elastic plate bending by load applications, resulting in a regional compensation system (Watts 2001).

In his hypothesis, Airy states that the crust can be divided into adjacent blocks with identical densities, floating over the mantle, in perfect hydrostatic equilibrium (Figure 6A). For reaching the equilibrium, the blocks that exceed the sea mean level present a "compensating root" which sinks into the mantle, displacing it from its position. In the case of basins, the mantle raises displacing the lower crust from its position, creating a "compensating anti-root".

Following the hydrostatic theory, the weight of any vertical anomalous column must be equal to the weight of the displaced fluid, considering the normal crust and the mantle as fluids (Introcaso, 1997a). In the case of elevated topography (Figure 6A), the compensating root of each

block must have a thickness  $R$ , then:

$$\begin{aligned} \rho_t \cdot g \cdot H \cdot A &= \rho_c \cdot g \cdot T_N \cdot A + \rho_{lc} \cdot g \cdot R \cdot A \\ \rho_c \cdot g \cdot T_N \cdot A &= \rho_m \cdot g \cdot R \cdot A \end{aligned} \tag{Eq. 5}$$

where  $H$  is the height of the block,  $\rho_t$  is the topographic density,  $\rho_{lc}$  is the lower crustal density,  $\rho_c$  is the mean crustal density,  $\rho_m$  is the upper mantle density,  $T_N$  is the normal crustal thickness,  $A$  is the area of the section of the block, and  $g$  is mean gravity. This root is placed under the normal crustal thickness  $T_N$ , and  $R$  results:

$$R = \frac{\rho_t}{\rho_m - \rho_{lc}} H \tag{Eq. 6}$$

In the case of basins, the anti-root should have a thickness  $R'$ , then:

$$\begin{aligned} \rho_s \cdot g \cdot H' \cdot A &= \rho_c \cdot g \cdot (T_N - H' - R') \cdot A + \rho_m \cdot g \cdot R' \cdot A \\ \rho_{uc} \cdot g \cdot H' \cdot A &= \rho_c \cdot g \cdot (T_N - H' - R') \cdot A + \rho_{lc} \cdot g \cdot R' \cdot A \end{aligned} \tag{Eq. 7}$$

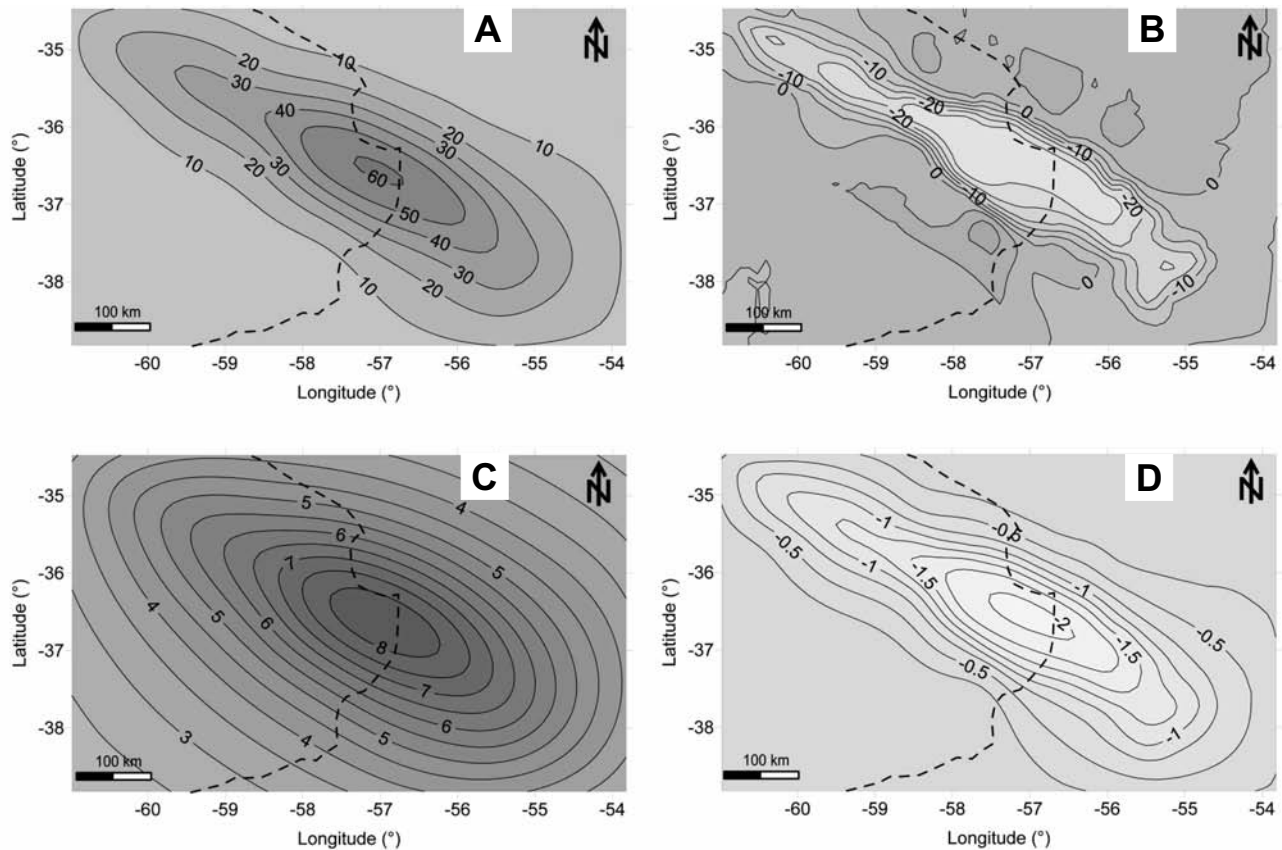
This anti-root is placed over the normal crustal thickness  $T_N$  (Figure 6A), and  $R'$  is:

$$R' = \frac{\rho_{uc} - \rho_s}{\rho_m - \rho_{lc}} H' \tag{Eq. 8}$$

In this case a stretching model is consistent with the shape of the system.

**Theoretical balanced model effects.** The equation (8) results  $R' = 0.875H'$  where contrast-densities were assumed  $\rho_s - \rho_{uc} = (2.35 - 2.70) \text{ g/cm}^3 = -0.35 \text{ g/cm}^3$  and  $\rho_m - \rho_{lc} = (3.30 - 2.90) \text{ g/cm}^3 = -0.40 \text{ g/cm}^3$ . A profile across the maximum depths of the resulting Salado Basin balanced model is shown in Figure 6B.

The effects of this theoretical model were computed employing again the three-dimensional integration, decomposing the structure in a set of prisms.



**Figure 7.** **A:** Attraction of the Airy compensating anti-root. Contour separation is 10 mGal. **B:** Theoretical Bouguer anomaly from the balanced Airy model. Contour separation is 5 mGal. **C:** Effect of the anti-root of the balanced Airy model on the geoid undulations. Contour separation is 0.5 m. **D:** Theoretical geoid undulations from the Airy balanced model. Contour separation is 0.25 m. The broken line shows the coast line.

For the basin part, the prisms were considered to have a density contrast  $\rho_s - \rho_{uc}$ . For the anti-root, the prisms were considered to have a density contrast  $\rho_m - \rho_{lc}$ . Equation (2) was employed for computing the gravity effect of both masses, while equations (3) and (4) were employed for computing the effects on geoid undulations. Results are shown in Figure 7, where Bouguer anomalies and geoid undulations generated by this theoretical balanced model can be appreciated. The effects of the anti-root alone are also shown, for helping in comparison.

## DISCUSSION

It is clear from Figure 7, that theoretical Airy balanced model reproduces neither the observed Bouguer anomalies nor the observed geoid undulations on the Salado Basin. The Airy compensating anti-root generates lower gravity and geoid effects than the observed ones.

Gravity attraction from the compensating anti-root (Figure 7A), presents maximum amplitude of 60 mGal, while the maximum amplitude of the observed effect of the unknown underlying masses of the basin is more than 110 mGal (Figure 5D). The total Bouguer anomaly generated by this theoretical balanced model shows negative amplitude of -30 mGal over the deepest area (Figure 7B), while the observed Bouguer anomalies show positive amplitude of 30 mGal (Figure 3B).

The same behavior is present in geoid

undulations. The undulations produced by the theoretical Airy compensating anti-root reach amplitude of 8 m over the deepest basin area (Figure 7C), while the undulations produced by real but unknown underlying masses is 11 m (Figure 5B). The total geoid undulations produced by this theoretical Airy balanced model show negative maximum amplitude of -2 m (Figure 7D), while the real observed total geoid undulations over the basin present a positive amplitude of 1 m (Figure 4B).

Another important feature to point out is that maximum amplitudes are displaced between actual and theoretical gravity anomalies and geoid undulations charts. Real maximum amplitudes are placed at  $-36^\circ\text{S}$ ,  $-58^\circ\text{W}$  (Figures 3B and 4B), but theoretical maximum amplitudes are placed at  $-36.5^\circ\text{S}$ ,  $-57^\circ\text{W}$  (Figures 7B and 7D) approximately. This difference could be attributed to the isobaths, which are responsible for the theoretical results. The employed isobaths are out of date and probably have a high degree of uncertainty that could be perturbing our results. Unfortunately, this fact did not appear in earlier works because they were all two-dimensional, considering some profiles transverse to the inland portion of the basin.

After these considerations, it becomes clear that the Salado Basin is not balanced according to Airy's hypothesis. To explain the great positive values of gravity anomalies and geoid undulations produced by the unknown underlying masses, the dimensions of those masses should exceed those proposed by Airy's hypothesis. As a result of this, the Salado Basin seems to be largely overbalanced.

Of course, the possibilities are not only limited to overbalance. Some gravimetric studies showed the necessity of considering intrusive basaltic rocks plus a strong overbalance to explain the positive Bouguer anomalies. In this sense further work is being performed to find a model that completely reproduces the observed Bouguer anomalies and the observed geoid undulations.

### CONCLUSIONS

The positive Bouguer anomaly present over the Salado Basin has been the subject of several studies in the last fifty years. Employing traditional gravimetry some models were proposed to explain this positive anomalies, where an additional anti-root than that predicted by Airy's hypothesis was found to be necessary. Other models include basaltic intrusive material in the basin's bottom, coherent with some dense rocks found during explorations.

In the present paper we analyzed both, Bouguer anomalies and geoid undulations over the Salado Basin. Both charts show a positive maximum, approximately over the deepest zone of the basin. After rigorous computation of the gravity anomalies and geoid undulations produced by a balanced theoretical Airy model employing three-dimensional calculations, we realized that this model can not explain the positive values observed. An additional anti-root than that predicted by Airy, should be present under the basin to generate them. Thus, from this double interpretation of geoid and gravity, the Salado Basin seems to be overbalanced.

More complex models, including intrusive basaltic material on the bottom of the basin, are now being studied to find the model that best reproduces simultaneously the observed gravity anomalies and geoid undulations.

### Acknowledgements

C.B. Crovetto would like to acknowledge Fundación Josefina Prats (Rosario) and CONICET, for their economical supports during her PhD studies. This work was partially supported by ANPCyT PICTR 2002-00166. C. Ravazzoli and J. Kostadinoff acted as reviewers of the journal.

### REFERENCES

- Airy G.B., 1855. On the computation of the effect of the attraction of mountain-masses, as disturbing the apparent astronomical latitude of stations of geodetic surveys. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **145**: 101-104.
- Baglietto E.E., 1969. Contribuciones a la geodesia aplicada, *Instituto de Geodesia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Buenos Aires*, 97p., Buenos Aires.
- Blitzkow D., Lobianco M.C. & Fairhead J.D., 1996. Data coverage improvement for geoid computation in South America. *International Association of Geodesy Symposia, Gravity, Geoid and Marine Geodesy, International Symposium 117, Japan*: 523-531.
- Cressie N.A., 1991. Statistics for Spatial Data, *John Wiley and Sons Inc.*, 900 p., New York.
- Crovetto C., Molinari R. & Introcaso A., 2006. Aproximaciones para el cálculo del geode isostático. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* **61(3)**: 38-48.
- Guspí F., 1999. Fórmulas compactas para el cálculo del potencial gravitatorio de prismas rectangulares. In: Introcaso, A. (ed.): *Contribuciones a la Geodesia en la Argentina de fines del siglo XX – Homenaje a Oscar Parachú*, UNR Editora: 129-133, Rosario.
- Guspí F. & Pacino M.C., 1985. Prolongación ascendente y descendente de campos potenciales en el dominio frecuencial. *Geoacta* **13(1)**: 267-279.
- Guspí F., Introcaso A. & Introcaso B., 2004. Gravity-enhanced representation of measured geoid undulations using equivalent sources. *Geophysical Journal International* **159**: 1-8.
- Haxby W. & Turcotte D., 1978. On isostatic geoid anomalies. *Journal of Geophysical Research* **94 (B4)**: 3876-3890.
- Heiskanen W. & Moritz H., 1967. Physical Geodesy. *Freeman and Company*, 364 pp., San Francisco.
- Introcaso A., 1980. A gravimetric interpretation of the Salado Basin (Argentina). *Bollettino di geodesia teorica ed applicata* **22(87)**: 187-200.
- Introcaso A., 1997a. Gravimetría. *UNR Editora*, 359 pp., Rosario.
- Introcaso A., 1997b. La evolución futura de la cuenca del Salado. *Tesis Doctoral Universidad Nacional de Rosario*, 150 pp., Rosario.
- Introcaso A. & Ramos V., 1984. La cuenca del Salado. Un modelo de evolución aulacogénica. *Noveno Congreso Geológico Argentino (Bariloche)* **3**: 27-46.
- Introcaso A., Guspí F. & Pacino M.C., 1996. Cartas gravimétricas de las anomalías de la gravedad en Argentina. *Internacional Federation of Surveyors, Symposia Papers*: 79-100.
- Introcaso A., Guspí F. & Introcaso B., 2002. Interpretación del estado isostático de la Cuenca del Salado (Provincia de Buenos Aires) utilizando un geode local obtenido mediante fuentes equivalentes a partir de anomalías de aire libre. *Actas del Decimoquinto Congreso Geológico Argentino (El Calafate). Artículo* **139**, 6 pp.
- Introcaso A. & Crovetto C., 2005. Introducción a la construcción del geode, *Colección Temas de Geociencias* **12**: 1-56.
- Introcaso B., Crovetto C. & Introcaso A., 2005. Obtención de una carta de g desde las ondulaciones del geode. Aplicaciones al estudio de la cuenca del Salado (Argentina). *Tercer Congreso Cubano de Geofísica (La Habana)* **23**, 6 pp.
- Lesta P., 1974. Exploraciones de la patagonia continental argentina. *Comunicación Yacimientos Petrolíferos Fiscales* (Buenos Aires) **8**: 20-41.
- Martin R., 1954. Gravity Maxima corresponding with sedimentary basins. *Geophysics* **19**: 89-94.
- Okabe M., 1979. Analytical expressions for gravity anomalies due to homogeneous polyhedral bodies and translations into magnetic anomalies. *Geophysics* **44(4)**: 730-741.
- Orellana E., 1964. Contribución al conocimiento de la corteza terrestre bajo la cuenca sedimentaria del río Salado. *Tercera Reunión Asociación Argentina de Geofísicos y Geodesias* (Rosario), 53 pp.

- Pacino M.C., 1983. Determinación de anomalías regionales y residuales por medio de superficies de tendencia. *Segundo Simposio Sudamericano de Cogeodatos* **1**: 151-171.
- Perdomo R. & Del Cogliano D., 1999. The geoid in Buenos Aires region. *International Geoid Service, Bulletin, Special Issue for South America* **9**: 109-116.
- Pratt J.H., 1855. On the attraction of the Himalaya Mountains, and of the elevated regions beyond them, upon the plumb line in India. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London* **145**: 53-100.
- Ramos V., 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. In: R. Caminos (ed.): Geología Argentina. *Anales del Servicio Geológico y Minero Argentino* **29 (3)**: 41-93.
- Rolleri E., 1975. Provincias geológicas bonaerenses. In: Geología de la Provincia de Buenos Aires. *Relatorio del Sexto Congreso Geológico Argentino (Buenos Aires)*: 29-53.
- Talwani M. & Ewing M., 1960. Rapid computation of gravitational attraction of three-dimensional bodies of arbitrary shape. *Geophysics* **25**: 203-225.
- Tavella G. & Wright C., 1996. Cuenca del Salado. *Decimotercero Congreso Geológico Argentino y Tercer Congreso de Exploración de Hidrocarburo, Buenos Aires*. In: V.A.Ramos y M.A.Turic (ed.): Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina, *Relatorio* **6**: 95-116.
- Vening-Meinesz F.A., 1939. Tables fondamentales pour la réduction isostatique régionale. *Bulletin Géodésique* **63**: 711-776.
- Watts A.B., 2001. Isostasy and flexure of the lithosphere. *Cambridge University Press*, 458 pp., Cambridge.
- Zambrano J.J., 1974. Cuencas Sedimentarias en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* **29(4)**: 443-449.

## AMMONITES OF THE MIDDLE TITHONIAN INTERNISPINOSUM ZONE FROM BARDA NEGRA, SOUTHERN NEUQUÉN-MENDOZA BASIN, ARGENTINA

Horacio PARENT, Armin SCHERZINGER, Günter SCHWEIGERT & Oscar D. CAPELLO



Boletín  
del Instituto de  
Fisiografía y Geología

Parent H., Scherzinger A., Schweigert G. & Capello O.D., 2007. Ammonites of the Middle Tithonian Internispinosum Zone from Barda Negra, southern Neuquén-Mendoza Basin, Argentina. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología 77(1-2)*: 11-24. Rosario, 01-10-2007. ISSN 1666-115X.

**Abstract.-** An ammonite fauna from an isolated outcrop of the Upper Jurassic Vaca Muerta Formation is described from Barda Negra in the southern part of the Neuquén-Mendoza Basin. It comprises several macroconch specimens of the species *Aspidoceras* cf. *euomphalum* Steuer, 1897 besides macroconchs and microconchs of *Windhausenicerias internispinosum* (Krantz, 1926), the index species of the Andean Middle Tithonian Internispinosum Zone. Morphological and taxonomic relationships of the studied aspidoceratids with previously described species and the sexual dimorphism in *W. internispinosum* are discussed.

**Key-words:** Tithonian, Neuquén-Mendoza Basin, *Aspidoceras*, *Windhausenicerias*, Sexual Dimorphism, Biostratigraphy.

**Resumen.-** Amonites de la Zona Internispinosum del Tithoniano Medio de Barda Negra, sur de la Cuenca Neuquén-Mendoza, Argentina. Se describe una fauna de amonites colectada en un afloramiento aislado de la Formación Vaca Muerta en Barda Negra, en la parte sur de la Cuenca Neuquén-Mendoza. Esta fauna comprende especímenes de *Aspidoceras* cf. *euomphalum* Steuer, 1897 y macroconchas y microconchas de *Windhausenicerias internispinosum* (Krantz, 1926), la especie índice de la Zona Internispinosum del Tithoniano Medio andino. Se discuten las relaciones morfológicas y taxonómicas de los aspidoceratidos estudiados con las especies previamente descritas y el dimorfismo sexual de *W. internispinosum*.

**Palabras clave:** Tithoniano, Cuenca Neuquén-Mendoza, *Aspidoceras*, *Windhausenicerias*, Dimorfismo sexual, Bioestratigrafía.

Horacio Parent [e-mail: parent@fceia.unr.edu.ar]: *Laboratorio de Paleontología, FCEIA, Universidad Nacional de Rosario, Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina.*

Armin Scherzinger [e-mail: Armin.Scherzinger@t-online.de]: *Hewenstraße 9, 78194 Immendingen-Hattingen, Germany.*

Günter Schweigert [e-mail: schweigert.smns@naturkundemuseum-bw.de]: *Staatliches Museum für Naturkunde, Rosenstein 1, 70191 Stuttgart, Germany.*

Oscar D. Capello: *Tucumán 1990, 2000 Rosario, Argentina.*

*Received: 03/06/2007; accepted: 21/08/2007.*

*Editor: E.P. Peralta*

## INTRODUCTION

Barda Negra is the name generally used to indicate a rather flat, wide area located west of the large basaltic Meseta Barda Negra, about 20 km south of Zapala, in the southeastern part of the Neuquén-Mendoza Basin (Fig. 1). This area belongs to the Geological Sheet 36c – Cerro Lotena (Neuquén), which was masterly described by Suero (1951). Almost the whole area is covered by recent sands and other modern materials. Outcrops of marine rocks from the Upper Jurassic and Lower Cretaceous are small and scattered. There were no published descriptions of ammonites from this area. During recent fieldwork related with the inspection for potential limestone exploitations, a small outcrop (Fig. 1) has been discovered. The outcrop consists of decimetric beds of limestones belonging to the Vaca Muerta Formation and containing a rich marine fauna of Tithonian age. The exposed few meters of limestones belong to the Andean Middle Tithonian Internispinosum Zone. The lithology is similar to the equivalent horizons in Cerro Lotena (see Leanza 1980). The fauna includes bivalves, gastropods (*Tornatellaea mendozana* Gründel et al., 2007), nautiloids and ammonites. The ammonites are abundant, in general moderately well-preserved, and some of them with their preserved aptychi, besides some microconchs showing the adult peristome with the lappets.

The aim of this paper is to describe the ammonite fauna and to correlate the stratigraphic horizon based on the ammonite biostratigraphy of the Neuquén-Mendoza Basin.

