

PRIMERAS EDADES U-PB EN CIRCONES DETRÍTICOS DEL GRUPO NEUQUÉN EN EL EXTREMO ORIENTAL DE LA CUENCA NEUQUINA (PASO CÓRDOBA, RÍO NEGRO)

Ricardo Gómez ^{1,2}, Maisa Tunik ^{1,2}, Silvio Casadio ^{1,2}, Nerina Canale ¹, Gerson Greco ^{1,2},
Mattia Antonio Baiano ^{1,2,3}, Diego Pino ^{1,2}, Alejandro Baez ^{1,2}, Sara Pereira Da Silva ^{1,2}

¹ Universidad Nacional de Río Negro. Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología. Av. Roca 1242, General Roca, Río Negro, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³ Área Laboratorio e Investigación, Museo Municipal "Ernesto Bachmann", Dr. Natali s/n, Q8311AZA Villa El Chocón, Neuquén, Argentina.
Corresponding author: rgomez@unrn.edu.ar

ARTICLE INFO

Article history

Received June 30, 2022

Accepted August 17, 2022

Available online August 17, 2022

Handling Editor

Sebastian Richiano

Keywords

Geocronología

Sedimentología

Campaniano medio

Formación Anacleto

RESUMEN

En esta contribución se dan a conocer las primeras edades U-Pb en circones detríticos de una muestra de los depósitos sinorogénicos del Cretácico Superior (Formación Anacleto) aflorantes en el extremo oriental de la cuenca Neuquina, en Paso Córdoba, Río Negro, Argentina. La edad máxima depositacional obtenida es de $78,6 \pm 1,7$ Ma (Campaniano medio). La edad se calculó sobre la base de un grupo de circones jóvenes cretácicos ($n=11$), a partir del análisis de una muestra extraída de los depósitos de interduna húmeda, asignados a la Formación Anacleto del Grupo Neuquén.

EXTENDED ABSTRACT

First U-PB Detrital Zircon Ages of The Neuquén Group in the eastern sector of The Neuquén Basin (Paso Córdoba, Río Negro)

This work provides new U-Pb detrital zircon ages of the eastern synorogenic Upper Cretaceous deposits of the Neuquén Basin at Paso Córdoba, Río Negro, Argentina (Fig. 1).

The Neuquén Basin is a large depocenter developed during the Late Triassic to Paleogene along the southwestern margin of Gondwana (30-40°S). It originated by continental-scale rifting

processes resulting in the break-up of the Pangea supercontinent. It records a thick Mesozoic sedimentary succession more than 7,000 m thick including marine and non-marine sedimentary rocks. Important geodynamic changes occurred during the latest Mesozoic with the accelerated westward movement of the South American plate following its separation from the African plate, and the continuation of subduction processes along its western margin, most notably the convergence between the Nazca-Farallón and the South American plates. This new compressive tectonic setting triggered the foreland basin deposition of the Neuquén Group. The non-marine Neuquén Group

shows an important regional distribution and is characterized as the first foreland basin deposits linked with the early uplift of the Andean orogen at ca. 100 Ma. The Neuquén Group contains an important fossil record and is a reservoir rock in some depocenters of the basin. For this reason, it has been a well-studied unit in both the southern and central parts of the basin. Regionally, this stratigraphic unit is covered by Maastrichtian to Paleocene marine facies of the Malargüe Group.

The Upper Cretaceous non-marine deposits of the Neuquén Basin have an important exposure in Paso Córdoba area (General Roca, Río Negro). According to Hugo and Leanza (2001), these deposits are included in the Bajo de la Carpa and Anacleto formations (Neuquén Group) and the overlying Allen Formation (Malargüe Group). These authors interpreted the contact between both groups as an erosional unconformity. Afterwards, Paz *et al.* (2014) and Díaz-Martínez *et al.* (2018) carried out detailed sedimentological and ichnological studies in the area, discussed the contact between both units and proposed a transitional passage between the Anacleto (lacustrine/fluviol facies) and Allen (aeolian facies) formations. The ages of the Anacleto and Allen formations are based on magnetostratigraphic and biostratigraphic data obtained in other localities to the west and north of the study area. Dingus *et al.* (2000) proposed an early-middle Campanian maximum depositional age for the Anacleto Formation (78.3 Ma) based on paleomagnetic studies in the Auca Mahuevo area (Neuquén). Furthermore, levels assigned to the overlying Allen Formation in the Lago Pellegrini area (Río Negro), contain an ostracod fauna from the upper Campanian-lower Maastrichtian interval (Ballent, 1980).

In this contribution, we use a sedimentological and geochronological approach to discuss the paleoenvironment, provenance and age of the Anacleto Formation in the Paso Córdoba area.

The facies analysis carried out in this work corroborates the proposal made by Paz *et al.* (2014) and by Díaz-Martínez *et al.* (2018), allowing the recognition of three facies associations: (I) lacustrine, (II) wet interdunes and (III) dunes and dry interdunes (III), indicating an increase in the aridity of the depositional system towards the top of the studied succession. In particular, the sample APC01-20 dated by U-Pb in detrital zircons was collected from the bottom of wet interdunes facies association

(II) given its textural features and its importance in terms of their stratigraphic position (Fig. 1d and 2d).