## STRATIGRAPHY

The section at the outcrop studied is about 2.63 m thick with the following stratigraphic succession (Fig. 1), from top:

**Bed BN-15:** 0.21 m, hard, grey to white limestone. Decapods and gastropods (*Tornatellaea mendozana*).

**Bed BN-14:** 0.06 m, yellowish white marl.

**Bed BN-13:** 0.18 m, hard, grey to white limestone.

**Bed BN-12:** 0.01 m, yellowish white marl.

**Bed BN-11:** 0.24 m, hard, grey to white limestone.

**Bed BN-10:** 0.13 m, yellowish white marl.

**Bed BN-9:** 0.20 m, hard, grey to white limestone.

**Bed BN-8:** 0.15 m, yellowish white marl.

**Bed BN-7:** 0.36 m, hard, grey to white limestone.

**Bed BN-6:** 0.10 m, yellowish white marl.

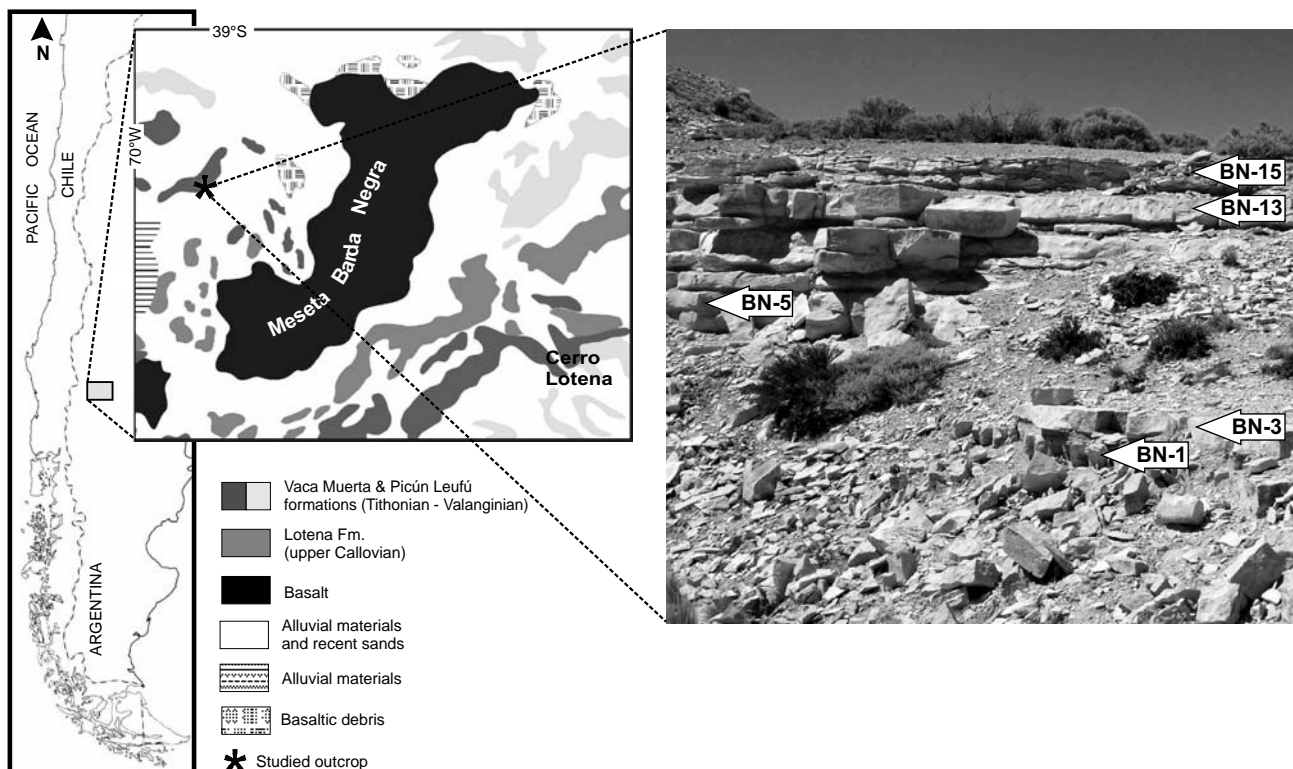
**Bed BN-5:** 0.50 m, hard, grey to white limestone.

**Bed BN-4:** 0.08 m, light brown sandy marl.

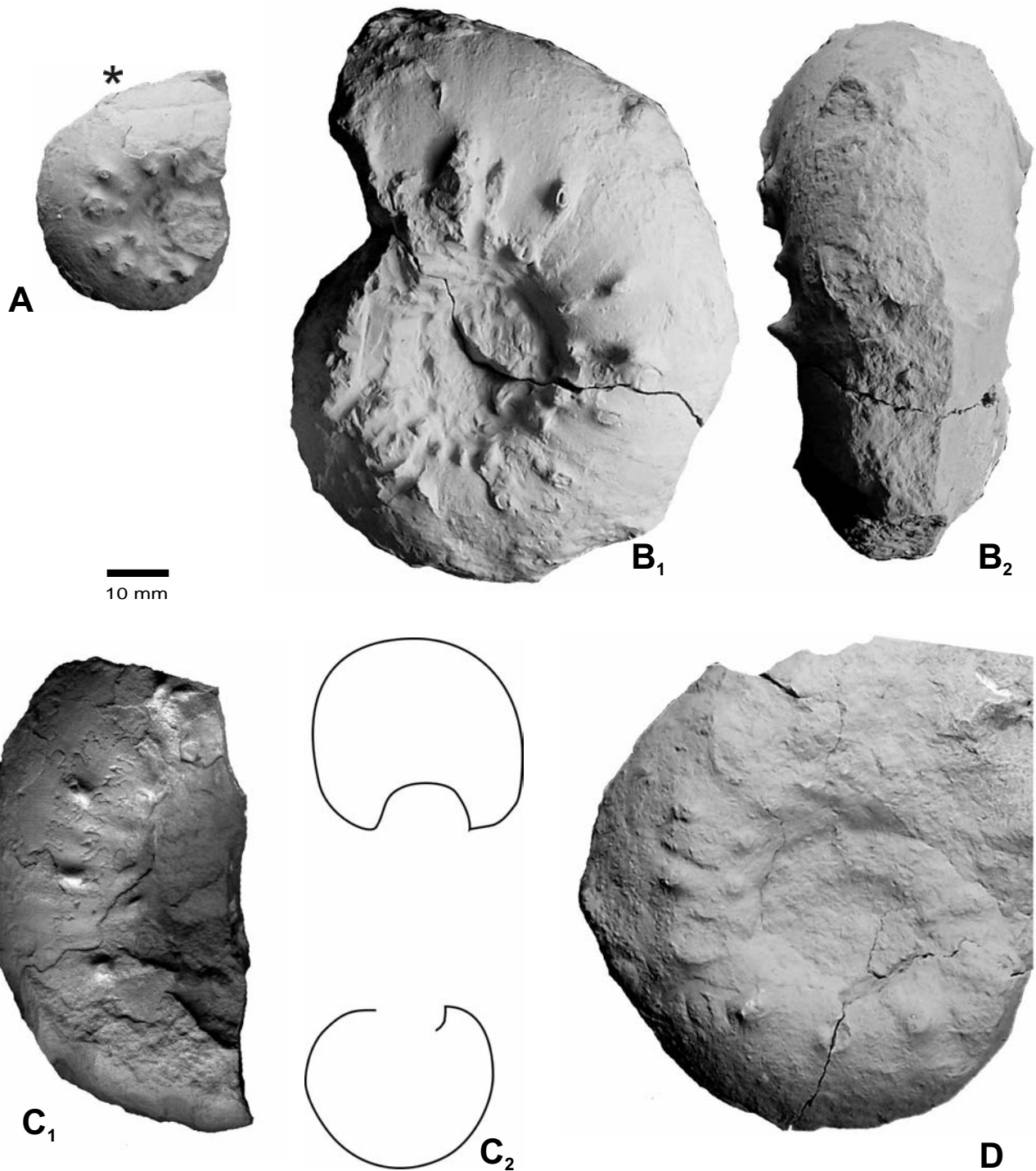
**Bed BN-3:** 0.18 m, grey-yellowish, finely sandy limestone. Ammonites (*W. internispinosum*, *A. cf. euomphalum*), gastropods (*Tornatellaea mendozana*), nautiloids, bivalves.

**Bed BN-2:** 0.05 m, light brown sandy marl.

**Bed BN-1:** c. 0.18 m, grey-yellowish, finely sandy limestone. Reddish brown weathered. Beds 1-3 are at the base of the outcrop, exposed after a recent excavation which has provided fresh material.



**Figure 1.** Geographic location of the Barda Negra area, geological map (based in Delpino & Deza 1995) with indication of the position of the outcrop (asterisk) where were collected the ammonites studied, and detailed view of the outcrop with indication of reference beds as numbered in text.

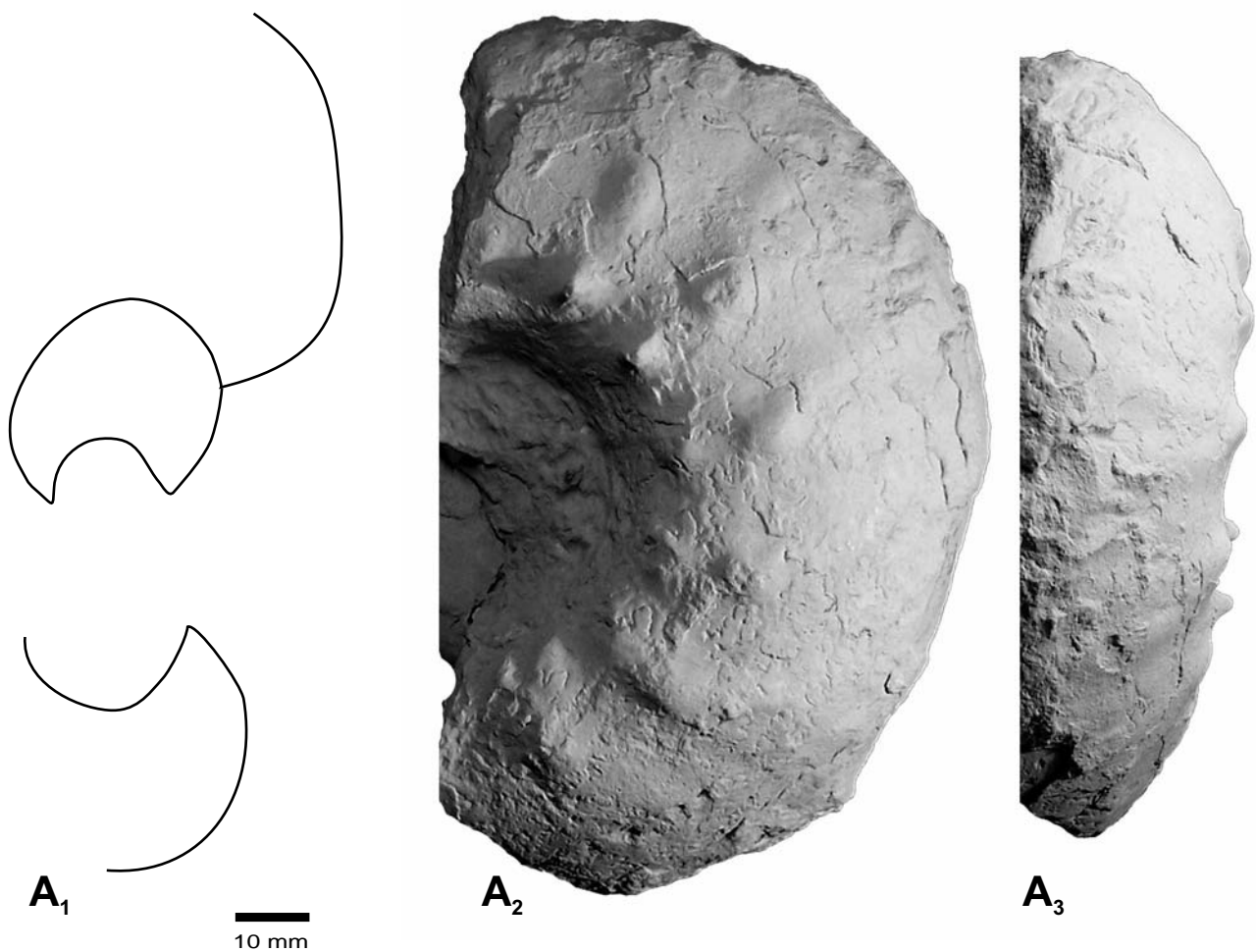


**Figure 2.** *Aspidoceras* cf. *euomphalum* Steuer, 1897. **A:** Lateral view of a juvenile macroconch with beginning of bodychamber (MOZP 7561). **B:** Lateral (**B<sub>1</sub>**) and ventral (**B<sub>2</sub>**) views of a juvenile macroconch phragmocone (MOZP 7565). **C:** Juvenile macroconch phragmocone (**C<sub>1</sub>**: lateral view, **C<sub>2</sub>**: whorl section) (MOZP 7568). **D:** Lateral view of a juvenil macroconch (MOZP 7564). Barda Negra, bed BN-3, Middle Tithonian, Internispinosum Zone. All natural size. Asterisk marks last septum.

#### SYSTEMATIC PALEONTOLOGY

The studied material is housed in the collections of the Museo Olsacher (MOZP), Zapala, Neuquén. Body-chamber is abbreviated with Bc and phragmocone with Ph; macroconch: [M], microconch: [m]. Dimensions are indicated as follows: diameter ( $D$ ), diameter at last septum

( $D_{ls}$ ), diameter at peristome ( $D_p$ ), umbilical width ( $U$ ), width of whorl section ( $W$ ), height of whorl section ( $H_1$ ), and ventral or apertural height of whorl section ( $H_2$ ), all given in millimeters (mm); approximated values denoted by (e); length of body-chamber ( $L_{bc}$ ) in degrees [ $^\circ$ ]. Number of primary ( $P$ ) and ventral ( $V$ ) ribs, and lateral ( $T_l$ ) and umbilical ( $T_u$ ) tubercles per each half whorl.



**Figure 3.** *Aspidoceras* cf. *euomphalum* Steuer, 1897. Whorl section (**A<sub>1</sub>**) and lateral (**A<sub>2</sub>**) and ventral (**A<sub>3</sub>**) views of the subadult phragmocone of a macroconch (MOZP 7562). Barda Negra, bed BN-3, Middle Tithonian, Internispinosum Zone. All natural size.

**Order Ammonoidea Zittel, 1884**  
**Suborder Ammonitina Zittel, 1884**  
**Superfamily Perisphinctoidea Steinmann, 1890**  
**Family Aspidoceratidae Zittel, 1895**  
**Subfamily Aspidoceratinae Zittel, 1895**  
**Genus *Aspidoceras* Zittel, 1868**

Type species: *Ammonites rogoznicensis* Zejszner, 1846  
 (by monotypy)

***Aspidoceras* cf. *euomphalum* Steuer, 1897**

Figs. 2-7

- cf.1897 *Aspidoceras euomphalum* nov. sp.- Steuer: 195, pl. 5: 1-4 [lectotype, herein designated].  
 cf.1921 *Aspidoceras euomphalum* nov. sp.- Steuer: 98, pl. 5: 1-4 [= lectotype].  
 1973 *Aspidoceras haupti* Krantz.- Verma & Westermann: 193, pl. 36: 2, pl. 37: 1.  
 ?1973 *Aspidoceras* sp. - Leanza: 125.  
 1980 *Aspidoceras euomphalum* Steuer.- Leanza: 41, pl. 8: 1.  
 1981a *Aspidoceras euomphalum* Steuer.- Leanza: 80.  
 1981b *Aspidoceras euomphalum* Steuer.- Leanza: pl. 2: 11.  
 1990 *Aspidoceras* aff. *altum* Biro-Bagoczky.- Leanza

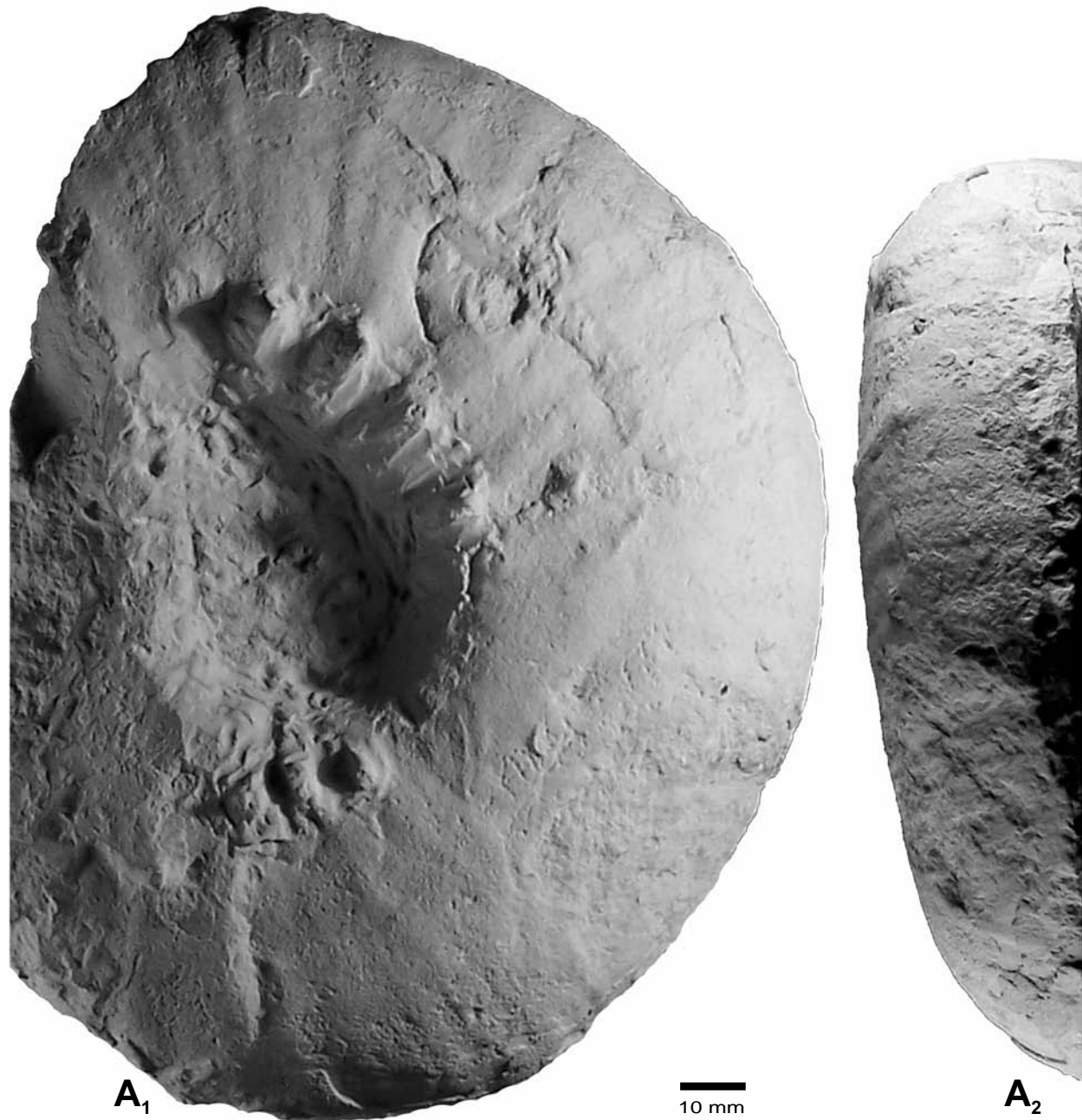
& Zeiss: 176, pl. 36: 3.

- ?1992 *Aspidoceras altum* Biro-Bagoczky.- Leanza & Zeiss: 1844.  
 ?1994 *Aspidoceras altum* Biro-Bagoczky.- Leanza & Zeiss: 250.  
 2007 *Aspidoceras* cf./aff. *altum* Biro-Bagoczky.- Gründel et al.: 144.  
 2007 *Aspidoceras* aff. *neuquensis* Weaver.- Gründel et al.: 144.

**Material.-** Eight moderately well-preserved macroconchs of very different sizes (two are adult, the remaining juvenile), some of them with parts of the body-chamber (MOZP 7561-7568) and remains of test. Several aptychi (MOZP 7560). All from bed BN-3.

**Description.-** Available material includes macroconchs only, some of them with part of the body-chamber, along a wide range of sizes allowing to compose the ontogeny of the species from about 30 mm in diameter. Ornamentation (ribs and tubercles, base of spines) irregular in density and arrangement throughout the ontogeny. At about  $30 < D < 80$  mm shell rather involute with subcircular whorl section ( $W/H_1 = 0.90 - 1.10$ ); umbilicus narrow ( $U/D = 0.20 - 0.25$ ) and deep; two rows of tubercles; the umbilical





**Figure 4.** *Aspidoceras* cf. *euomphalum* Steuer, 1897. Lateral ( $A_1$ ) and ventral ( $A_2$ ) views of an adult macroconch with beginning of body-chamber (MOZP 7563). See whorl section in Fig. 5B. Barda Negra, bed BN-3, Middle Tithonian, Internispinosum Zone. All natural size. [This specimen shows the transition from rounded, bispinose whorls (cf. Figs. 2B-D, 3) to the more compressed and strongly ribbed whorls with unpaired tuberculation as seen in Fig. 5A].

tubercles are small, radially elongated, corresponding one to one with the lateral ones which are conical and larger. Some pairs are connected by a wide rib, lower than the tubercles and confined between them. In pairs unconnected by a rib, the umbilical tubercle is commonly larger than the lateral one. The venter is smooth. At about  $80 < D < 180$  mm (last whorl of phragmocone) the shell is more evolute with the umbilicus somewhat wider ( $U/D = 0.25 - 0.35$ ); whorl section subcircular to suboval ( $W/H_1 = 0.90 - 1.00$ ). Ornamentation is composed by two rows of tubercles as in preceding whorls, and from the last part of phragmocone, dense, strong primary ribs borne on the

umbilical shoulder, commonly from a tubercle, and cross the flanks and venter almost radially, undivided and unchanged on the venter. Growth lines are dense, parallel to the ribs, well-marked on the test but not on the internal mold. The adult body-chamber tends to be more compressed ( $W/H_1 < 1.00$ ) with flattish, slightly convex flanks. The two rows of tubercles are stronger; each five umbilical tubercles there are about three lateral ones, one of them connected by ribs to an umbilical pair. The largest macroconch of the sample,  $D_p$  close to 450 mm, is uncoiled in the last portion, subrectangular in whorl section with indistinct peristome, simple and smooth.

Mandibles: There is a well-preserved specimen in the same piece of rock with a macroconch (MOZP 7563). It represents a typical *Laevaptychus*, two pieces, spherical triangles with a striated concave face and a punctate convex face.

*Discussion and comparison.*- The sample allows to characterize a moderately involute and irregularly ornamented Aspidoceratid, with an early and persistent umbilical row of tubercles and a more irregular and less dense row of lateral tubercles (Fig. 7A-C), most of which are connected by a rib; and on the adult, abundant wide ribs crossing venter. The adult body-chamber has *Toullisphinctes*-like aspect (see Schweigert 1997: fig. 5), but the persistent bituberculation from inner whorls and the arrangement of ribs and tubercles indicate that the present species belongs to the genus *Aspidoceras*. The suture line, partially observed in some specimens, is typical of the genus *Aspidoceras*, without significations for distinguishing species, their lobes and saddles varying in wide and height depending of the inflation of the whorl section which changes in present species during ontogeny as described above (see Figs. 2C<sub>2</sub>, 3A<sub>1</sub>, 5A<sub>1</sub>, 5B, 7A).

The studied specimens can be compared best with *A. euomphalum* Steuer, 1897. The lectotype [Steuer 1897 (Spanish translation 1921): pl. 5: 1-2; herein designated and figured photographically in Fig. 8] comes from Arroyo Cieneguita (Mendoza), "bed III", most likely from the interval Alternans-Koeneni zones (Upper Tithonian) as indicated by the ammonites listed by Steuer (1921), including those from his "bed I" of Loncoche (Mendoza). The lectotype preserves only a short part of its body-chamber and does not look like an adult, thus preventing full comparison with the specimens described. The phragmocone is very similar and the last whorl shows vanishing of the lateral tubercles as seen in the macroconch shown in Fig. 4. The main differences are that the lectotype has no ribs on its last preserved whorl and comes from beds of higher biostratigraphical levels. In this way the described species could be interpreted as an early transient of *A. euomphalum*, and the specific name could be retained with indication of this feature (see Dietze et al. 2005 for the meaning of transient as used here). Krantz (1928: 11) pointed out that specimens of *A. euomphalum* (including material from the Internispinosum Zone of Cerro Lotena associated with *Aspidoceras haupti* Krantz, 1926) exhibits the shift from regular one-to-one correspondence between lateral and umbilical tubercles in inner whorls up to  $D = 30-40$  mm to the irregular pattern of a denser umbilical row. The specimen figured as *A. euomphalum* by Leanza (1980: pl. 8: 1) clearly belongs to the species described, showing similar differences from the Steuer's lectotype and has the same stratigraphic position as the studied material from Barda Negra.

The holotype of *Aspidoceras altum* Biró-Bagóczy, 1980 from the lower Upper Tithonian (Alternans Zone) of Lo Valdés, Chile, exhibits a close resemblance with the present material concerning its arrangement of ribs and tubercles and whorl section in its last preserved whorl, but it is more widely umbilicate. Its inner whorls are not preserved, precluding comparison of the diagnostic ontogeny of ornamentation. Leanza & Zeiss (1990: pl. 36: 3) figured a fragment of a large macroconch body-chamber as *A. aff. altum*, collected at Los Catutos, which is identical to our largest specimens and comes from a similar stratigraphic position within the Internispinosum

Zone. Later citations of specimens by Leanza & Zeiss (1992, 1994) cannot be evaluated because of the lack of illustrations.

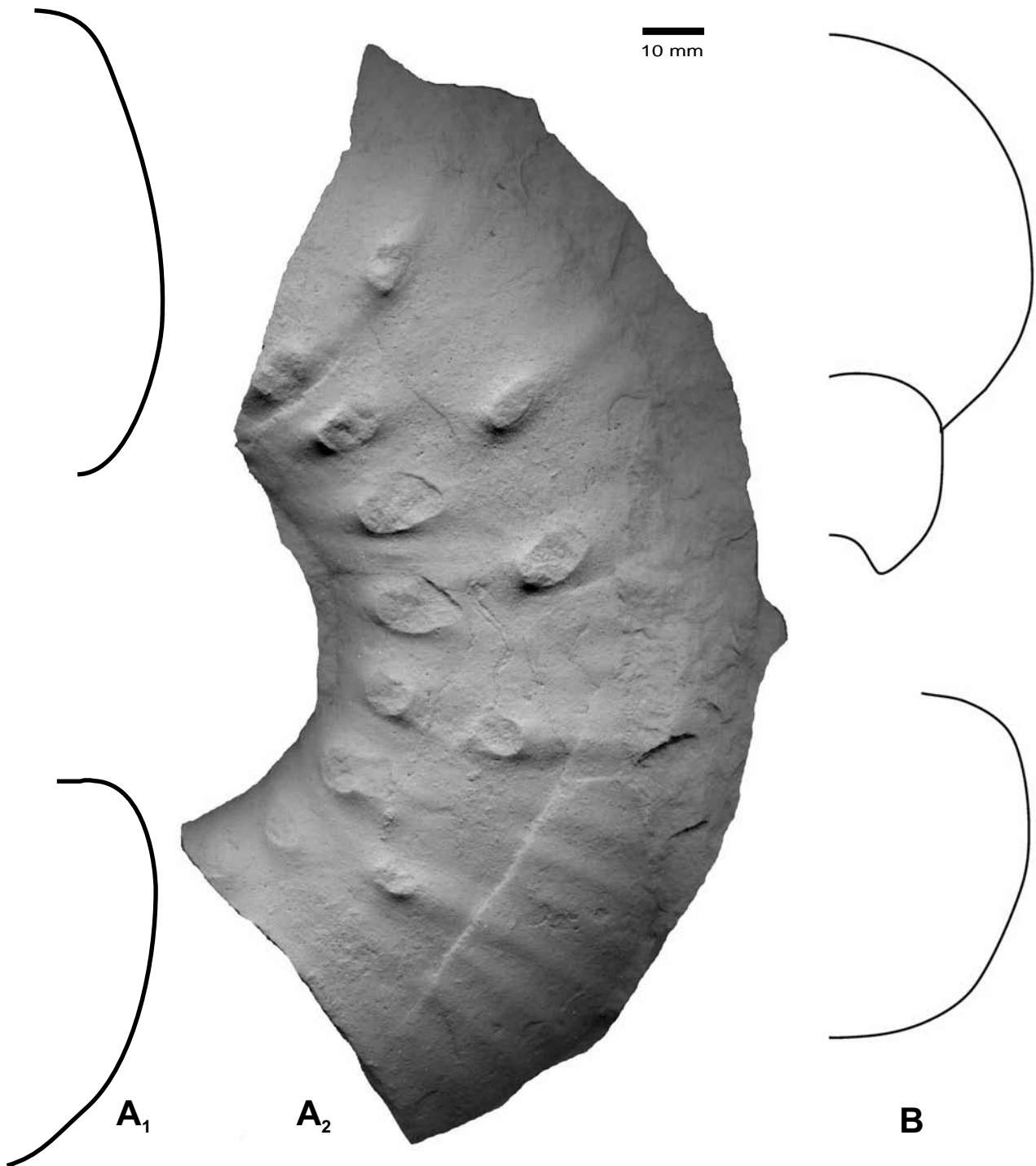
The holotype of *Aspidoceras haupti* Krantz (1928: pl. 4: 2, holotype by monotypy) matches closely both in morphology and ornamentation with the described material at comparable diameters, being only somewhat more depressed (Fig. 7A). The specimen was collected at Cerro Lotena within an ammonite assemblage of the Internispinosum Zone (see Krantz 1928: 47). It may be considered a junior synonym of *A. euomphalum*, an older transient than that of the lectotype.

The holotype of *Aspidoceras neuquensis* Weaver (1931: pl. 52: figs. 341-342) was also collected in Cerro Lotena in beds with *Windhauseniceratid internispinosum* (Krantz, 1926), *A. euomphalum*, *Pseudhimalayites steinmanni* Haupt, 1907, and *Corongoceras lotenoense* Spath, 1925, indicative of the Internispinosum Zone. The original illustrations and measurements of the holotype (as given by Weaver 1931) show an ammonite closely comparable to the lectotype of *A. euomphalum* (see Fig. 8) but slightly differing by its well-marked ventral ribbing. The specimens of Barda Negra shown in Fig. 2B-C and Fig. 3 look identical in all aspects. *A. neuquensis* may be considered as another junior synonym of *A. euomphalum*, an older transient than that of the lectotype.

It is interesting to note that our sample of *A. cf. euomphalum* from Barda Negra was collected from a single stratigraphic horizon in a single point and exposure and exhibits, either through the ontogeny or through individual variation at specified diameters, comparable morphologies to those seen upper, in the middle – upper Tithonian rock succession of the basin (e.g. *A. altum*, *A. euomphalum*). These species are in close succession through the interval Internispinosum – Koeneni zones and are morphologically similar around a common and characteristic "Bauplan". They seem to conform a lineage of species as shown in Fig. 11, with a rather wide spatio-temporal distribution in the basin although its record is still rather poor.

*Aspidoceras andinum* Steuer (1897; 1921: pl. 5: 5-7, holotype by monotypy) from an unspecified Tithonian level of Arroyo de La Manga (Mendoza), and *Aspidoceras cieneguitense* Steuer (1897; 1921: pl. 5: 8-10, holotype by monotypy), inner whorls from "bed II" (Proximus to Internispinosum zones) of Arroyo Cieneguita, cannot be compared reliably. Both holotypes show regularly spaced rows of lateral and umbilical tubercles in exact one-to-one correspondence. This feature strongly differs from the ontogeny of the described species, which is characterized by irregularities dominated by a denser row of umbilical tubercles, and a narrower umbilicus. The holotype of *A. andinum* looks exactly like the aspidoceratid figured as *A. rogoznicense* by Checa (1985: pl. 16: 4) from the Hybonotum Zone of Sierra Gorda, Spain, which exhibits a regular one-to-one correspondence between umbilical and lateral tubercles.

*Aspidoceras almitocense* (Aguileira in Castillo & Aguileira, 1895) in Verma & Westermann (1973: pl. 35: 1) has significant differences respect to our material and the other discussed nominal species. The whorl section is much wider and depressed in the inner whorls, and the number of umbilical tubercles is smaller than the number of lateral tubercles, an opposite pattern to that seen in the described material. However, *A. almitocense* is an independent species from the Andean lineage discussed



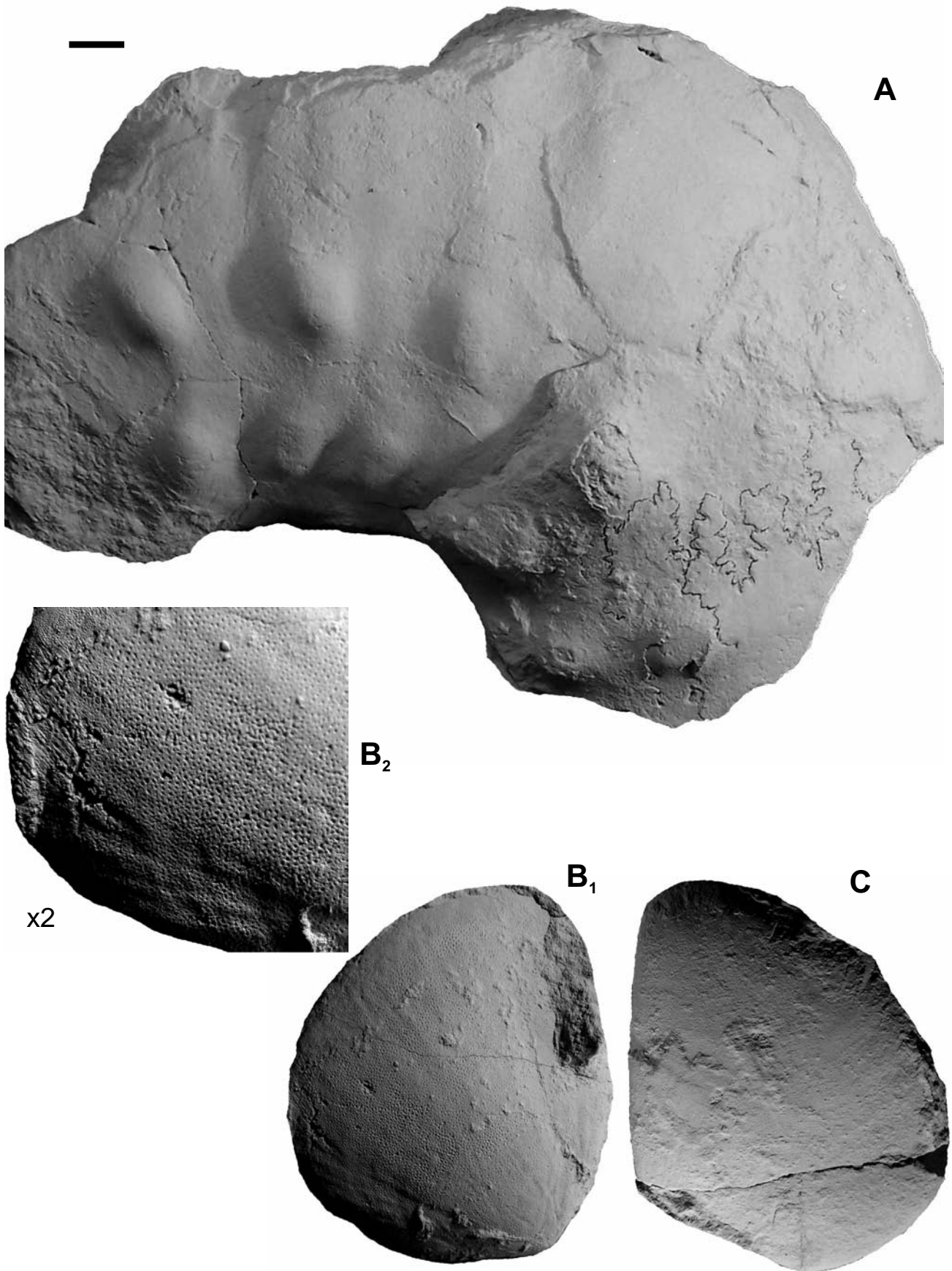
**Figure 5.** *Aspidoceras* cf. *euomphalum* Steuer, 1897. Whorl section (A<sub>1</sub>) and lateral view (A<sub>2</sub>) of a portion of an adult macroconch body-chamber (MOZP 7566). B: whorl section of the specimen in Fig. 4. Barda Negra, bed BN-3, Middle Tithonian, Internispinosum Zone. All natural size.

above, and could very likely belong to the genus *Toulisphinctes* Sapunov, 1979 (Type species: *Toulisphinctes zieglerei* Sapunov, 1979) as already indicated by Schweigert (1997). The specimen figured by Verma & Westermann (1973: pl. 35: 2) as *A.* cf. *alamitocense* is a very broad and depressed aspidoceratid with two rows of lateral tubercles and a third one on the venter in the shape of elongated elevations, all three tubercles occurring along a single rib. These features are

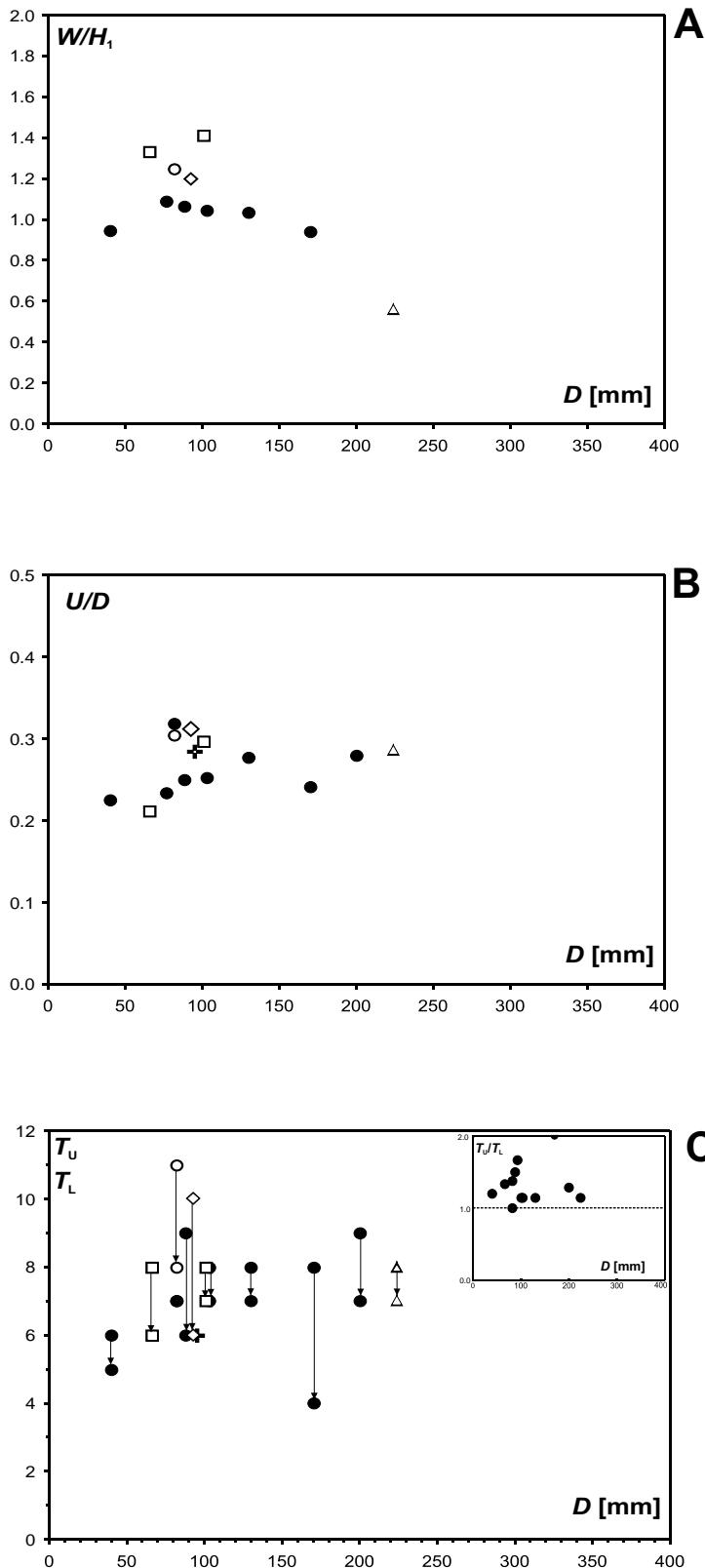
characteristic of *Pseudhimalayites* Spath, 1925 (Type species: *Aspidoceras steinmanni* Haupt, 1907 = *Cosmoceras subpretiosum* Uhlig, 1878).

**Family Himalayitidae Spath, 1925**  
**Genus *Windhausenicerus* Leanza, 1945**

Type species: *Perisphinctes internispinosus* Krantz, 1926; by OD.



**Figure 6.** *Aspidoceras* cf. *euomphalum* Steuer, 1897. **A:** Lateral view of the terminal portion of a large macroconch phragmocone (MOZP 7567/1). **B-C:** pair of valves of *Laevaptychus* (MOZP 7560): lower (concave) face views of both valves (**B<sub>1</sub>** and **C**) and enlarged (x2) view (**B<sub>2</sub>**) of a sector of the valve in **B<sub>1</sub>**. Barda Negra, bed BN-3, Middle Tithonian, Internispinosum Zone. All natural size except **B<sub>2</sub>**; bar scale is 10 mm for **A**, **B<sub>1</sub>** and **C**, but 5 mm for **B<sub>2</sub>**.



References

*Aspidoceras* cf. *euomphalum* Steuer  
(Internispinosum Zone)

- Barda Negra, this report.
- Cerro Lotena (in Leanza 1980: pl. 8: 1).

*Aspidoceras haupti* Krantz  
(Internispinosum Zone)

- C. Lotena, holotype (in Krantz 1926: pl. 4: 1).

*Aspidoceras neuquensis* Weaver  
(Internispinosum Zone)

- ◇ C. Lotena, holotype (in Weaver 1931: pl. 52: figs. 341-342).

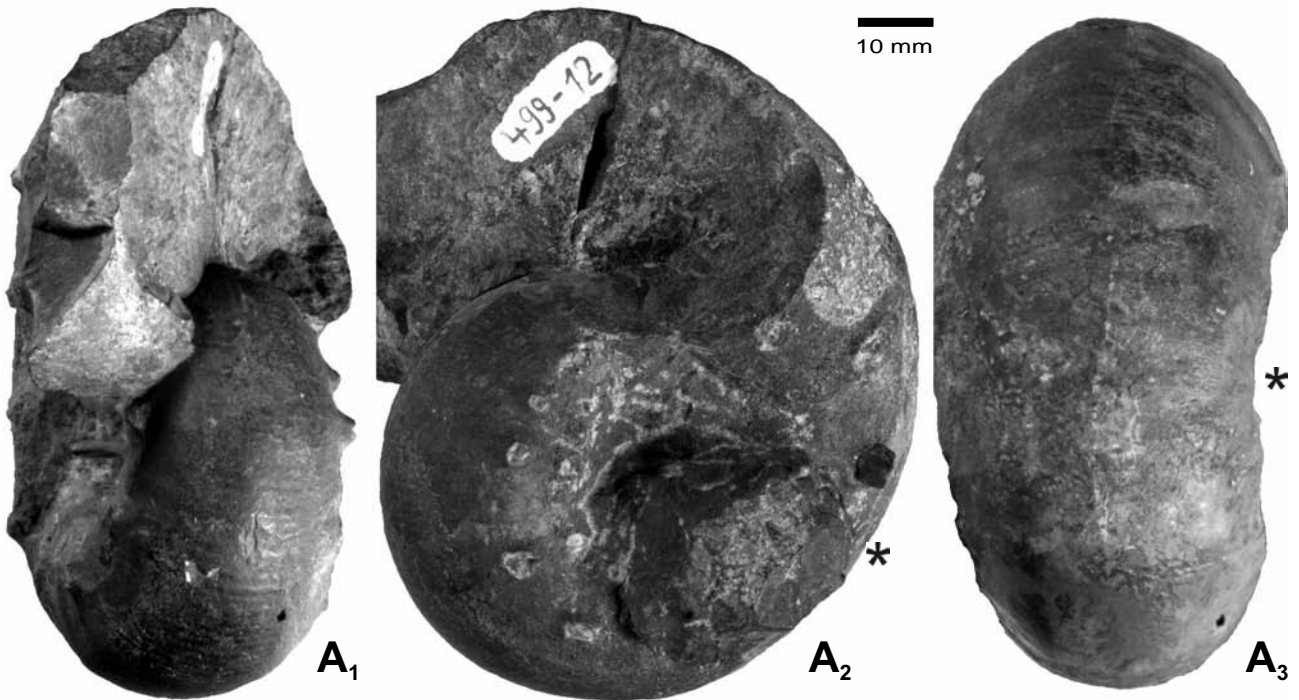
*Aspidoceras altum* Biró-Bagóczy  
(Alternans Zone)

- △ Lo Valdés, Chile, holotype (in B.-Bagóczy 1980: pl. 2: 1a).

*Aspidoceras euomphalum* Steuer  
(upper Alternans or Koeneni Zone)

- ✚ Arroyo Cieneguita, lectotype (in Steuer 1897: pl. 5: 1-2).

**Figure 7.** *Aspidoceras* cf. *euomphalum* Steuer from Barda Negra, described above, and comparative material. **A:** Ontogeny of whorl section proportions ( $W/H_1 - D$ ). **B:** ontogeny of umbilical width ( $U/D - D$ ). **C:** Ontogeny of ornamentation based on number of umbilical ( $T_U$ ) and lateral ( $T_L$ ) tubercles per half whorl; inset showing the ratio  $T_U/T_L - D$  which is always higher than the unit.



**Figure 8.** *Aspidoceras euomphalum* Steuer, 1897. Lectotype: apertural (A<sub>1</sub>), lateral (A<sub>2</sub>) and ventral (A<sub>3</sub>) views. Arroyo Cieneguita, Mendoza Province, Argentina. Specimen number 499-12 in the collection of the Geowissenschaftliches Zentrum der Universität Göttingen, Germany. Photographs by courtesy of Dr. Mike Reich, Göttingen. All natural size. Asterisk marks last septum.

***Windhausenicerias internispinosum* (Krantz, 1926)**

Figs. 9-10

*Synonymy.*- See Parent (2003).

*Material.*- Two complete, adult microconchs (MOZP 7557-7558) with test, one adult macroconch with incomplete body-chamber (MOZP 7556), and several fragmentary specimens (MOZP 7559). All from bed BN-3.

*Description.*- Macroconch: evolute throughout the ontogeny, depressed inner whorls becoming compressed towards the adult phragmocone and body-chamber; strongly ribbed by primaries divided on a tubercle at the ventro-lateral shoulder in inner whorls, then tubercles disappear completely and primaries divide at about mid-flank and intercalatories become frequent. The adult body-chamber becomes more compressed and primary ribs are strengthened on the lower half of the flank.

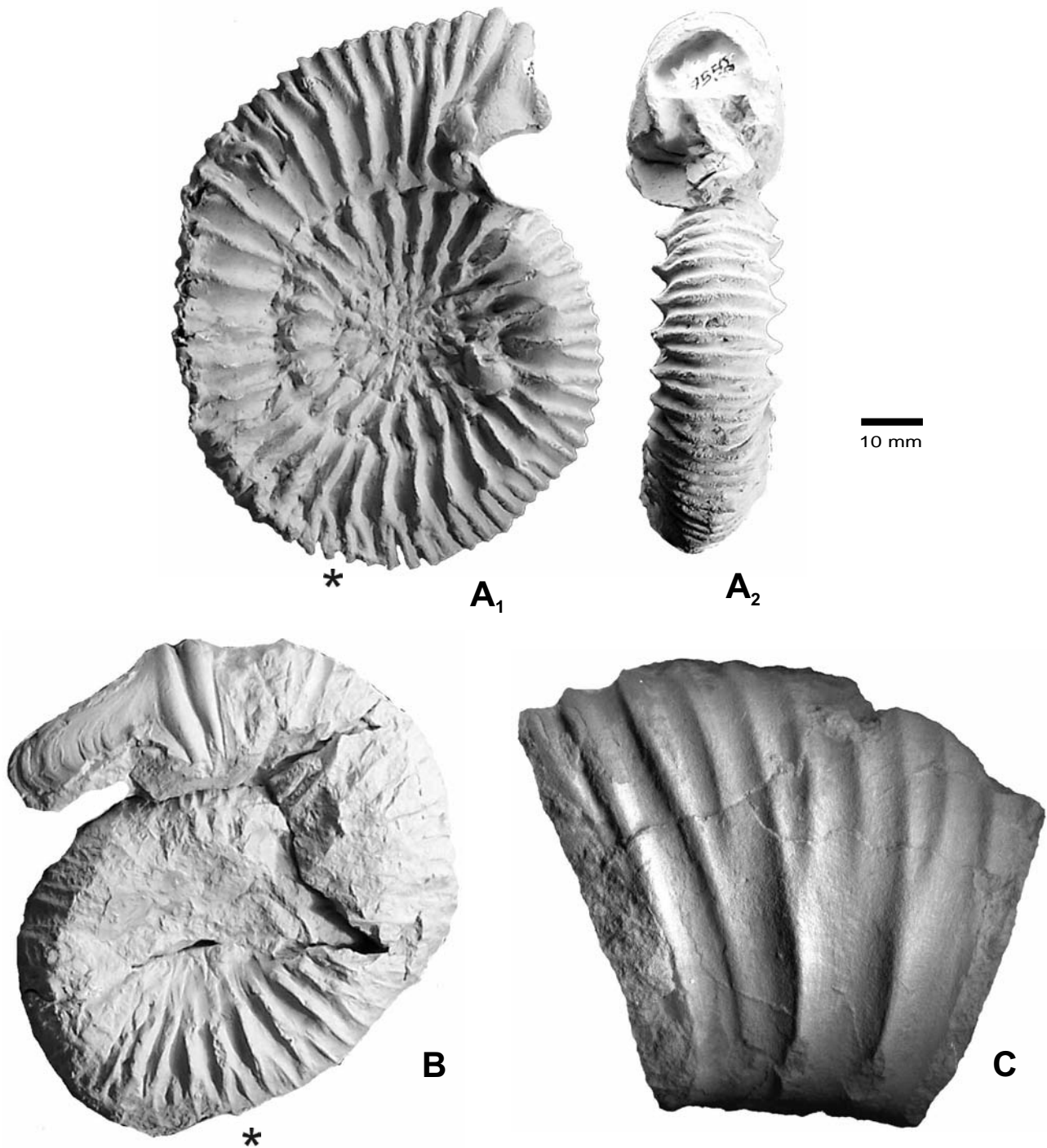
Microconch: The phragmocone is identical to that of the macroconch at comparable diameter: at  $D < 40$  mm whorls depressed with strong primary ribs trifurcated on a ventro-lateral mammiform tubercle; at  $40 < D < 70$  mm general aspect remains coniform but tubercles pass to lamelliform; at  $D > 70$  mm (body-chamber) whorl section is slightly more compressed, suboval and tubercles tend to fade away. The final adult peristome is developed from 90 and 93 mm, respectively, in the two best preserved microconchs. Peristome is preceded by a constriction, and from the last primary rib, posterior to that, develop the lappets. These are externally concave, wide, terminated in a rounded and widened end, with a length of about 25 mm. Body-chamber is half a whorl long, thus relatively shorter than in the corresponding macroconch.

*Remarks.*- The microconchs described leave no doubts on the structure of the sexual dimorphism in this species, which was previously not clear (Parent 2003: 356); the lectotype definitely represents a macroconch. In Fig. 10 is figured a finely preserved, adult macroconch from the Internispinosum Zone of Cerro Lotena. It is almost identical with the lectotype and considering the remains of the umbilical wall preserved in the specimen, the maximum diameter at the peristome could have been about 230 mm and  $L_{BC}$  near  $360^\circ$ . In upper levels of the Internispinosum Zone at Cerro Lotena, fragments of body-chambers have been collected suggesting adult diameters of more than 400 mm.

**BIOSTRATIGRAPHIC CHRONOSTRATIGRAPHY**

The current chronostratigraphic classification of the Andean Tithonian (Fig. 11) was discussed in detail by Leanza (1981a, b), although it seems to have not been indicated the kind of “zones” of the scale.

The single taxon range biozone of *W. internispinosum* (that is the interval between the lowermost and uppermost rocks yielding this species in the type locality), defines the chronostratigraphic, non-standard, Internispinosum Zone. This zone consists of all the rocks between two time planes which are defined by the first and last occurrences of the index-guide species. These two time planes may be of different ages in different localities where the zone is recognized, since the index-guide species could span different temporal intervals in different facies, or same facies in different places. For the time being the whole zonation of the Andean Tithonian remains to be standardized, and this is the kind of zones

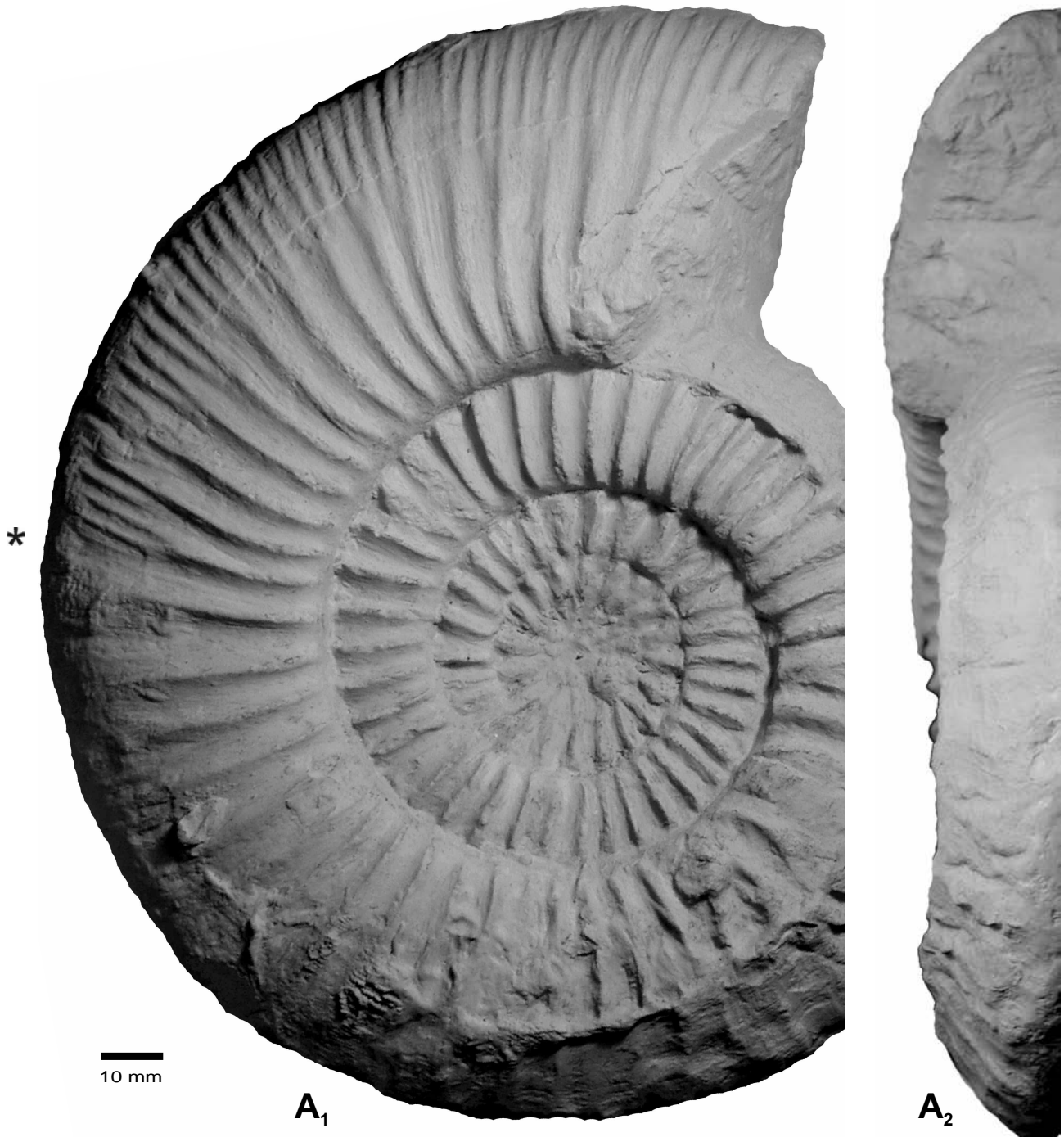


**Figure 9.** *Windhausenicerias internispinosum* (Krantz, 1926). A: Lateral (A<sub>1</sub>) and apertural (A<sub>2</sub>) views of an adult microconch with incomplete lappet (MOZP 7558). B: Lateral view of an adult microconch with complete lappet preserved (MOZP 7557). C: Lateral view of a fragment of the terminal portion of the bodychamber of an adult macroconch (MOZP 7556/1). Barda Negra, bed BN-3, Middle Tithonian, Internispinosum Zone. All natural size. Asterisk marks last septum.

considered in the following discussion. Correlation of the *Internispinosum* Biozone and its conjugate chronostratigraphic, non-standard Internispinosum Zone, was already discussed in Parent (2003) where it was concluded an acceptable approximate correlation with the Ponti Zone (uppermost Middle Tithonian) of the Primary Standard Chronostratigraphic Scale.

The occurrence of the index-guide species *W. internispinosum* in the studied horizon indicates the upper

Middle Tithonian Internispinosum Zone. A more accurate relative position within this zone cannot be indicated only on the basis of the described fauna because of the isolation of the exposure. Nevertheless, it can be done a comparison with the more developed and well-known succession of Cerro Lotena near the studied locality, less than 10 km east, behind the Meseta Barda Negra (Fig. 1), a basaltic structure formed during the Miocene-Pliocene. In this locality the lower part of the Internispinosum Zone



**Figure 10.** *Windhausenicerias internispinosum* (Krantz, 1926). Lateral (A<sub>1</sub>) and apertural (A<sub>2</sub>) views of an adult macroconch (MOZP7860) with one fourth of its body-chamber. Cerro Lotena, Middle Tithonian, Internispinosum Zone. All natural size. Asterisk marks last septum.

contains the same species described above. Moreover, material under study shows even the same morphotypes of *Aspidoceras* and *W. internispinosum*. Specimens of *W. internispinosum* [M] from the lower part of its stratigraphic range are characterized by the morphology shown by the specimens of Barda Negra, the specimen from Cerro Lotena shown in Fig. 10 coming from beds equivalent to those of Leanza (1980) mentioned above, or the lectotype. In the upper part of its stratigraphic range the

predominant morphology seems to shift to a more subcircular whorl section and tubercles reaching the outermost whorls, as illustrated in the specimen figured by Leanza (1980: pl. 9: 2). It is concluded that the faunal level BN-3, containing the ammonites described above, most likely belongs to the lower part of the Internispinosum Zone.

The lithology of the upper part of the section studied (BN-4 – BN-15), hard, white to yellowish gray



Andean chronostratigraphy		Barda Negra	Cerro Lotena	Los Catutos	Arroyo Cieneguitas	Lo Valdés
Sub-stage	Zone					
Upper Tithonian	Koeneni				<i>A. euomphalum</i>	
	Alternans				(4)	<i>A. altum</i>
Middle Tithonian	Internispinosum	BN-4 - BN-15			<i>A. aff. altum</i>	(5)
		BN-3	<i>A. cf. euomphalum</i>	<i>A. cf. euomphalum</i>		
		BN-1 - BN-2	(1)	(2)		
	Proximus					
	Zitteli					
Lower Tithonian	Mendozanus					

**Figure 11.** Spatio-temporal distribution of the morphospecies related to *Aspidoceras euomphalum* in the Andean Tithonian as discussed in text. Gray boxes indicate the estimated stratigraphic position. (1): this report (BN-1 to BN-15 are the beds of the section of Barda Negra as in text, see Fig. 1); (2): Leanza (1980) and unpublished material (the holotypes of *Aspidoceras haupti* Krantz and *A. neuquensis* Weaver could likely come from this interval); (3): Leanza & Zeiss (1990); (4): lectotype (Steuer 1897); (5): holotype (Biró-Bagóczy 1980). Chronostratigraphy based on Leanza (1981a). The zonation is drawn on a scale of equispaced zones, not implying equal time intervals; the non-standard condition of the zones is indicated by dashed line boundaries.

limestones and marls, is the same in the middle part of the Internispinosum Zone at Cerro Lotena (see Leanza 1980).

**Acknowledgements:** R. Cocca and S.E. Cocca (Museo Olsacher, Zapala) show the location of the exposure to HP and ODC and gave expert support during field-work. A. Hillebrandt (Berlin) has kindly provided important literature and S.E. Cocca (Zapala) important cartography. M. Reich (Geowissenschaftliches Zentrum der Universität Göttingen) provided us with photographs of type specimens. J.H. Callomon (London), I. Fözy (Budapest) and R. Enay (Lyon) made valuable suggestions to improve the manuscript as reviewers of the journal.

## REFERENCES

- Biró-Bagóczy L., 1980. Algunos ammonites nuevos en la Formación Lo Valdés, Tithoniano-Necomiano, Provincia de Santiago (33° 50' lat. Sur), Chile. *Actas II Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y I Congreso Latinoamericano de Paleontología, Buenos Aires (1978)* 1: 223-242.
- Castillo A.D. & Aguilera J.G., 1895. Fauna fósil de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí. *Boletín y Comunicaciones Geología de Mexico* 1: IX + 55 pp.
- Checa A., 1985. Los aspidoceratiformes en Europa (Ammonitina, Familia Aspidoceratidae: Subfamilias Aspidoceratinae y Physodoceratinae). *Tesis Doctoral Universidad de Granada*: 1-413.
- Delpino D. & Deza M., 1995. Mapa geológico y de recursos minerales de la provincia del Neuquén, República Argentina. *Servicio Geológico Neuquino*. Carta.
- Dietze V., Callomon J.H., Schweigert G. & Chandler R.B., 2005. The ammonite fauna and biostratigraphy of the Lower Bajocian (Ovale and Laeviuscula Zone) of E Swabia (S Germany). *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde* B353: 1-82.
- Gründel J., Parent H., Cocca S.E. & Cocca R., 2007. Marine Jurassic gastropods of Argentina. IV. A new species from the Middle Tithonian (*Internispinosum* Biozone) of Barda Negra, southern Neuquén-Mendoza Basin. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* 245(2): 143-146.
- Haupt O., 1907. Beiträge zur Fauna des oberen Malm und der unteren Kreide in der argentinischen Cordillere. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Beilage-Band* 21: 187-236.
- Krantz F., 1926. Die Ammoniten des Mittel- und Obertithons. In: Jaworski E., Krantz F. & Gerth H. (eds.): Beiträge zur Geologie und Stratigraphie des Lias, Doggers, Tithons und der Unterkreide im Süden der Provinz Mendoza (Argentinien). *Geologische Rundschau* 17a: 427-462.
- Krantz F., 1928. La fauna del Titono superior y medio en la parte meridional de la Provincia de Mendoza. *Actas Academia Nacional de Ciencias de Córdoba* 10: 1-57.
- Leanza A.F., 1945. Ammonites del Jurásico Superior y del Cretáceo Inferior de la Sierra Azul, en la Parte Meridional de la Provincia de Mendoza. *Anales del Museo de la Plata, N.S.* 1: 1-99.

- Leanza H.A., 1973. Estudio sobre los cambios faciales de los estratos limítrofes Jurásico-Cretácicos entre Loncopué y Picún Leufú, provincia del Neuquén, R. Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* **28(2)**: 97-132.
- Leanza H.A., 1980. The Lower and Middle Tithonian ammonite fauna from Cerro Lotena, Province of Neuquén, Argentina. *Zitteliana* **5**: 3-49.
- Leanza H.A., 1981a. The Jurassic-Cretaceous boundary beds in West Central Argentina and their ammonite zones. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* **161**: 62-92.
- Leanza H.A., 1981b. Fauna de ammonites del Jurásico Superior y del Cretácico Inferior de América del Sur, con especial consideración de la Argentina. In: W. Volkheimer & E.A. Musacchio (eds.): Cuencas Sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur 2: 559-597.
- Leanza H.A. & Zeiss A., 1990. Upper Jurassic Lithographic Limestone from Argentina (Neuquén Basin): Stratigraphy and Fossils. *Facies* **22**: 169-186.
- Leanza H.A. & Zeiss A., 1992. On the ammonite fauna of the Lithographic Limestones from the Zapala region (Neuquén province, Argentina), with the description of a new genus. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I, H. 6, 1991*: 1841-1850.
- Leanza H.A. & Zeiss A., 1994. The "Lithographic Limestones" of Zapala (Central Argentina) and their ammonite fauna. *Géobios MS* **16**: 245-250.
- Parent H., 2003. Taxonomic and biostratigraphic reevaluation of *Perisphinctes internispinosus* Krantz, 1926 (Upper Jurassic, Ammonoidea). *Paläontologische Zeitschrift* **77(2)**: 353-360.
- Sapunov I., 1979. Les Fossiles de Bulgarie III 3. Jurassique Supérieur, Ammonoidea. 263 pp.; Sofia. *Academie Bulgarie des Sciences*.
- Schweigert G., 1997. Die Ammonitengattungen *Simocoscoceras* Spath und *Pseudhimalayites* Spath (Aspidoceratidae) im süddeutschen Oberjura. *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde B* **246**: 1-29
- Spath L.F., 1925. The collection of fossils and rocks from Somaliland made by Messrs. B. N. K. Wyllie and W. R. Smellie. Part 7: Ammonites and aptychi. *Monographs of the Geological Department of the Hunterian Museum* **1**: 111-164.
- Steinmann G., 1890. Cephalopoda. In: G. Steinmann & L. Döderlein (eds.): *Elemente der Paläontologie*: 344-475, Leipzig. *Engelmann*.
- Steuer A., 1897. Argentinische Jura-Ablagerungen. In: *Beitrag zur Kenntnis der Geologie und Paläontologie der argentinischen Anden. Paläontologische Abhandlungen* **7 (N.F. 3)**: 129-222.
- Steuer A., 1921. Estratos Jurásicos Argentinos. Contribución al conocimiento de la Geología y Paleontología de los Andes Argentinos entre el río Grande y el río Atuel. *Actas Academia Nacional de Ciencias de Córdoba* **7(2)**: 25-128.
- Suero T., 1951. Descripción geológica de la hoja 36c, Cerro Lotena (Neuquén). *Boletín de la Dirección Nacional de Minería* **76**: 1-67.
- Uhlig, 1878. Beiträge zur Kenntnis der Jura-Formation in den Karpatischen Klippen. *Jahrbuch der kaiserlichen Geologischen Reichsanstalt* **28**: 641-658.
- Verma H.M. & Westermann G.E.G., 1973. The Tithonian (Jurassic) Ammonite Fauna and Stratigraphy of Sierra Catorce, San Luis Potosi, Mexico. *Bulletin of American Paleontology* **63/277**: 107-320.
- Weaver A., 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina. *Memoirs of the University of Washington* **1**: 1-496.
- Zejszner L., 1846. Nowe lub niedokładnie opisane gatunki Tatrowych odkryli i opisal. *Poszyt* **1**: 1-32.
- Zittel K.A. v., 1868. Die Cephalopoden der Stramberger Schichten. *Paläontologische Mittheilungen aus dem Museum des königlich Bayerischen Staates* **2**: 33-118.
- Zittel K.A. v., 1884. Cephalopoda, p. 329-522. In: Zittel K.A. (ed.): *Handbuch der Paläontologie*, vol. 1, Abt. 2 (3); Lief 3. München & Leipzig. *Oldenbourg*.
- Zittel K.A. v., 1895. Grundzüge der Paläontologie (Paläozoologie). 971 pp.; München. *Oldenbourg*.

## THE TITHONIAN (UPPER JURASSIC) AMMONITE SUCCESSION AT PORTADA COVUNCO, NEUQUÉN-MENDOZA BASIN, ARGENTINA

Horacio PARENT & Sergio E. COCCA



Boletín  
del Instituto de  
Fisiografía y Geología

Parent H. & Cocca S.E., 2007. The Tithonian (Upper Jurassic) ammonite succession at Portada Covunco, Neuquén-Mendoza Basin, Argentina. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología 77(1-2)*: 25-30. Rosario, 01-10-2007. ISSN 1666-115X.

**Abstract.-** The Tithonian rock succession (Vaca Muerta Fm.) of Portada Covunco consists of a lower part of little more than 100 m of shales and shaly limestones with ammonites of the genera "*Lithacoceras*", *Choicensisphinctes* and *Pseudolissoceras* of the Mendozanus and Zitteli zones; the middle part consists of about 160 m of limestones and marly limestones with ammonites of the genera *Aspidoceras* and *Catutosphinctes* of the Proximus? and Internispinosum zones; ending with some 45 m of unfossiliferous mudstones and shaly marls. *Catutosphinctes* Leanza & Zeiss (Ataxioceratidae: Torquatisphinctinae), a genus widely distributed through all the Tithonian of the southern Neuquén-Mendoza Basin, occurs through the more calcareous upper part of the section, mainly the type species *Catutosphinctes rafaeli* Leanza & Zeiss.

**Key-words:** Argentina, Neuquén-Mendoza Basin, Tithonian, Stratigraphy, Ammonites, *Catutosphinctes*.

### **Resumen.- La sucesión de amonites tithonianos en Portada Covunco, Cuenca Neuquén-Mendoza, Argentina.**

La sucesión de rocas tithonianas (Fm. Vaca Muerta) de Portada Covunco consiste de una parte inferior de poco más que 100 m de pizarras y calizas o margas pizarrosas con amonites de los géneros "*Lithacoceras*", *Choicensisphinctes* y *Pseudolissoceras* de las zonas Mendozanus y Zitteli; una parte media de unos 160 m de calizas y calizas margosas con amonites de los géneros *Aspidoceras* y *Catutosphinctes* de las zonas Proximus? e Internispinosum; culminando con unos 45 m de limolitas y margas pizarrosas sin fósiles. *Catutosphinctes* Leanza & Zeiss (Ataxioceratidae: Torquatisphinctinae), un género ampliamente distribuido en todo el Tithoniano de la cuenca, se presenta en todo el tramo calcáreo superior de la sección, principalmente su especie tipo *Catutosphinctes rafaeli* Leanza & Zeiss.

**Palabras clave:** Argentina, Cuenca Neuquén-Mendoza, Tithoniano, Estratigrafía, Amonites, *Catutosphinctes*.

Horacio Parent [e-mail: parent@fceia.unr.edu.ar]: *Laboratorio de Paleontología, FCEIA, Universidad Nacional de Rosario, Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina.*

Sergio Eduardo Cocca: *Museo Prof. Olsacher, Elena de Vega 472, 8340 Zapala, Argentina.*

*Received: 09/05/2007; accepted: 28/09/2007.*

*Editor: E.P. Peralta.*

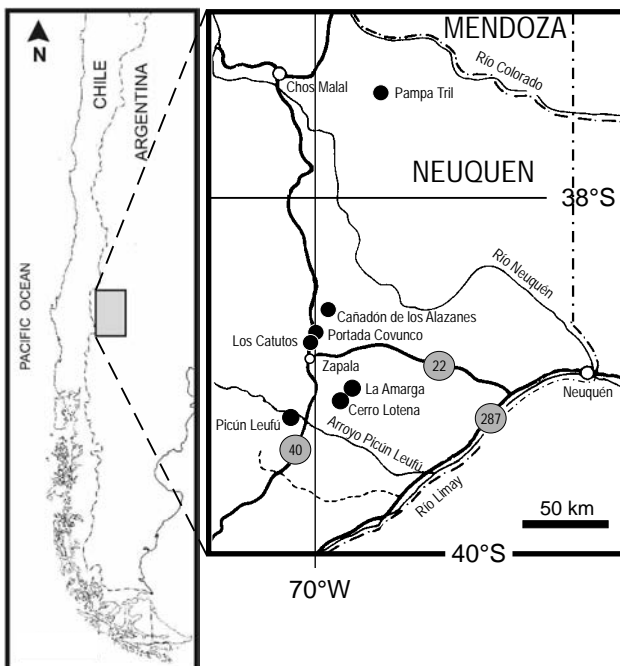
## INTRODUCTION

Portada Covunco is a locality of the southern part of the Neuquén-Mendoza Basin in which the upper Jurassic is well exposed. This locality belongs to the Geological Sheet 35b – Zapala, which was described in detail by Lambert (1956). There are no published reports of the local section measured in detail with ammonites collected bed-by-bed, probably due to the scarce ammonite fauna. It is interesting to note that all the Upper Jurassic of the studied locality has yielded very scarce and poorly preserved ammonites, the exception being the lower Tithonian in which the fossils are also poorly preserved but somewhat more abundant.

During field-work for the study of the Upper Jurassic ammonite fauna and biostratigraphy of the basin, it was made a detailed survey, measuring the section and sampling ammonites through the Vaca Muerta Formation in the outcrop located close to the bridge of Route 22 over the Arroyo Covunco, right margin (Fig. 1). In this paper are described the rock succession and the few middle Tithonian ammonites collected. The lower Tithonian ammonites are not yet studied in detail but they are closely comparable with those of Cerro Lotena and Picún Leufú (see Parent et al. 2006).

## STRATIGRAPHY

The Tithonian outcrop in Portada Covunco belongs to the lower and middle parts of the Vaca Muerta Fm. and consists of more than 300 m of calcareous sediments overlying the conglomerates of the Tordillo Fm. These rocks of the Vaca Muerta Fm. are poorly fossiliferous, especially the middle part formally named Los Catutos Member (Leanza & Zeiss 1990: 173). The measured section is described in detail below and summarized in Fig. 2; from top:



**Figure 1.** Reference map of the southern Neuquén-Mendoza Basin showing the localities cited in text.

### *Vaca Muerta Fm.*

-Soil cover-

**Bed PC-17:** about 10 m visible, reddish brown shales, micaceous. No fossils.

**Bed PC-16:** about 20 m, hard nodular brownish mudstone with gypsum. No fossils.

**Bed PC-15:** 15 m, reddish brown shales, micaceous. No fossils.

**Bed PC-14:** 104 m, very homogeneous, gray marly limestone with large calcareous concretions. Ammonites abundant but sparsed throughout the thickness of the bank, crushed, showing no concentrations at specified levels, always outside the concretions: *Catutosphinctes rafaeli* Leanza & Zeiss, 1992 [M&M] and *Catutosphinctes cf. araucanense* (Leanza, 1980) [M]; impressions of larger ammonites are visible on weathered surfaces.

-Covered-

**Bed PC-13:** 0.50 m, gray shaly marl. No fossils.

-Covered-

**Bed PC-12:** 0.42 m, dark gray marly limestone with conchoidal fracture; large concretions. Weathered surface whitish gray. Moderately large and scarce, crushed ammonites: *Catutosphinctes rafaeli* [M] and *Catutosphinctes cf. araucanense* [M].

-Covered-

**Bed PC-11:** 0.30 m, sandy limestone, gray to whitish in fresh. No fossils.

**Bed PC-10:** 1 m, light gray marly limestone with conchoidal fracture. No fossils.

**Bed PC-9:** 4.90 m, yellowish gray marly limestone, nodular; yellowish weathered surface. No fossils.

**Bed PC-8:** about 1 m, light gray marly limestone, nodular, with conchoidal fracture. Scarce and poorly preserved crushed ammonites: *Catutosphinctes* sp.

**Bed PC-7:** about 1 m, yellowish gray marly limestone. Bivalves.

**Bed PC-6:** 39 m, light gray marly limestone, nodular, with conchoidal fracture. Scarce and poorly preserved crushed ammonites: *Catutosphinctes* sp.

**Bed PC-5:** 15.6 m, gray marly limestone, nodular. Scarce and poorly preserved, crushed ammonites: *Catutosphinctes* sp. and *Aspidoceras* sp. [M] (loose).

-Covered-

**Bed PC-4:** 52 m, shaly marl, gray to dark gray, with abundant small nodules in bands. The basal band of nodules conform a level with abundant aptychi (*Lamellaptychus*), *Pseudolissoceas zitteli* (Burckhardt, 1903) [M] and *Choicensisphinctes* sp.

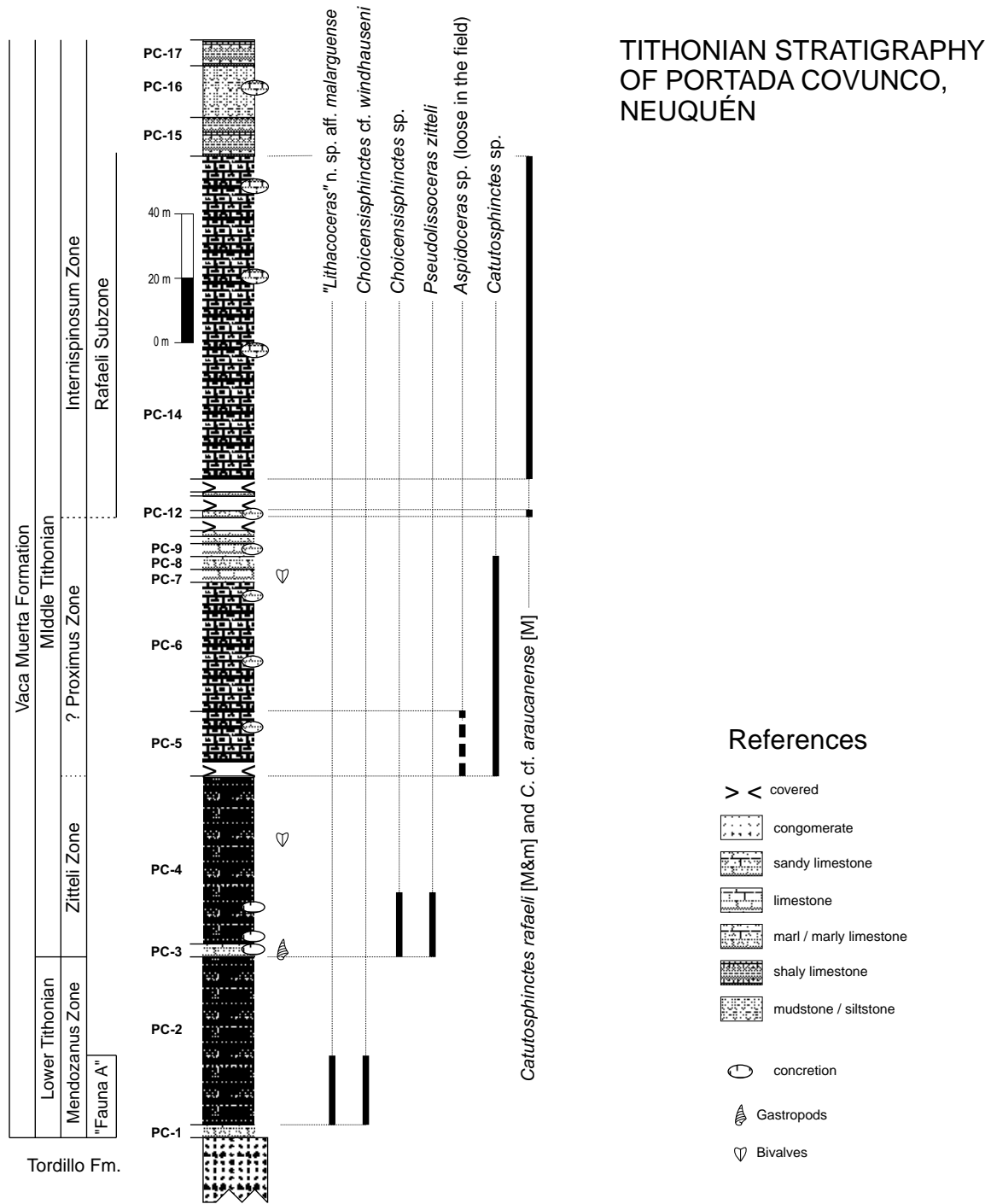
**Bed PC-3:** about 0.50 m, gray marly to finely sandy limestone with calcareous concretions. From this bed come fragments of large specimens of *P. zitteli* [M] and *Choicensisphinctes* sp., into concretions which can be collected loose in the field, showing the ammonites by weathering; scarce minute gastropods.

**Bed PC-2:** 48 – 52 m, poorly exposed. Above, greenish gray marly limestones. Middle part, gray and orange limestones. At base, shaly marls with ammonites poorly preserved, mostly crushed: "*Lithacoceras*" n. sp. aff. *malarguense* (in Parent et al. 2006) and *Choicensisphinctes cf. windhauseni* (Weaver, 1931).

**Bed PC-1:** about 1 m, black marly limestone with crushed perisphinctid ammonites.

-Covered-

*Tordillo Fm.*, several meters of coarse, brown conglomerates.



**Figure 2.** Log-section of the Tithonian Vaca Muerta Formation in Portada Covunco and distribution of the ammonite fauna. Chronostratigraphic subdivision (zonation) explained in text.

The close locality Los Catutos, situated about 4 km SW of Portada Covunco (Fig. 1), was studied by Leanza & Zeiss (1990, 1992). Its stratigraphy is very similar to that of Portada Covunco and may be taken as reference. In the mentioned papers, Leanza & Zeiss concluded that the lithographic limestones of the middle Tithonian of the area were deposited under shallow open marine conditions, in a protected area at about 100 km out of the coast. The outcrop of Portada Covunco represents the northernmost extension of the depositional device Los Catutos, towards deeper positions of the basin, as can be seen in Cañadón de los Alazanes (see Parent 2001). The

rock and ammonite successions are almost identical. Main differences seem to be the poorer fauna and larger silt fraction in the carbonates of Portada Covunco (beds PC-4 – PC-14) respect Los Catutos (beds x, x+a, y, z and w of Leanza & Zeiss 1990: fig. 4). Bed PC-5 (Fig. 2 this paper) is nearly equivalent to bed x+a, bed PC-6 with bed x, and beds PC-8 to PC-14 with beds y-z-w.

#### SYSTEMATIC PALEONTOLOGY

The specimens studied are housed at the Museo Prof.

Oslacher, Zapala (MOZP). Macroconch females are indicated as [M] and microconch males as [m].

**Order Ammonoidea Zittel, 1884**  
**Suborder Ammonitina Zittel, 1884**  
**Superfamily Perisphinctoidea Steinmann, 1890**  
**Family Ataxiceratidae Buckman, 1921**  
**Subfamily Torquatisphinctinae Tavera, 1985**

*Remarks.*- The subfamily is mainly conformed by the Indo-malgasian lineage *Torquatisphinctes* Spath, 1924 – *Katrolicerias* Spath, 1924 – *Pachysphinctes* Dietrich, 1925, and can be added with confidence the genus *Catutosphinctes* Leanza & Zeiss, 1992, as a separate Andean lineage (see Parent 2003). The widely cited European (Sub-Mediterranean) “*Torquatisphinctes*” belong to another genus, probably unrelated phylogenetically (G. Schweigert, pers. comm. 2005; A. Scherzinger pers. comm. 2005)

**Genus *Catutosphinctes* Leanza & Zeiss, 1992**

Type species: *Catutosphinctes rafaelli* Leanza & Zeiss, 1992 by OD

*Remarks.*- *Catutosphinctes* includes the Andean Tithonian succession of species listed in Parent (2003: 158), formerly under *Torquatisphinctes*, *Katrolicerias* and *Pachysphinctes*. This lineage has been confirmed after bed-by-bed collections during last years throughout the southern Neuquén-Mendoza Basin. There is a dense succession of chronospecies (under current study) which shows the evolution of forms whose record begins with the Early Tithonian *Catutosphinctes* cf. *mendozanus* (Burckhardt, 1911, in Parent et al. 2006: fig. 3C-D) up to the late Middle Tithonian *Catutosphinctes americanensis* (Leanza, 1980). The lineage ranges up into the Late Tithonian with at least one species of *Catutosphinctes* to which belongs the specimen described as “*Berriasella fraudans* (Steuer, 1897) var. *inflata* n. var.” by Leanza (1945: pl. 1: 1), barely distinguishable from the middle Tithonian forms close to *Catutosphinctes proximus* (Steuer, 1897).

***Catutosphinctes rafaelli* Leanza & Zeiss, 1992**

Fig. 3A-G

*Material.*- Ten specimens, mostly crushed, macro- and microconchs from beds PC-12 and PC-14.

*Remarks.*- Present macroconchs (Fig. 3D-G) are identical with the phragmocone of the holotype, the umbilical width about a half of diameter, 20-23 primaries per half whorl which divide, in the middle or upper third of the flank, into two or three secondaries after a reinforcement or elevation on the point of furcations. This latter feature is typical of the genus and is conspicuous throughout all the lineage. Adult bodychamber has paired-collared ribs (Fig. 3G). This feature is also characteristic of the genus, and seems to occur for first time in macroconchs of the upper Proximus Zone or lower Internispinosum Zone in Cerro Lotena. The microconchs of the present species are figured for first time. Adult microconchs are less than a half in size than their adult macroconchs; ribbing consists of an alternation of simple and bifurcate primary ribs (cf. Leanza & Zeiss 1992: 1849), with the bifurcation point on mid-

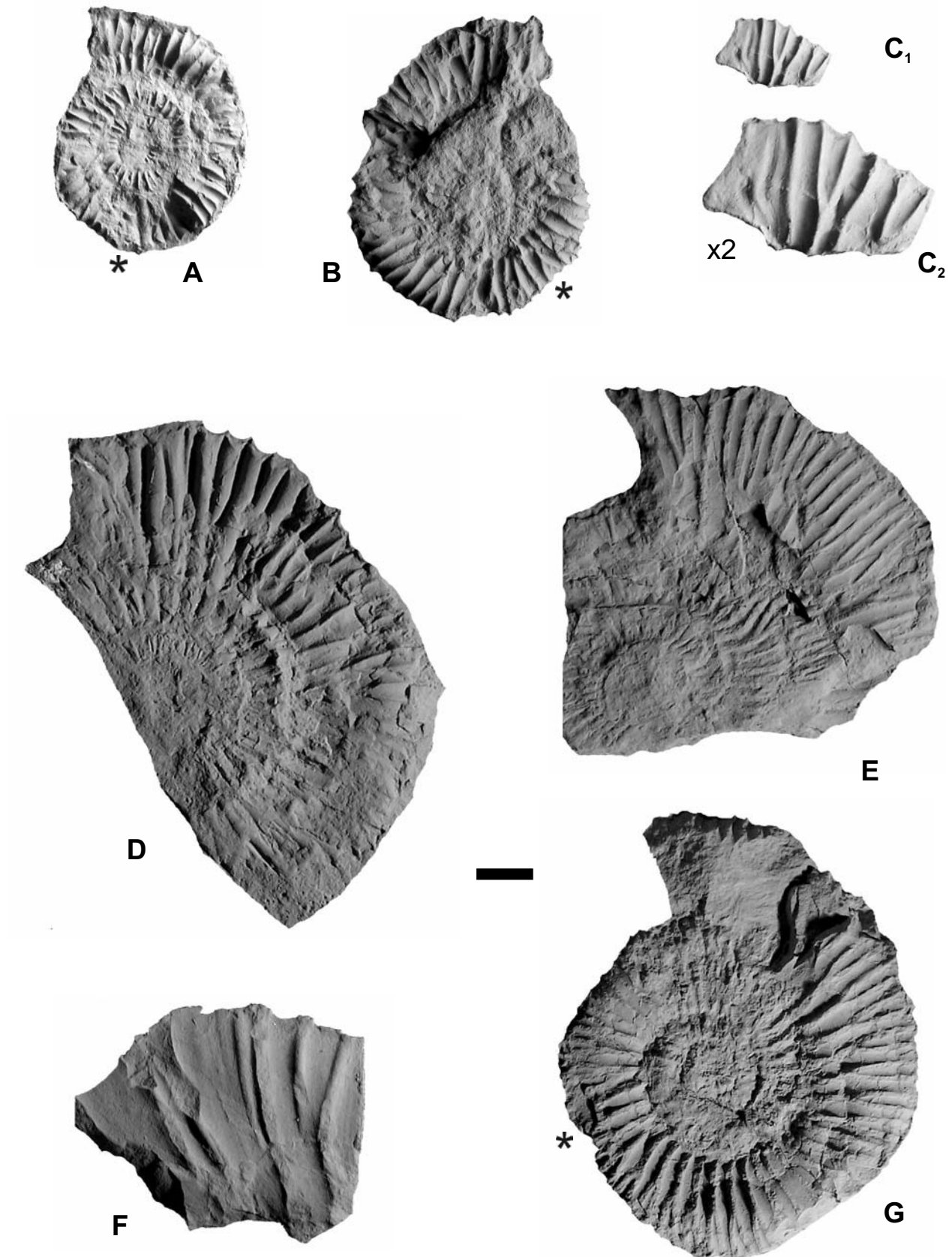
flank and showing the reinforcement or elevations in the furcation point; umbilical width is always about a half of the diameter in adult stage. The peristome has a pair of mid-lateral lappets, they are short, wider at base, ending on a rounded edge, their length is a half of the whorl height on their basal portion. The bodychamber of microconchs is about 0.7 whorl long, shorter than in macroconchs which is about 0.8 – 1.0 whorl long.

## BIOSTRATIGRAPHY

The chronostratigraphic classification of the Andean Tithonian adopted is modified from Leanza (1981) as discussed in Parent et al. (2007). The zones used throughout all the text are non-standard chronostratigraphic zones which can involve gaps or overlaps at their boundaries when comparing successions of different localities.

Bed PC-1 yield perisphinctid ammonites not yet identified. Bed PC-2 belongs to the base of the Mendozanus Zone, “Fauna A” of Parent et al. (2006) recorded previously in Picún Leufú, Cerro Lotena, La Amarga and Pampa Tril (Fig. 1), and characterized by the ammonites “*Lithacoceras*” n. sp. aff. *malarguense*, *Choicensisphinctes* cf. *windhausenii* and *Catutosphinctes* cf. *mendozanus*. Beds PC-3 and lower part of PC-4 can be attributed to the Zitteli Zone by the occurrence of the index and guide species *Pseudolissoceras zitteli* (Burckhardt, 1903), associated with large adult macroconchs of an undescribed species of *Choicensisphinctes* which in P. Leufú, C. Lotena and La Amarga is typical of the lower part of this zone. The upper part of bed PC-4 has not yielded ammonites so that only conventionally, by lithological continuity is included in the Zitteli Zone. Beds PC-5 – PC-11 have yielded ammonites of the genus *Catutosphinctes*, but too poorly preserved for specific identification; this part of the succession is sandwiched by beds of the Zitteli Zone and, above, beds of the Internispinosus Zone, therefore they could likely belong to the Proximus Zone if this unit is represented at this locality. Beds PC-12 – PC-14 may be assigned to the Rafaeli Subzone of the Internispinosum Zone (Leanza & Zeiss 1992); *C. rafaelli* and *C. araucanense* (Leanza, 1980) are known to occur in the lower part of the Internispinosum Zone at Los Catutos (Leanza & Zeiss 1992) and C. Lotena (Leanza, 1980). Nothing can be said about the biostratigraphy, so the age, of the beds PC-15 – PC-17 for they have not yielded ammonites. The Tithonian record of ammonites in the area, including Los Catutos, P. Covunco and C. Alazanes, seems to end in the Internispinosum Zone. However, the fragments from C. Alazanes included in *Corongoceras* cf. *alternans* (in Parent 2001: fig. 8K-L), which have suggested the Alternans Zone (Late Tithonian), are more naturally included in *Catutosphinctes* for in C. Lotena have been collected in the Proximus and Internispinosum zones adult macroconchs of species of this genus which have identical portions of bodychamber at comparable diameters.

**Acknowledgements:** Rafael Cocca (Museo Oslacher, Zapala) and O.D. Capello (Rosario) gave valuable support during field work. Two anonymous reviewers of the journal contributed in to improve the manuscript of this paper.



**Figure 3.** *Catulosphinctes rafaelli* Leanza & Zeiss, 1992 [M&m]. Portada Covunco, Vaca Muerta Fm., Internispinosum Zone, Middle Tithonian. **A:** complete adult microconch with lappets (MOZP 6829/2), bed PC-14. **B:** complete adult microconch with lappets (MOZP 6829/1), bed PC-14. **C:** peristome of an adult microconch (MOZP 6829/3; natural size: C<sub>1</sub>; double size: C<sub>2</sub>), bed PC-14. **D:** probably complete adult macroconch with peristome (MOZP 6830), bed PC-14. **E:** adult macroconch with peristome (MOZP 6836), bed PC-12. **F:** Pre-peristomatic portion of bodychamber of an adult macroconch (MOZP 6837/2), bed PC-12. **G:** adult macroconch (MOZP 6835), bed PC-12. All natural size (x1) except C<sub>2</sub> enlarged (x2). Bar scale: 10 mm for A-B, C<sub>1</sub>, D-G.

## REFERENCES

- Buckman, 1919-1921. Yorkshire type ammonites. Vol 3: 5-64. Wesley & Son edit., London.
- Burckhardt C., 1903. Beiträge zur Kenntnis der Jura- und Kreideformation der Cordillere. *Palaeontographica* **50**: 1-145.
- Burckhardt C., 1911. Schlusswort zu der Diskussion über die russisch-borealen Typen im Oberjura Mexikos und Südamerikas. *Centralblatt Mineralogie Geologie Palaontologie* **24**: 771-773.
- Lambert L.R., 1956. Descripción geológica de la Hoja 35b. Zapala (T.N. de Neuquén). *Dirección Nacional de Minería Boletín* **83**: 1-93.
- Leanza A.F., 1945. Ammonites del Jurásico Superior y del Cretáceo Inferior de la Sierra Azul, en la Parte Meridional de la Provincia de Mendoza. *Anales del Museo de la Plata, N.S.* **1**: 1-99.
- Leanza H.A., 1980. The Lower and Middle Tithonian ammonite fauna from Cerro Lotena, Province of Neuquén, Argentina. *Zitteliana* **5**: 3-49.
- Leanza H.A., 1981. The Jurassic-Cretaceous boundary beds in West Central Argentina and their ammonite zones. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* **161**: 62-92.
- Leanza H.A. & Zeiss A., 1990. Upper Jurassic Lithographic Limestone from Argentina (Neuquén Basin): Stratigraphy and Fossils. *Facies* **22**: 169-186.
- Leanza H.A. & Zeiss A., 1992. On the ammonite fauna of the Lithographic Limestones from the Zapala region (Neuquén province, Argentina), with the description of a new genus. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I, H. 6, 1991*: 1841-1850.
- Parent H., 2001. The Middle Tithonian (Upper Jurassic) ammonoid fauna of Cañadón de los Alazanes, southern Neuquén-Mendoza Basin, Argentina. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **71(1-2)**: 19-38.
- Parent H., 2003. The Ataxioceratid Ammonite Fauna of the Tithonian (Upper Jurassic) of Casa Pincheira, Mendoza (Argentina). In H. Parent, G. Meléndez and F. Olóriz (Eds.): *Jurassic of South America. Journal of South American Earth Sciences* **16**: 143-165.
- Parent H., Scherzinger A. & Schweigert G., 2006. The earliest ammonite faunas from the Andean Tithonian of the Neuquén-Mendoza Basin, Argentina - Chile. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* **241**: 253-267.
- Parent H., Scherzinger A., Schweigert G. & Capello O.D., 2007. Ammonites of the Middle Tithonian Internispinosum Zone from Barda Negra, southern Neuquén-Mendoza Basin, Argentina. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **77(1-2)**: 11-24.
- Steinmann G., 1890. Cephalopoda. In: G. Steinmann & L. Döderlein (eds.): *Elemente der Paläontologie*: 344-475, Leipzig. *Engelmann*.
- Steuer A., 1897. Argentinische Jura-ablagerungen. In: *Beitrag zur Kenntnis der Geologie und Paläontologie der argentinischen Anden. Palaeontologische Abhandlungen* **7 (N.F. 3)**: 129-222.
- Tavera J.M., 1985. Los ammonites del Tithónico superior-Berriasense de la Zona Subbética (Cordilleras Béticas). *Tesis doctorales Universidad de Granada* **587**: 1-381.
- Weaver A., 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina. *Memoirs of the University of Washington* **1**: 1-496.
- Zittel K.A. v., 1884. Cephalopoda, p. 329-522. In: Zittel K.A. (ed.): *Handbuch der Palaentologie*, vol. 1, Abt. 2 (3), Lief 3. Munich & Leipzig. *Oldenbourg*.



## ANÁLISIS HIPSOMÉTRICO, FRECUENCIA ALTIMÉTRICA Y PENDIENTES MEDIAS A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

Juan M.G. RACCA



Boletín  
del Instituto de  
Fisiografía y Geología

Racca J.M.G., 2007. Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología 77(1-2)*: 31-38. Rosario, 01-10-2007. ISSN 1666-115X.

**Resumen.-** Se presentan las técnicas y la herramientas en forma de un programa informático que permiten realizar el análisis hipsométrico y obtener la frecuencia altimétrica y curva de pendientes medias de áreas de la superficie terrestre, en especial de cuencas hidrográficas, a partir de modelos digitales del terreno. Se incluye el ejemplo correspondiente a la cuenca total antropizada del Arroyo del Medio (provincias de Santa Fe y Buenos Aires).

**Palabras clave:** Cuencas hidrográficas, Hipsometría, Frecuencia altimétrica, Pendientes medias, Modelos digitales del terreno, Programa informático.

**Abstract.-** *Hypsometric analysis, altimetric frequency and mean slopes obtained from digital terrain models.* The techniques and software tools which allow the realization of the hypsometric analysis and to obtain the altimetric frequency and mean slopes curve of areas of the earth surface, particularly of hydrographic basins, operating on digital terrain models, are presented. The example of the total anthropized basin of the Arroyo del Medio (Santa Fe and Buenos Aires provinces), is included.

**Palabras clave:** Hydrographic basins, Hypsometry, Altimetric frequency, Mean slopes, Digital terrain models, Software.

Juan Manuel Gonzalo Racca [correo-e: [racca@fceia.unr.edu.ar](mailto:racca@fceia.unr.edu.ar)]: *Instituto de Fisiografía y Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Rosario, Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina.*

El programa instalador del programa informático descrito en este artículo, así como versiones ampliadas y/o en color de las figuras pueden descargarse como Material Suplementario Digital (MSD) de la página web del *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*: <http://www.fceia.unr.edu.ar/fisiografia/publicaciones.htm>.

## INTRODUCCIÓN

Las técnicas de Geomorfología cuantitativa o de morfometría motivo de la presente comunicación, fueron desarrolladas a mediados del siglo veinte y ampliamente utilizadas para la realización de investigaciones básicas y aplicadas, a pesar de lo laborioso de la captura de los datos utilizando opisómetro y planímetro compensador sobre cartografía topográfica, al prolongado tiempo que demandan estas operaciones y a la obtención de los resultados por medio de instrumentos de cálculo y técnicas de dibujo tradicionales.

Pueden citarse numerosos ejemplos de aplicación de las técnicas en diferentes estudios de realización reciente. Entre otros, y sólo mencionando algunos casos, Soares & Riffle (2006) las utilizaron para cartografiar paleosuperficies correlacionadas con eventos de erosión particulares en el sudeste de Brasil; Luo (2000) cuantifica a partir de ellas geofomas debidas a la depleción de capas de aguas subterráneas; Rowbotham et al. (2005) las usaron para identificar cuencas de torrentes de detritos; Liang & Yu (2004) realizaron un análisis de la energía potencial disponible para el escurrimiento hídrico superficial en base a estas técnicas; Rivera & Casassa (1999) obtuvieron, a partir de ellas, los cambios de volumen (años 1975-1995) en un glaciar de la Patagonia chilena; Montgomery et al. (2001) las utilizaron para mostrar que las variaciones climáticas a escala hemisférica son un control de primer orden en la morfología de los Andes. Por último, cabe hacer referencia a aplicaciones en morfometría extraterrestre: Luo (2002) realizó el análisis hipsométrico de redes de valles marcianos con implicaciones referidas a los cambios climáticos y a la posible evolución de la vida en ese planeta.

A partir de la década de los setenta se desarrollaron programas informáticos sólo para realizar los cálculos involucrados pero siempre tomando como base los datos obtenidos de forma manual (Racca 1984). Con el advenimiento de la Geoinformática y de sus herramientas y técnicas, comenzaron a ser de utilización corriente los modelos digitales del terreno, importantes bases cuantitativas para la realización de diferentes análisis.

Se presentan en esta comunicación los procedimientos y un programa informático, desarrollados por el autor en el año 2000, que permiten obtener la información pertinente para realizar el análisis hipsométrico y para graficar la frecuencia altimétrica y la curva de pendientes medias de áreas de la superficie terrestre, en particular de cuencas hidrográficas de llanura, a partir de modelos digitales de elevaciones y de gradientes de pendientes del terreno. Además, se incluyen los resultados que corresponden a la cuenca total antropizada del Arroyo del Medio (provincias de Santa Fe y de Buenos Aires).

## ANÁLISIS HIPSONOMÉTRICO

La curva hipsométrica (Strahler 1952) permite conocer la distribución de masa en la cuenca desde arriba hacia abajo. Se obtiene colocando en las ordenadas los valores correspondientes a las diferentes alturas de la cuenca referidos a la máxima de la misma y, en las abscisas, los valores de área que se encuentran por encima de las alturas correspondientes, referidos al área total de la cuenca. De

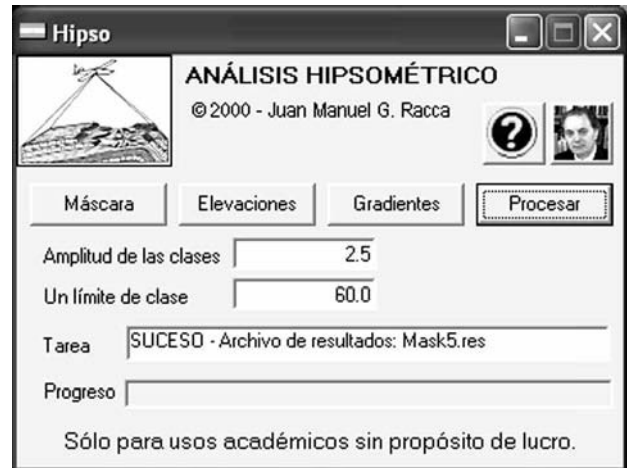


Figura 1. Panel de control del programa que opera sobre los modelos digitales para obtener la información que permite realizar los análisis.

esta forma se utilizan valores relativos (porcentuales), lo que hace posible comparar curvas de diferentes cuencas, prescindiendo de las dimensiones absolutas. Normalmente su forma es sigmoidal, cóncava hacia arriba en la parte superior y convexa en la parte baja; el grado de sinuosidad es muy variable, lo mismo que la pendiente en el punto de inflexión.

Cuando las curvas hipsométricas presentan variaciones, ya sea por apartarse de las teóricas o por presentar más de un punto de inflexión, ello puede relacionarse con controles tectónicos o litológicos. El valor del área relativa que yace bajo la curva (integral hipsométrica) es indicativo del estado de desarrollo de la cuenca; valores superiores al 60 % indican desequilibrio manifiesto en el funcionamiento de la cuenca (juventud en el sentido davisiano), valores rondando el 47 % representan equilibrio (madurez), e inferiores a 30% implican fase de "monadnock" (senectud).

La técnica tradicional para la construcción de la curva hipsométrica involucra -la mayoría de las veces- medir las áreas comprendidas entre isohipsas adyacentes que difieren en una equidistancia, con planímetro compensador. Lo ideal sería, si las dimensiones del área total considerada lo permiten, realizar las mediciones por áreas progresivas, siempre desde el punto más alto, hasta las sucesivas curvas de nivel de cota decreciente, para disminuir el efecto de la acumulación de errores de medición de áreas parciales. Luego, por cálculo manual, se obtienen las ordenadas y abscisas de los puntos de pasaje de la curva y la integral hipsométrica.

El procedimiento desarrollado para obtener los datos a partir del modelo digital de elevaciones en formato matricial o "ráster", consiste en recorrer sistemáticamente las celdas del mismo, realizando el conteo de dichas celdas -de acuerdo con su elevación- para cada una de las clases de altitud previamente establecidas. Las celdas, todas cuadradas y de igual dimensión, poseen área determinada por la resolución espacial del modelo digital utilizado en cada caso. El programa informático que se presenta en este trabajo realiza los cálculos necesarios para obtener los valores que permiten el graficado de la curva y para calcular el valor de la integral hipsométrica.

**Tabla 1.** Ejemplo de la salida de presentación de resultados del programa que opera sobre los modelos digitales para obtener la información necesaria para la realización de los análisis.

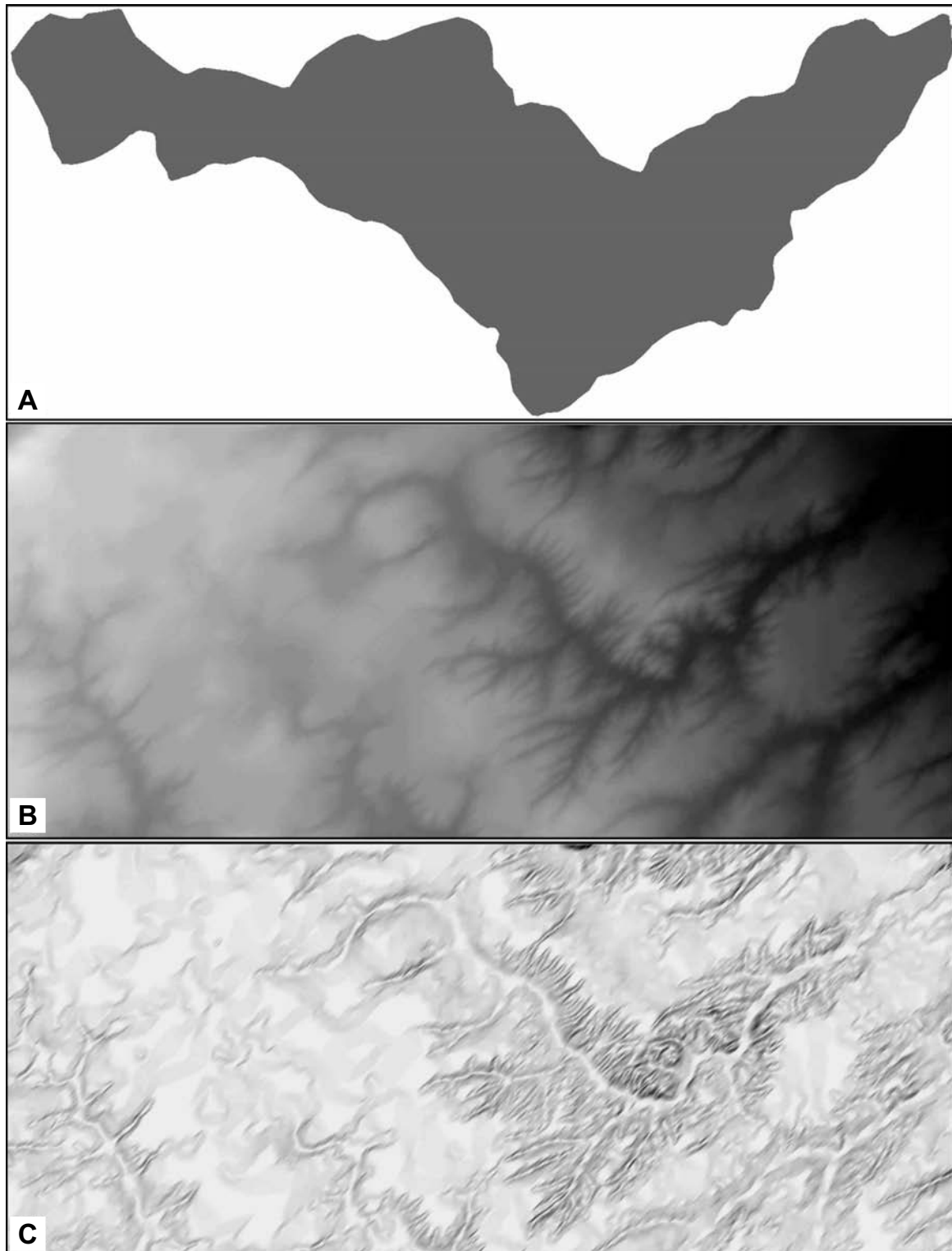
**ANALISIS HIPSOMETRICO**  
 (Intervalos cerrados por izquierda y abiertos por derecha)

Archivos: Mask5.rst - AMTRF.rst - dtmg1000.rst

INTERVALO EN ALTITUD (m)		FREC. ALTIMETRICA A(Km2) AREA %		PENDIENTES MEDIAS Ancho Wac. Gr.o/oo			CURVA HIPSOM. X % Y %	
107.05	107.05						0.00	100.00
107.05	105.00	1.101	0.05	0.69	0.69	2.98	0.05	97.88
105.00	102.50	5.290	0.23	1.26	1.95	1.99	0.28	95.31
102.50	100.00	10.661	0.47	1.28	3.23	1.95	0.76	92.73
100.00	97.50	13.898	0.62	1.36	4.59	1.84	1.37	90.15
97.50	95.00	11.050	0.49	0.96	5.54	2.61	1.86	87.57
95.00	92.50	120.610	5.34	4.40	9.94	0.57	7.20	84.99
92.50	90.00	55.638	2.46	2.07	12.01	1.21	9.66	82.42
90.00	87.50	91.053	4.03	2.49	14.50	1.00	13.70	79.84
87.50	85.00	72.650	3.22	2.70	17.20	0.92	16.91	77.26
85.00	82.50	25.405	1.13	1.45	18.65	1.72	18.04	74.68
82.50	80.00	92.027	4.08	1.85	20.50	1.35	22.11	72.10
80.00	77.50	170.008	7.53	1.56	22.06	1.61	29.64	69.52
77.50	75.00	130.002	5.76	0.93	22.98	2.70	35.40	66.95
75.00	72.50	127.899	5.66	0.76	23.75	3.28	41.06	64.37
72.50	70.00	126.181	5.59	0.66	24.40	3.80	46.65	61.79
70.00	67.50	115.206	5.10	0.54	24.95	4.62	51.75	59.21
67.50	65.00	103.014	4.56	0.49	25.43	5.15	56.32	56.63
65.00	62.50	102.986	4.56	0.52	25.95	4.80	60.88	54.06
62.50	60.00	100.760	4.46	0.51	26.46	4.88	65.34	51.48
60.00	57.50	78.888	3.49	0.46	26.92	5.48	68.83	48.90
57.50	55.00	83.149	3.68	0.50	27.42	5.04	72.51	46.32
55.00	52.50	81.478	3.61	0.51	27.93	4.89	76.12	43.74
52.50	50.00	79.002	3.50	0.54	28.47	4.65	79.62	41.17
50.00	47.50	59.518	2.64	0.49	28.95	5.11	82.26	38.59
47.50	45.00	64.914	2.87	0.54	29.49	4.66	85.13	36.01
45.00	42.50	53.166	2.35	0.50	29.99	4.99	87.49	33.43
42.50	40.00	47.501	2.10	0.49	30.49	5.05	89.59	30.85
40.00	37.50	38.205	1.69	0.51	31.00	4.88	91.28	28.28
37.50	35.00	30.592	1.35	0.52	31.52	4.80	92.64	25.70
35.00	32.50	30.381	1.35	0.64	32.16	3.92	93.98	23.12
32.50	30.00	32.166	1.42	0.84	33.00	2.97	95.41	20.54
30.00	27.50	29.658	1.31	1.03	34.03	2.43	96.72	17.96
27.50	25.00	24.674	1.09	1.15	35.18	2.17	97.81	15.39
25.00	22.50	22.584	1.00	0.94	36.12	2.66	98.81	12.81
22.50	20.00	14.312	0.63	0.79	36.92	3.14	99.45	10.23
20.00	17.50	8.453	0.37	0.72	37.64	3.45	99.82	7.65
17.50	15.00	3.008	0.13	0.55	38.19	4.51	99.95	5.07
15.00	12.50	0.853	0.04	0.24	38.44	10.28	99.99	2.50
12.50	10.00	0.211	0.01	0.18	38.61	13.69	100.00	0.00

INTEGRAL HIPSOMETRICA = 57.57 %

AREA TOTAL ..... 2258.149 Km2  
 ALTITUD MAXIMA ..... 107.052 m  
 ALTITUD MINIMA ..... 10.080 m  
 ALTITUD MEDIA ..... 65.928 m  
 PENDIENTE MEDIA ..... 3.404 o/oo



**Figura 2.** Modelos digitales del área de la Cuenca del Arroyo del Medio. **A:** Máscara que limita la cuenca. **B:** Imágen del modelo digital de elevaciones. **C:** Imágen del modelo digital de gradientes por mil.

## FRECUENCIA ALTIMÉTRICA

El análisis de frecuencia altimétrica se utiliza para describir, en altitudes sucesivas, las frecuencias de ciertos niveles, como ser altitud de sitios, puntos más altos en mallas cuadradas de muestreo, altitudes de cumbres o la de áreas de llanos o depresiones tales como hombreras, bancos y collados (Clarke 1968).

El procedimiento tradicional de base para hallar la frecuencia altimétrica es el mismo que para la obtención de los datos que permiten construir la curva hipsométrica: el planimetrado -sobre cartas topográficas- de las áreas existentes entre curvas de nivel de cotas sucesivas. Estas áreas constituyen las frecuencias altitudinales, expresadas en valores absolutos o relativos, correspondientes a cada intervalo de elevación. Asimismo, los datos para la realización de este análisis se obtienen del modelo digital de elevaciones de manera similar que para el análisis hipsométrico

## CURVA DE PENDIENTES MEDIAS

Las curvas de pendientes medias permiten observar la distribución de las pendientes en relación con las altitudes. Las pendientes medias variarán de acuerdo con las geoformas y con las características propias del sistema de avenamiento (Strahler 1952).

Tradicionalmente los datos necesarios para obtenerla son las longitudes de las curvas de nivel de cada cota, medidas con opisómetro o "curvímetro" sobre las cartas topográficas, y las áreas comprendidas entre aquéllas, medidas con planímetro compensador. Para cada faja de terreno existente entre dos isohipsas sucesivas, las longitudes de la curva superior y de la inferior se promedian, obteniendo una longitud para dicha faja; dividiendo el área de cada faja por su largo medio se consiguen los valores de sus anchuras planimétricas medias. El gradiente de pendiente promedio de cada faja se obtiene dividiendo la amplitud del intervalo altitudinal (normalmente la equidistancia entre curvas de nivel) por la anchura media de la faja. La curva de pendientes medias puede graficarse por coordenadas; las ordenadas corresponden a las cotas de las isohipsas o de los puntos acotados y las abscisas a los anchos medios de faja acumulados, desde la elevación máxima hasta la mínima.

La estrategia para obtener los datos necesarios para el trazado de la curva de pendientes medias y los valores de los gradientes promedio, a partir de los modelos digitales del terreno, es diferente. Consiste en recorrer sistemáticamente, al unísono, las celdas homólogas de los modelos digitales de elevaciones y de gradientes de pendientes; los valores de los gradientes presentes en las celdas se van sumando y contando para cada intervalo altitudinal de los previamente establecidos, de acuerdo con la cotas almacenadas en las celdas homólogas del modelo digital de elevaciones. En definitiva, se obtienen los gradientes de pendientes promedio para cada intervalo altitudinal (que corresponden a las fajas de terreno entre isohipsas de cotas sucesivas) a partir de las sumas de gradientes que fueron almacenadas durante la ejecución del procedimiento, divididas por el número de celdas, correspondientes a cada clase. Los valores de los anchos medios de faja, necesarios para el trazado de la curva, se obtienen dividiendo las amplitudes de los intervalos altitudinales por los valores de los gradientes promedio de

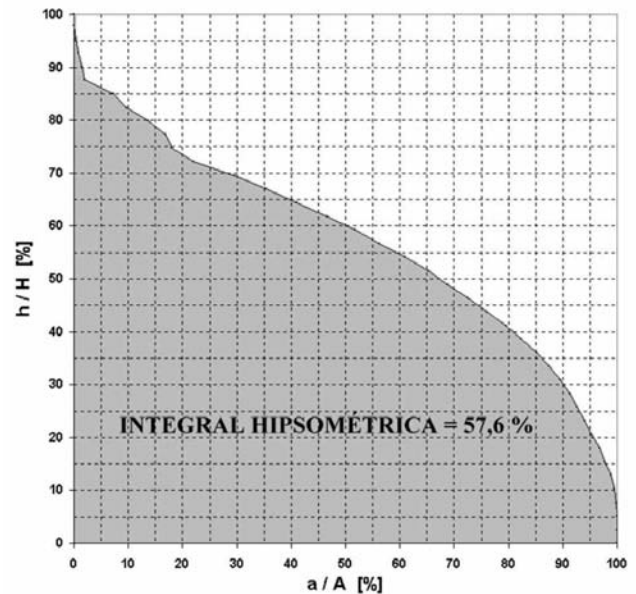


Figura 3. Curva hipsométrica de la Cuenca del Arroyo del Medio total antropizada.

pendientes que les corresponden.

## PROGRAMA INFORMÁTICO

Se desarrolló un programa informático cuyo propósito es implementar las técnicas de las maneras anteriormente descritas y que opera sobre los modelos digitales del terreno para extraer la información necesaria para la realización del análisis hipsométrico, la obtención de la frecuencia altimétrica y el trazado de la curva de pendientes medias. Su panel de control se exhibe en la Figura 1.

Requiere de tres fuentes de datos: una máscara que indica el área de terreno sobre la cual van a efectuarse las operaciones, el modelo digital de elevaciones del terreno y el modelo digital de gradientes de pendientes. Los tres modelos matriciales o ráster citados deben poseer la misma cobertura y resolución espacial (en metros) y estar almacenados en el formato Idrisi.

La máscara debe tener formato byte-binario; las celdas que corresponden al área bajo análisis deben poseer en la máscara el valor cero y las restantes cualquier valor distinto de cero. Normalmente se la construye con un editor de gráficos convencional, a partir de modelos analógicos digitalizados o de otras capas temáticas derivadas (la mayoría de las veces cartas topográficas) y se la exporta finalmente al formato Idrisi.

Los dos modelos digitales del terreno (elevaciones y gradientes), en formato real-binario, se suponen haber sido construidos con un sistema desarrollado con anterioridad (Racca, *remitido*). Los gradientes deben estar expresados en metros por kilómetro.

Antes de la operación definitiva hay que establecer los valores de la amplitud de las clases (intervalos altitudinales) y de un límite de clase, ingresándolos con el teclado en las casillas de texto

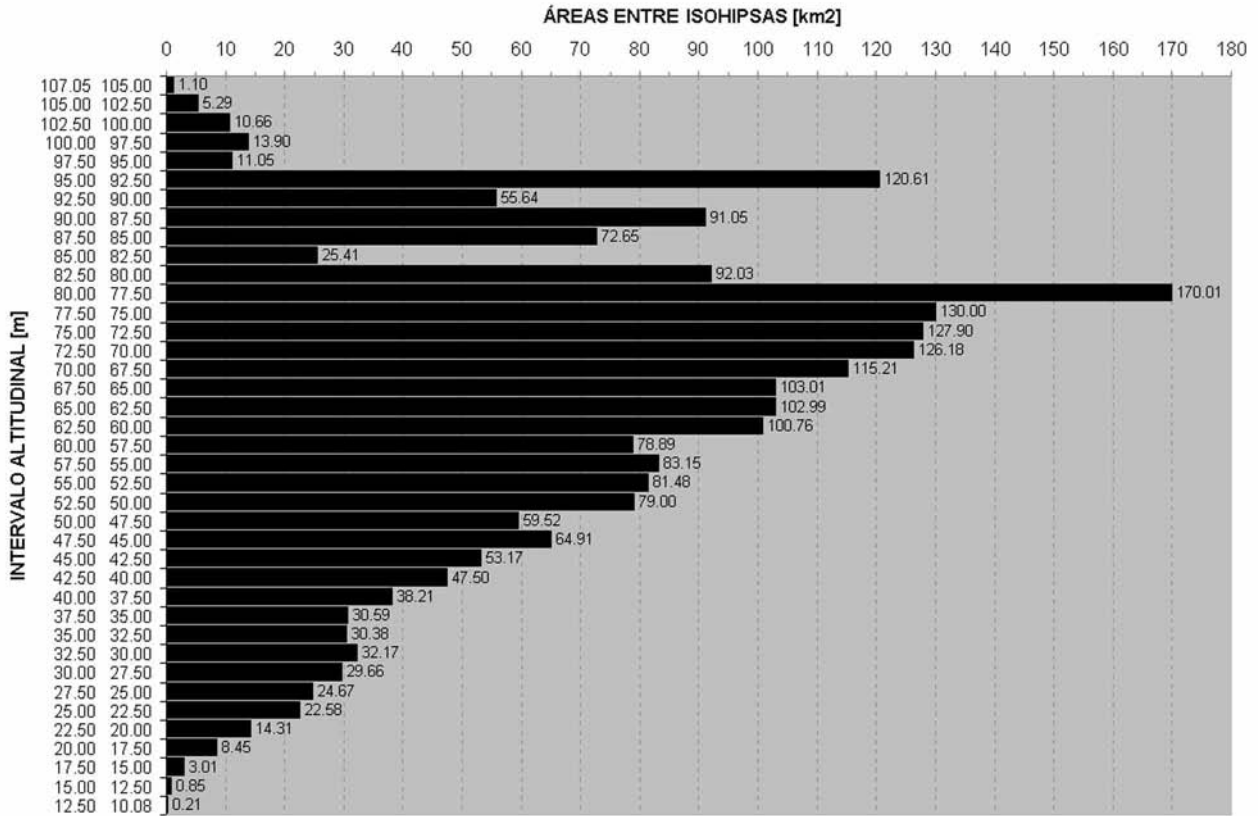


Figura 4. Frecuencias altimétricas de la Cuenca del Arroyo del Medio total antropizada.

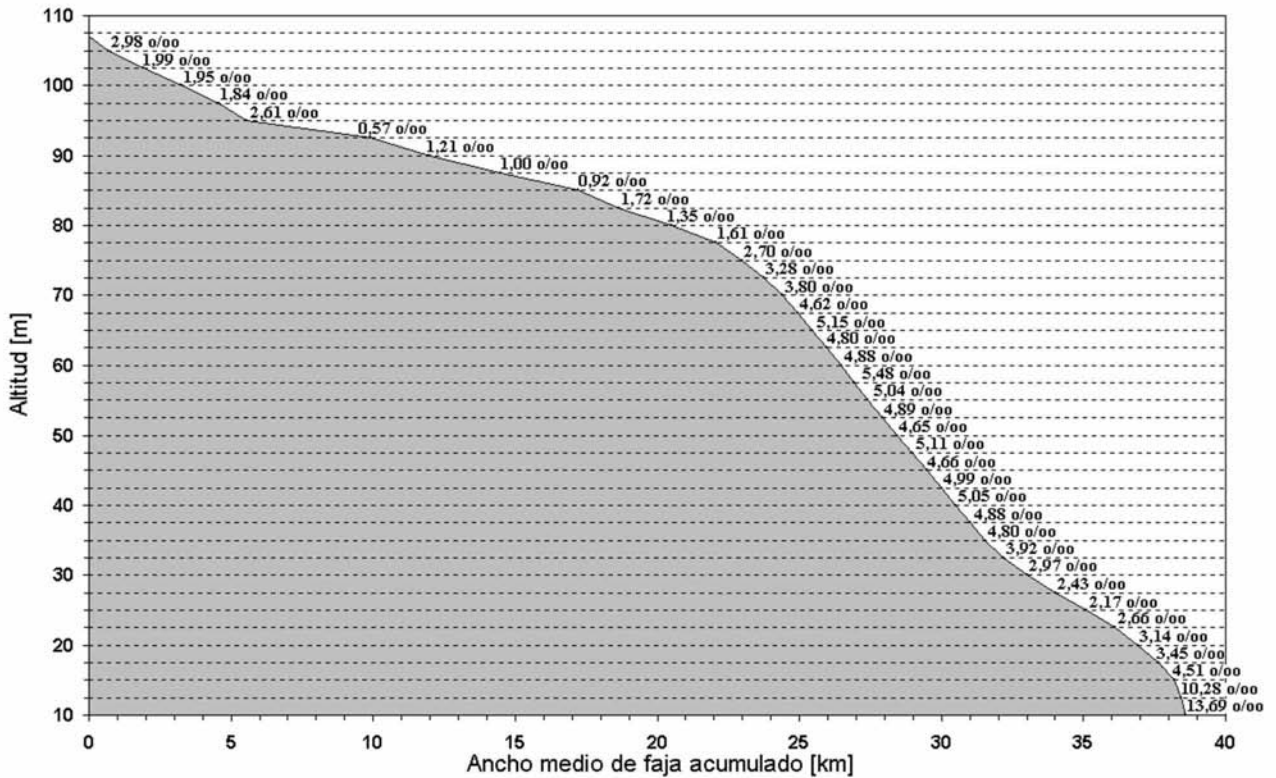


Figura 5. Curva de pendientes medias de la Cuenca del Arroyo del Medio total antropizada.

correspondientes. El programa se encarga de determinar todas las clases de elevación basándose en los dos valores ingresados y en las cotas máxima y mínima del área indicada por la máscara: todas tendrán igual amplitud salvo las clases superior e inferior que quedarán limitadas por las cotas máxima y mínima del área, respectivamente. Los intervalos de clase altitudinales estarán cerrados por izquierda (límite superior de la clase) y abiertos por derecha (límite inferior de la clase), salvo el último o inferior que estará cerrado por ambos extremos.

Cuando termina su operación, el programa almacena los resultados en un archivo de texto cuyo nombre es igual al de la máscara empleada, pero con extensión “.res”; un ejemplo de salida del programa se exhibe en la Tabla 1. Las columnas de la tabla, presentes en el archivo de resultados, permiten el trazado de la curva hipsométrica, del diagrama de frecuencia altimétrica y de la curva de gradientes medios de pendientes. Pueden utilizarse los comandos “copiar” y “pegar” sobre dichas columnas para transferirlas a una planilla de cálculo informática y aprovechar sus facilidades de graficación para obtener los diagramas correspondientes (Figuras 3, 4 y 5).

Además, el programa arroja los valores de la integral hipsométrica, del área total bajo análisis (obtenida por conteo de celdas), de las cotas máxima y mínima (halladas por exploración del modelo digital de elevaciones), de la altitud media (calculada por promedio de las cotas presentes en las celdas del modelo digital de elevaciones) y del gradiente de pendiente medio de toda el área (promediando los valores de las celdas del modelo digital de gradientes de pendientes). Todos los valores corresponden al área abarcada e indicada por la máscara empleada.

### CUENCA DEL ARROYO DEL MEDIO

Se hicieron los análisis para la cuenca total antropizada del Arroyo del Medio, situada en las provincias de Santa Fe y Buenos Aires, en ocasión del desarrollo del estudio geomorfológico integral del área de la mencionada cuenca, realizado por el autor de la presente comunicación durante los años 2000 y 2001. La Figura 2 exhibe las imágenes de la máscara que delimita la cuenca, del modelo digital de elevaciones y del modelo digital de gradientes de pendientes; el área rectangular cubierta por cada uno de los tres modelos (que poseen resolución espacial de 40 metros) es de 5.551,728 km<sup>2</sup> (3.469.830 celdas) y la de la cuenca bajo análisis es de 2.258,149 km<sup>2</sup> (1.411.343 celdas).

La Figura 3 muestra la curva hipsométrica de la cuenca; su parte superior presenta al comienzo elevada pendiente y a continuación marcadas irregularidades, todo ello debido a la anexión de un sector drenado por canales que no pertenece a la cuenca natural. No existe un punto de inflexión bien definido, pero a partir de las irregularidades -en el 75 % de su trazado inferior- la curva muestra convexidad hacia arriba; el valor de la integral hipsométrica es elevado. Todo lo mencionado anteriormente indica un importante desequilibrio morfológico en la cuenca, que se considera producto de eventos neotectónicos muy recientes.

La Figura 4 exhibe el diagrama de frecuencias altimétricas; se nota que la distribución es bimodal, correspondiendo la moda de las altitudes mayores al sector

anexado por canalizaciones y la inferior a la cuenca natural del arroyo del Medio.

La Figura 5 muestra la curva de pendientes medias. Pueden apreciarse en ella varios tramos, a distintas altitudes, diferenciados por los valores de los gradientes: en el primero, entre las cotas 107 m y 95 m, el área involucrada corresponde a la fracción de ribete elevado que rodea el área hundida donde se halla la laguna Melincué, en el sector anexado por canalizaciones a la cuenca del Arroyo del Medio; a partir de allí las pendientes medias disminuyen considerablemente -en áreas que pertenecen a la parte final del sector anexado y al tramo superior del valle del arroyo del Medio- hasta llegar aproximadamente la cota 80 m. Desde esta última altitud y hasta la cota 35 m los gradientes medios se incrementan en gran medida, involucrando las vertientes del tramo medio del valle y de la parte inicial y media del tramo final del mismo; a partir de la cota 35 m y hasta la finalización, las pendientes medias decrecen primero y aumentan luego en las áreas pertenecientes al tercio final del tramo inferior del valle del arroyo.

### CONCLUSIONES

Las técnicas y el programa informático desarrollados permiten obtener de los modelos digitales del terreno, en tiempo real, la información necesaria para la realización del análisis hipsométrico y el trazado del diagrama de frecuencias altimétricas y de la curva de pendientes medias de áreas de la superficie terrestre, en particular de cuencas hidrográficas, eludiendo la laboriosa, prolongada e imprecisa captura manual de datos sobre cartografía topográfica, que se realiza para la aplicación de las técnicas de la manera tradicional.

Al operarse sobre los modelos digitales del terreno, los análisis no quedan constreñidos a emplear los límites y amplitudes de clase altitudinales determinados por las características y valores de las curvas de nivel de las cartas topográficas. Estos límites y amplitudes pueden variarse, todas las veces que sea necesario, de acuerdo con los diferentes objetos de estudio que se presenten.

### Agradecimientos

E. Popolizio y otro revisor anónimo realizaron valiosas sugerencias para la presentación final del manuscrito original como árbitros de la revista.

### REFERENCIAS

- Clarke J.I., 1968. Altimetric frequency curve. In: R.W. Fairbridge (ed.): *The Encyclopedia of Geomorphology*. Reinhold Book Co., 1114 p.
- Liang C. & Yu Z., 2004. Theoretical analysis of potential runoff energy. *Nature and Science* **2(1)**: .
- Luo W., 2000. Quantifying groundwater-sapping landforms with a hypsometric technique. *Journal of Geophysical Research* **105**, E1: 1685-1694.
- Luo W., 2002. Hypsometric analysis of Margaritifer Sinus and origin of valley networks. *Journal of Geophysical Research* **107**, E10: 5071.
- Montgomery D.R., Balco, G & Willett, S.D., 2001. Climate, tectonics, and the morphology of the Andes. *Geology* **29(7)**: 579-582.
- Racca J.M.G., 1984. Programas para el cálculo en geomorfología cuantitativa. *Notas del Instituto*

- de Fisiografía y Geología* **B1**: 1-12.
- Rivera A. & Casassa G., 1999. Volume changes on Pio XI glacier, Patagonia: 1975 - 1995. *Global and Planetary Change* **22**: 233-244.
- Rowbotham D., De Scally F. & Louis J., 2005. The identification of debris torrent basins using morphometric measures derived within a GIS. *Geografiska Annaler, Series A (Physical Geography)* **87(4)**: 527-537.
- Soares P & Riffel S., 2006. Hypsometric curves as a tool for paleosurface mapping. *Mathematical Geology* **38(6)**: 679-695.
- Strahler A.N., 1952. Hypsometric area-altitude analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America* **63**: 1117-1142.



## PROGRAMA PARA MANEJO DE IMÁGENES MMRS Y HRTC REGISTRADAS POR EL SATÉLITE ARGENTINO SAC-C

Juan M.G. RACCA



Boletín  
del Instituto de  
Fisiografía y Geología

Racca J.M.G., 2007. Programa para manejo de imágenes MMRS y HRTC registradas por el satélite argentino SAC-C. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología 77(1-2)*: 39-44. Rosario, 01-10-2007. ISSN 1666-115X.

**Resumen.-** Se presenta de forma sintética un programa denominado CDSACC, destinado al manejo de imágenes registradas por las cámaras MMRS y HRTC transportadas a bordo del satélite argentino SAC-C. Posee opciones para visualizar las características de las imágenes, incluyendo los histogramas de los números digitales de los píxeles de las distintas bandas, exhibir subescenas en tonalidades de gris o cromáticas de hasta 2000 x 1500 píxeles, descargar subescenas de cualquier tamaño a disco magnético para ser luego procesadas con otros sistemas y para construir y mostrar reducciones de la escena completa, con el propósito de localizar rápidamente las áreas de interés. Además, se describe el programa auxiliar HistSACC que permite construir y almacenar las distribuciones de frecuencias de los números digitales de los píxeles de las distintas bandas, necesarias para la exhibición de escenas en tiempo real.

**Palabras clave:** Teledetección, Satélite SAC-C, Imágenes MMRS, Imágenes HRTC, Programa informático, Procesamiento de imágenes.

**Abstract.- Program for handling MMRS and HRTC images registered by the argentinean satellite SAC-C.**

A program named CDSACC, which allows the handle of images registered with MMRS and HRTC cameras ported on board of the argentinean satellite SAC-C is presented in a synthetic manner. It has options to visualize the characteristics of the images, including the histograms of the pixel's digital numbers belonging to the different spectral bands, to exhibit subscenes -up to 2000 x 1500 pixels- in grey or chromatic shades, to download subscenes of any size to magnetic disk in order to be processed afterwards with other systems and to construct and show reductions of the complete scene, for a fast localization of the areas of interest. Furthermore, also is presented the description of the auxiliary program HistSACC, whose purposes are the construction and saving of the pixel's frequency distributions of digital numbers belonging to the different bands, necessary for the exhibition of scenes in real time.

**Key words:** Remote sensing, SAC-C satellite, MMRS images, HRTC images, Processing system, Image processing.

Juan Manuel Gonzalo Racca [e-mail: [racca@fceia.unr.edu.ar](mailto:racca@fceia.unr.edu.ar)]: *Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina.*

El programa instalador del programa informático descrito en este artículo, así como versiones ampliadas y/o en color de las figuras pueden descargarse como Material Suplementario Digital (MSD) de la página web del *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*: <http://www.fceia.unr.edu.ar/fisiografia/publicaciones.htm>.

**INTRODUCCIÓN**

El desarrollo del programa CDSACC que se describe en este trabajo, realizado en el año 2001, se encuadró en el marco de la primera fase del proyecto de investigación "Utilización de datos registrados por el satélite SAC-C (MMRS y HRTC) para la investigación en geomorfología ambiental vinculada con el estudio y manejo de los recursos hídricos y con el uso del suelo en la llanura pampeana", convenido entre el Instituto de Fisiografía y Geología y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales CONAE para comprobar la aplicabilidad de las imágenes de dicho satélite a estudios fisiográficos, geológicos y vinculados con el medio ambiente. La mencionada primera fase incluyó el desarrollo de técnicas y la construcción de herramientas, tales como las que se presentan en esta comunicación.

El propósito del programa aquí descrito consiste en el manejo imágenes registradas por los sensores MMRS (Multispectral Medium Resolution Scanner) y HRTC (High Resolution Technological Camera) transportados a bordo del satélite SAC-C (Satélite Argentino Científico "C") almacenadas en un directorio de disco óptico, magnético o de estado sólido, y entregadas por la CONAE en CD-ROM. Tiene como antecedente un programa similar (Racca 1995), realizado con anterioridad por el autor, cuyo propósito es procesar imágenes HRV (Haute Résolution Visible) del satélite SPOT (Satellite Pour l'Observation de

la Terre) en el formato original del Centre National d'Etudes Spatiales CNES.

Las imágenes MMRS son apropiadas para la realización de estudios a nivel regional dada su resolución espacial de 175 metros y aptas para la confección de cartografía hasta la escala 1:500.000; poseen una buena capacidad temática aportada por su resolución espectral, que abarca el espectro visible y el infrarrojo reflejado en cinco bandas. Las imágenes HRTC con registro espectral pancromático extendido al infrarrojo cercano poseen resolución espacial de 35 metros y permiten la realización de estudios con mayor detalle y la confección de cartografía hasta la escala 1:150.000; al estar constituidas por un solo canal espectral, su capacidad temática es menor que la de las imágenes MMRS.

El programa fue realizado con compilador de lenguaje C++ y debe ser ejecutado en ambiente Windows de 32 bits (95, 98, Millenium, NT y XP). Permite realizar las siguientes operaciones:

Visualizar las características de la imagen, incluyendo los histogramas de los números digitales de los píxeles de las distintas bandas y sus estadísticos asociados.

Exhibir subescenas de una banda en tonalidades de gris o de tres bandas cualesquiera compuestas en color, utilizando uno de entre varios tipos de expansión de contraste y de tamaño hasta 2000 x 1500 píxeles, con visualización de coordenadas de imagen a medida que se desplaza el cursor sobre aquéllas.

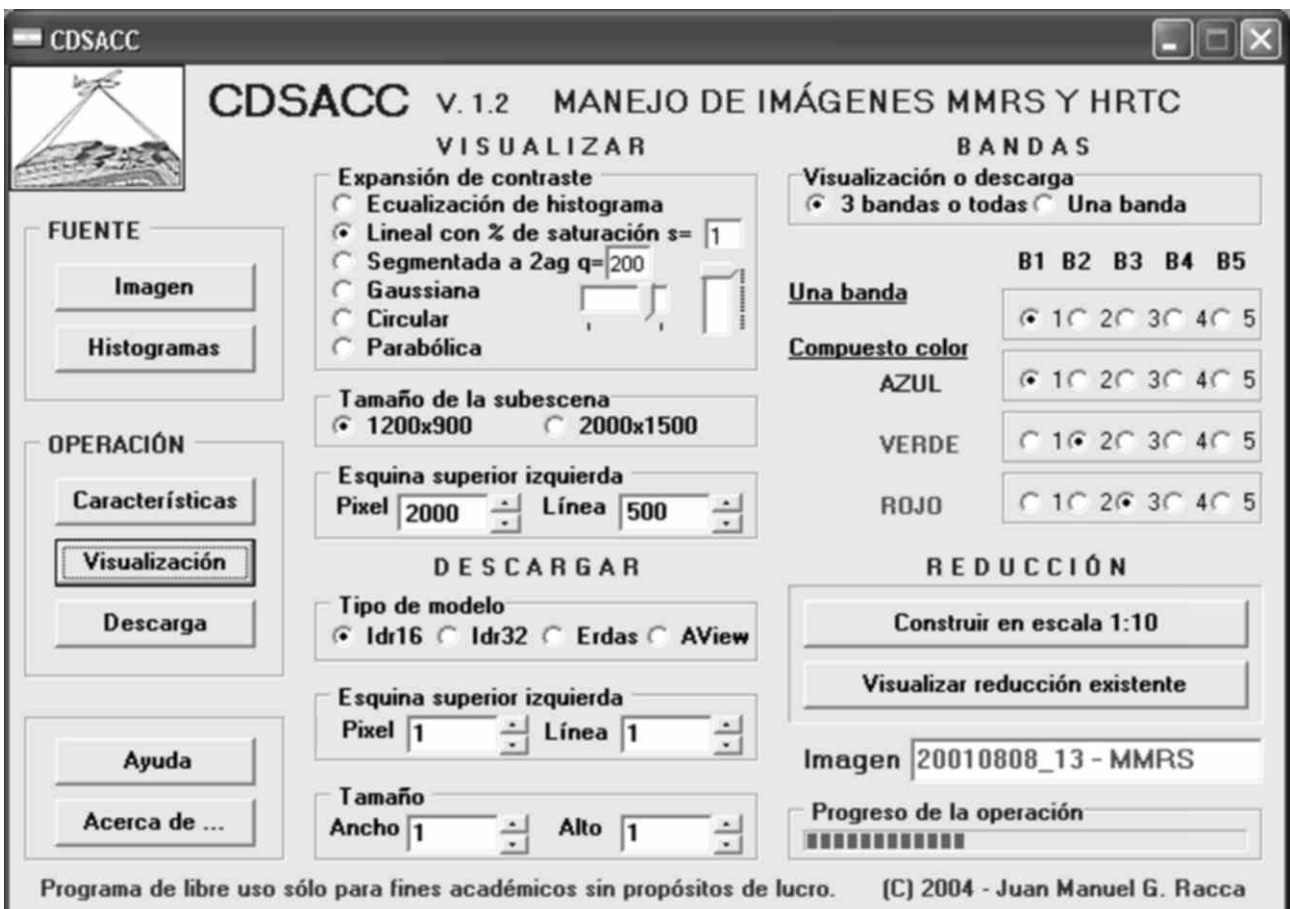


Figura 1. Panel de control del programa CDSACC.

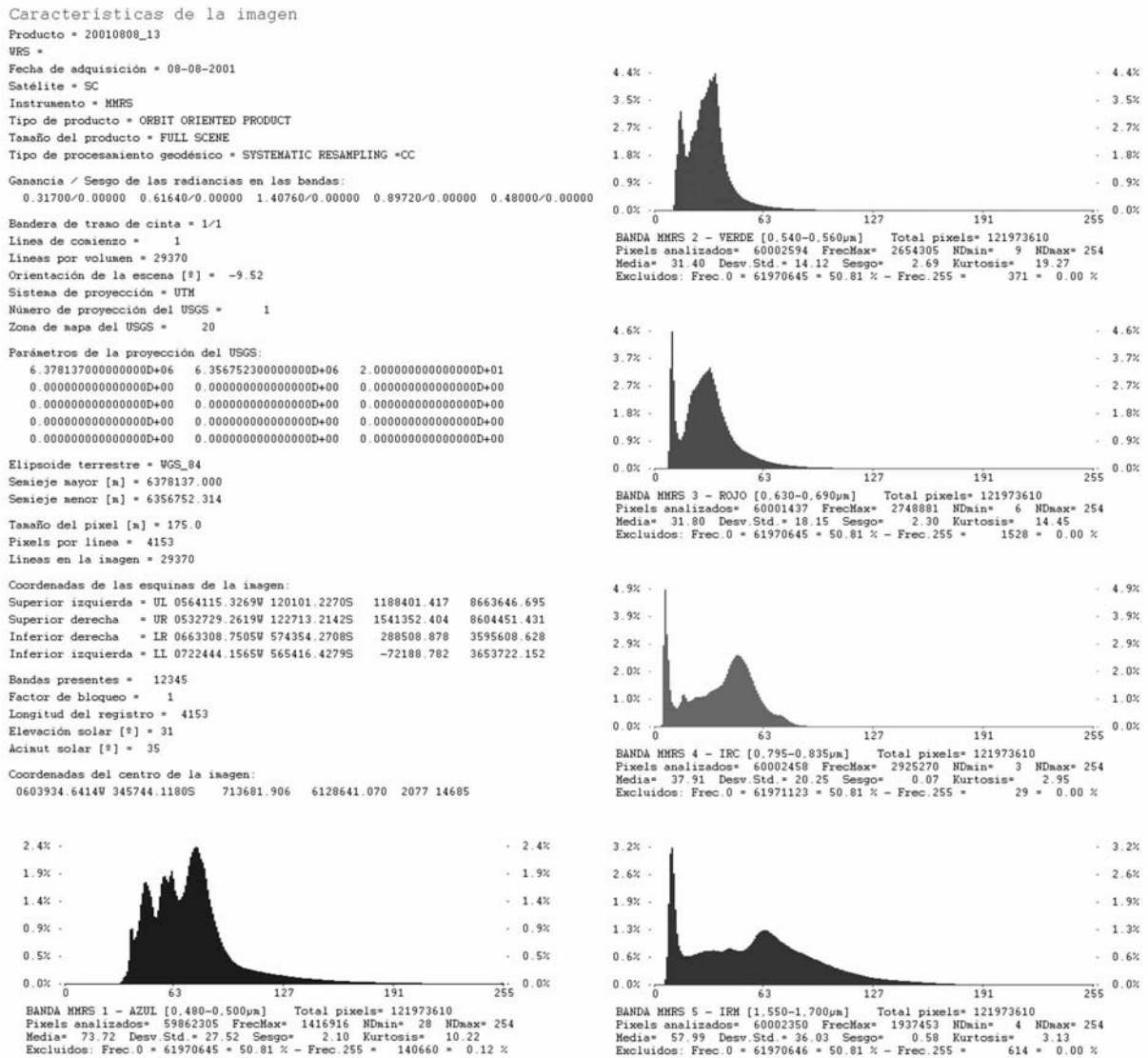


Figura 2. Características de la escena MMRS 20010808\_13 registrada el 8 de Agosto de 2001.

Descargar a disco magnético o de estado sólido subescenas de cualquier tamaño en formatos Idrisi 16, Idrisi 32, Erdas (lan - versión 74) o ArcView (bil), para ser luego procesadas con otros sistemas.

Construir y visualizar reducciones a escala 1:10 de las imágenes completas, a los efectos de localizar prontamente las áreas de interés.

Grabar en disco magnético o de estado sólido -en formato de mapa de bits- las salidas gráficas que se presentan en la pantalla del monitor de la computadora (características, subescenas y reducciones), colocando el cursor sobre la ventana correspondiente y pulsando su botón izquierdo.

Debido al hecho de que la CONAE entrega las imágenes en la modalidad EOSAT fast format (*formato rápido de la compañía EOSAT - Earth Observation Satellite*), la información complementaria a ellas, almacenada en el archivo de encabezamiento *header.dat*, es muy limitada y no incluye las distribuciones de frecuencias de los números digitales de los píxeles, que son necesarias para la exhibición de escenas o subescenas

en tiempo real. Hay que construirlas previamente y almacenarlas en algún medio magnético o de estado sólido antes de operar con la imagen, ejecutando el programa HistSACC que se describe mas abajo.

Los programas desarrollados llenan un vacío parcial existente en materia de sistemas de manejo rápido de imágenes MMRS y HRTC almacenadas en CD-ROM o en otros medios y se destaca la utilidad que proporciona el programa al permitir la exhibición en pantalla (del monitor de la computadora o de proyección) de subescenas de cualquier banda o de composiciones cromáticas de tres de ellas en tiempo real, procedimiento que permite agilizar situaciones didácticas, sin el prolongado y complicado procesamiento con otros sistemas.

La descripción completa de los programas y de su operación fue presentada en las Sesiones de Cartografía de la XXI Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, que se desarrolló en la ciudad de Rosario durante la semana del 23 al 27 de setiembre de 2002.



Figura 3. Ventana de visualización minimizada de subescena MMRS en "color normal".

## OPERACIÓN DEL PROGRAMA CDSACC

**Panel de control.** La operación del programa se realiza desde un único panel de control (Figura 1).

**Fuente de los datos.** Para comenzar la operación deben indicarse al sistema las dos fuentes de los datos a ser procesados:

1. La unidad de disco y directorio que contiene la imagen, pulsando el botón *Imagen* y eligiendo la que corresponda. Realizada esta operación, aparece la identificación de la imagen y del sensor en la casilla de texto situada en la parte inferior derecha del panel de control.
2. La unidad de disco y directorio en donde se encuentran almacenados los archivos con las distribuciones de frecuencias de los números digitales de las bandas espectrales construidos con el programa HistSACC, pulsando el botón *Histogramas*. Este directorio deberá contener -además- una copia del archivo de encabezamiento (*header.dat*) de la imagen. El programa utiliza esta copia para verificar que las distribuciones de frecuencias corresponden a la imagen sobre la cual se

desea operar. Una vez realizadas las dos operaciones precedentes, quedan habilitadas las demás opciones.

**Características de la imagen.** Cuando se pulsa el botón *Características*, se exhiben en una ventana todos los datos relacionados con la imagen, que están registradas en su archivo de encabezamiento. Al final se muestran los histogramas correspondientes a las distribuciones de frecuencias de los números digitales de cada banda y sus estadísticos asociados. Se eliminan de los histogramas las frecuencias correspondientes a las clases 0 (cero) y 255 debido a que sus elevados valores enmascaran el resto de las clases (el cero se asigna a aquellos píxeles que no pertenecen a la imagen propiamente dicha y el 255 corresponde a partes de las nubes que normalmente cubren áreas de grandes extensiones).

En la Figura 2 se presenta la imagen de la salida en pantalla correspondiente a la escena MMRS 20010808\_13 registrada el 8 de agosto de 2001, almacenada en disco magnético en formato de mapa de bits, utilizando la opción para hacerlo cuando se pulsa el botón izquierdo del ratón sobre ella.

**Visualización de subescenas.** Requiere de tareas



Figura 4. Reducción de la imagen completa, ajustada al tamaño de página.



Figura 5. Panel de control del programa HistSACC.

preparatorias modificando los parámetros exhibidos en el panel de control, indicados por los botones de radio o por las casillas de valores numéricos, para establecer el tipo de expansión de contraste a ser utilizado en la exhibición, el tamaño de la subescena (1200 x 900 o 2000 x 1500 píxeles), la posición (píxel, línea) de su esquina superior izquierda y si se desea visualizar una composición color de tres bandas o una sola banda en tonos de gris (en el caso de una sola banda, cuál de ellas, y en el caso de composición de tres bandas, cuáles y qué colores primarios se asignan a cada una de ellas). Si la imagen es de tipo HRTC, se exhibe automáticamente la única banda en tonalidades de gris. No se consideran las clases de números digitales 0 y 255 para realizar los distintos tipos de expansión de contraste de las bandas, debido a las causas indicadas arriba.

Ya establecidos los parámetros mencionados, debe pulsarse el botón *Visualización*; comienza la construcción de la subescena, que demanda algunos segundos en completarse. Finalizada la construcción aparece una ventana que contiene la subescena que quiere visualizarse; desplazando el cursor del ratón sobre ella, pueden observarse -en la barra de estado inferior- las coordenadas de imagen (píxel, línea) de los elementos apuntados. Pulsando el botón izquierdo del ratón con su cursor situado sobre la subescena, se la puede grabar en disco magnético en formato de mapa de bits.

En la Figura 3 se presenta la ventana minimizada de visualización, que exhibe una subescena en "color normal" (bandas 1: azul, 2: verde y 3: rojo), con expansión de contraste por ecualización de histograma, que incluye, entre otros rasgos, la ciudad de Rosario (centro-este de Argentina), el enlace vial Rosario-Victoria, la ciudad de San Nicolás y partes del cauce principal del Río Paraná y de su delta.

**Descarga de subescenas a disco magnético.** Antes de proceder a la descarga, deben establecerse los parámetros deseados modificando los valores numéricos presentes en las casillas o la señalización de los botones de radio: el tipo de modelo resultante de la descarga (Idrisi 16, Idrisi 32, Erdas lan 74 o Arc View bil), las coordenadas de imagen

(píxel, línea) de la esquina superior izquierda de la subescena, el tamaño de la subescena (ancho, alto), si se desea descargar todas las bandas o sólo una (en caso de una única banda, cuál de ellas). Una vez establecidos los parámetros, debe pulsarse el botón *Descarga*; aparece una ventana de diálogo a los efectos de establecer la unidad de disco, directorio y el nombre de los archivos que almacenarán el modelo. Si su tamaño excede la capacidad del disco receptor, el programa cancela automáticamente la descarga.

**Construcción de reducciones.** Es similar a la visualización de subescenas pero se construye y se exhibe la escena completa en escala 1:10, en compuesto color de tres bandas o una sola banda en tonos de gris. Primero deben establecerse los parámetros de operación para luego pulsar el botón *Construir en escala 1:10*. Pulsando el botón izquierdo del ratón sobre la imagen, se la puede guardar en disco magnético en formato de mapa de bits. La Figura 4 muestra la reducción en falso color típico de la imagen ya citada, ajustada al tamaño de la página.

**Visualización de reducciones existentes.** Las escenas completas reducidas a escala 1:10, construidas con la opción anterior y almacenadas en formato de mapa de bits en disco magnético o de estado sólido, se pueden visualizar en cualquier momento pulsando el botón *Visualizar reducción existente* situado en la parte media derecha del panel de control.

### PROGRAMA AUXILIAR HistSACC

El propósito de este programa es obtener y almacenar las distribuciones de frecuencias de los números digitales de los píxeles de cada una de las bandas que componen una imagen completa registrada por los sensores MMRS o HRTC, almacenada en CD-ROM y entregada por CONAE (o una copia de la misma hecha en determinado directorio de disco magnético o de estado sólido), necesarias para visualizar subescenas y reducciones en tiempo real. Su panel de control se muestra en la Figura 5.

### CONCLUSIONES

Los programas desarrollados llenan un vacío parcial existente en materia de sistemas de manejo rápido de imágenes MMRS y HRTC almacenadas en CD-ROM. El programa CDSACC permite realizar con eficiencia los siguientes procesos:

Exhibición de datos y otras características relacionados con las escenas, incluyendo los histogramas de los números digitales y los estadísticos asociados, correspondientes a todas las bandas de las imágenes completas.

Posibilidad de elección del tipo de expansión de contraste -de entre varios de ellos- para la exhibición de subescenas y reducciones de la imagen completa, en pantalla del monitor.

Visualización de subescenas o reducciones de la imagen completa (una banda en tonalidades de gris o composición cromática de tres bandas).

Exhibición de las coordenadas de imagen (píxel, línea) de los elementos apuntados con el cursor.

Descarga desde el CD-ROM, de subescenas de cualquier

tamaño a disco magnético, con el propósito de ser procesadas con otros sistemas.

Grabación de las salidas gráficas (características, subescenas y reducciones) en medio magnético, en formato de mapa de bits.

Se pone de manifiesto con particular énfasis la utilidad que proporciona el programa al permitir la exhibición en pantalla de subescenas de cualquier banda o composiciones cromáticas de tres de ellas, directamente desde la unidad lectora de CD-ROM o desde un directorio de disco magnético o de estado sólido, procedimiento que permite agilizar situaciones didácticas, sin el prolongado y complicado procesamiento con otros sistemas.

### Agradecimiento

Un revisor anónimo realizó valiosas sugerencias para la presentación final del manuscrito como árbitro de la revista.

### REFERENCIAS

Racca J.M., 1995. CDSPOOT - Programa de manejo de imágenes SPOT® almacenadas en CD-ROM. *Primer Congreso Argentino de Geociencias y Geotécnicas & Congreso Nacional de Geografía (56 Semana de Geografía)*, Buenos Aires: 211-221.

## INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

**Texto:** Los artículos deben estar escritos en Español o Inglés. Tres copias completas del manuscrito (incluyendo todas las ilustraciones) serán remitidas a los editores. El texto debe ser tipeado en una cara de hojas A4 (210 x 297 mm), doble interlineado y con un margen derecho amplio. Una vez que el artículo sea aceptado, y luego de las últimas correcciones, el texto debe enviarse, junto a todas las ilustraciones, en CD-Rom o DVD-Rom. Formatos para texto: ASCII (.txt), rich text format (.rtf), WordPerfect (.wp), ó Word (.doc). El título del artículo y la traducción al segundo idioma, el (los) nombre(s) del (los) autor(es) y las direcciones postal y electrónica deben colocarse en la primera página. El texto debe paginarse a partir de la página con el título. El título debe ser tan corto como sea posible, con indicación acerca del área geográfica tratada en el texto; en los artículos de estratigrafía y/o paleontología debe incluirse, si correspondiera, además la edad. Un resumen conciso que condense todos los resultados obtenidos debe colocarse al comienzo del artículo, en castellano/español y su traducción al inglés o francés. La totalidad del texto debe escribirse en letras minúsculas, utilizando las mayúsculas sólo al principio de oraciones y para los títulos de capítulos. En el texto, las referencias serán como sigue: Aguirre (1984); Dommergues & Meister (1995); Dagens et al. (1989). Notas al pie no serán admitidas (siempre es posible incorporar información complementaria o aclaratoria en el cuerpo del texto). Solamente se admitirá el uso de unidades del Sistema Internacional. Los autores de artículos paleontológicos deben seguir las reglas de los Códigos Internacionales de Botánica y Zoología. Los tipos y los fósiles ilustrados deben ser registrados y depositados en una institución apropiada permanente, debiendo citarse los números y el nombre de dicha institución. Las abreviaturas para nuevos taxa deben ser n. gen., n. sp., etc. Los números de láminas y figuras que fueron originalmente expresados en números no arábigos deben ser transformados a arábigos. Ejemplos:

\*1873 *Aspidoceras Beckeri* n. sp. - Neumayr: 202, pl. 18: 3.  
1925 *Garantiana conjugata* Quenstedt. - Bentz: 162, pl. 6: 5-6.

**Lista de referencias bibliográficas:** Debe ser exhaustiva y exclusiva de las citas en el texto. Los artículos citados se ordenarán alfabéticamente por el apellido del autor principal, y cronológicamente cuando se citen más que un trabajo de un mismo autor. Las referencias a artículos de un mismo autor en el mismo año se distinguirán en el texto y en el listado de referencias por las letras a, b, etc.: Pasotti (1977a, 1977b). Ejemplos:

Teichert C., 1987. An early German supporter of continental drift. *Earth Sciences Review* **5(1)**: 134-136.

Arkell W.J., 1957. Jurassic ammonites. In: Arkell W.J., Kummel B. and Wright C.W.: *Treatise on Invertebrate Paleontology*, (L) Mollusca 4, R.C. Moore (ed.). *University of Kansas Press and Geological Society of America, Kansas and New York*, 22+490p.

Brillouin L., 1962. *Science and information theory*, 2nd ed., 347 p., Academic Press, New York.

**Figuras:** Todas las ilustraciones (dibujos, diagramas, fotografías) deben ser numeradas como figuras y citadas en el texto, ser independientes y estar identificadas por numeración correlativa, con una explicación concisa y precisa, en la lengua del texto y con una traducción a la segunda. Su emplazamiento en el cuerpo del texto debe ser sugerido en el margen izquierdo del texto. Todas las ilustraciones, incluyendo las fotos, deben ser de excelente calidad y estar preparadas para eventual copia directa por barrido digital (escaneado). Tamaño máximo, en el caso de página completa, 170 x 247 mm. No se aceptarán figuras o láminas que excedan el tamaño máximo ni láminas que requieran plegarse (véanse posibilidades abajo, en Material Suplementario Digital). Cuando sea necesario indicar escala se hará en forma tan precisa como sea posible en la explicación de la figura y si

es posible con una barra en la figura. Cuando una figura incluya varias partes o ilustraciones, éstas deben ser designadas con letras mayúsculas subordinadas al número de figura. Los originales de las ilustraciones serán remitidos solamente una vez que el manuscrito haya sido aceptado. Las fotografías deben montarse en cartulina flexible blanca, y deben ser claras, contrastadas y en el mismo tono dentro de una misma figura. La numeración de las fotos dentro de cada figura se indicará solamente en una cubierta de papel transparente (la numeración definitiva será preparada por los editores). Los editores prestarán todo el asesoramiento necesario para que los autores puedan enviar sus figuras en forma digital. Las figuras una vez preparadas y en su versión final pueden enviarse en formato TIFF o BMP con una calidad no inferior a 600 dpi, en grises de hasta 16 bits o 1200dpi para blanco y negro.

**Pruebas de imprenta:** El autor recibirá un juego de pruebas. En el caso de artículos con más de un autor, deberá indicarse a cual enviar las pruebas para corrección tipográfica. En general no se aceptarán cambios ni agregados una vez confeccionadas las pruebas. Las pruebas de imprenta deben ser devueltas dentro de los 15 días posteriores a la recepción para asegurar la continuidad del proceso de edición. En caso de no devolución o devolución atrasada, los editores procederán con la revisión y eventuales correcciones.

**Separatas:** Se entregarán 50 separatas sin cargo al autor.

**Envío de manuscritos:** siguiendo las pautas listadas a

**Instituto de Fisiografía y Geología  
Boletín IFG  
FCEIA - UNR  
Pellegri 250  
2000 Rosario, Argentina**

-----  
**Material suplementario digital (MSD):** Los autores pueden incluir suplementariamente, en forma digital, información y datos adicionales pertinentes al contenido de cada artículo publicado. Este material suplementario digital estará disponible en la página web del Boletín IFG: [www.fceia.unr.edu.ar/fisiografia/publicaciones.htm](http://www.fceia.unr.edu.ar/fisiografia/publicaciones.htm). Podrán incluirse como MSD:

- Figuras en color y/o tamaños que superen el de la revista impresa 210 x 297 mm (formatos sugeridos: mapas de bits \*.tif, \*.bmp, \*.eps, \*.pdf).

- Grandes tablas numéricas o listados (formatos sugeridos: \*.xls, \*.doc, \*.pdf).

- programas informáticos (enviar comprimidos: \*.zip ó \*.rar).

- listados de literatura publicada y/o inédita, no referida en el texto del artículo publicado (formato sugerido: \*.pdf, \*.doc, \*.txt).

El MSD debe enviarse en CD-Rom o DVD-Rom, junto con el manuscrito según las instrucciones para autores; los editores evaluarán la posibilidad de su publicación y decidirán el formato definitivo de cada uno de los archivos.

El MSD no puede estar referido en el texto, el cual debe ser completamente autónomo del material suplementario.

Los autores deberán aceptar, por medio de la firma de una planilla específica, la posibilidad de discontinuidad temporaria o permanente de la página web del Boletín IFG o bien de partes de sus contenidos.

# Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología

ISSN 1666-115X

Volúmen 77 (2007), Números 1-2

Rosario - Octubre 2007

## Contents

A stretching model to explain the Salado Basin (Argentina) <i>C.B. Crovetto, I.L. Novara &amp; A. Introcaso</i> .....	1
Ammonites of the Middle Tithonian Internispinosum Zone from Barda Negra, southern Neuquén-Mendoza Basin, Argentina <i>H. Parent, A. Scherzinger, G. Schweigert &amp; O.D. Capello</i> .....	11
The Tithonian (Upper Jurassic) ammonite succession at Portada Covunco, Neuquén-Mendoza Basin, Argentina <i>H. Parent &amp; S.E. Cocca</i> .....	25
Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno <i>J.M.G. Racca</i> .....	31
Programa para manejo de imágenes MMRS y HRTC registradas por el satélite argentino SAC-C <i>J.M.G. Racca</i> .....	39