According to the frequency histogram and relative probability plot of detrital zircon ages obtained from APC01-20 sample analysis, a multimodal pattern of ages can be distinguished. The sample is represented by five main populations; 75 – 126 Ma (Cretaceous, 32%), 150 – 200 Ma (Jurassic, 31%), 254 – 282 Ma (Permian, 10%), 300 – 349 Ma (Carboniferous, 14%) and 358 – 405 Ma (Devonian, 11%). The sample also contains two isolated ages that represent 2% of the total (478 Ma, Ordovician and 1,217 Ma, Mesoproterozoic). The main peak (32%) corresponds to latest Early-Late Cretaceous zircons with a youngest graphical peak (YPP) of 81.9 Ma (Campanian) (Fig. 2a).

For the calculation of the maximum depositional age, different ways of measurement were considered (Dickinson and Gehrels, 2009). As a result of data analysis, weighted mean average of the youngest cluster of two or more grain ages that overlap at 1σ uncertainty, was the estimation that was better adjusted for the sample. The age calculation based on a sample of young Cretaceous zircons ($n=11$) pointed towards a maximum depositional age of 78.6 ± 1.7 Ma (middle Campanian) for the Anacleto Formation. The number of zircons used for the calculation of the maximum depositional age, together with the morphology of the measured crystals, suggest a coeval volcanic activity during the deposition of Anacleto Formation.

Keywords: geochronology; sedimentology; middle Campanian; Anacleto Formation.

INTRODUCCIÓN

A partir del Cretácico Superior comenzaron a desarrollarse sistemas de fajas plegadas y corridas en diferentes sectores de la cuenca Neuquina (Fig. 1a; 30-40°S) (Cobbold y Rosello 2003; Howell *et al.*, 2005; Tunik *et al.*, 2010). Este fenómeno, importante a escala regional, está relacionado con un cambio en el régimen tectónico, desde uno extensional en el retroarco a uno contraccional. Dicho cambio se relaciona a la componente normal de velocidad absoluta de la placa superior que excede la tasa de retroceso de la losa (*slab roll-back*) (Ramos, 1999; Mpodozis y Ramos 2008; Schellart, 2008; Balgord, 2017). El inicio del régimen contraccional

está registrado, según dataciones U-Pb en circones detríticos, alrededor de los 100-107 Ma (Gómez *et al.*, 2021 y referencias allí citadas). Debido a estos procesos, los sistemas de drenaje cambiaron su dirección de escorrentía, pasando a ser principalmente desde el oeste. Durante aproximadamente 30 Ma, se depositaron sedimentos provenientes de la erosión de la faja plegada y corrida y del aporte de un arco volcánico coetáneo a la sedimentación (Tunik *et al.*, 2010; Di Giulio *et al.*, 2012; Balgord y Carrapa, 2016; Fennell *et al.*, 2017; Borghi *et al.*, 2019; Gómez *et al.*, 2019, 2021). Sin embargo, a fines del Cretácico Superior (Maastrichtiano), y a partir de eventos de escala regional que continúan en discusión, se produjo la primera transgresión marina procedente del Atlántico en la cuenca Neuquina. Este nuevo contexto tectónico en la cuenca estaría vinculado a procesos de flexura de la placa superior por carga orogénica, cambios eustáticos a nivel global, subsidencia dinámica o una combinación de estos. Durante ese intervalo de tiempo y parte del Paleoceno, gran parte de la Patagonia estuvo cubierta por un mar epicontinental somero (Aguirre-Urreta *et al.*, 2011; Scasso *et al.*, 2012; Gianni *et al.*, 2019).

Paso Córdoba, localidad ubicada al sur de General Roca, Río Negro (Fig. 1b), cuenta con excelentes afloramientos del Cretácico Superior (Díaz-Martínez *et al.*, 2018). Según Hugo y Leanza (2001) las unidades que comprenden este intervalo en el área de estudio corresponden a las formaciones Bajo de la Carpa y Anacleto que integran la parte superior del Grupo Neuquén sobre el que se dispondría en discordancia erosiva la Formación Allen del Grupo Malargüe. Paz *et al.* (2014) y Díaz-Martínez *et al.* (2018), realizaron estudios sedimentológicos e icnológicos de detalle en el área, discutieron el contacto entre las unidades mencionadas y propusieron un pasaje transicional entre las formaciones Anacleto (facies lacustres/fluviales) y Allen (facies eólicas). Las edades de las formaciones Anacleto y Allen se basan en datos magnetoestratigráficos y bioestratigráficos obtenidos en otras localidades ubicadas al oeste y norte del área de estudio. Dingus *et al.* (2000) propusieron una edad máxima depositacional campaniana inferior-media (78,3 Ma) para la Formación Anacleto mediante el análisis de 12 muestras paleomagnéticas en la zona de Auca Mahuevo (Neuquén). Mientras que niveles asignados a la suprayacente Formación Allen, en el área del Lago Pellegrini, provincia de Río Negro, contienen una fauna de ostrácodos del

intervalo Campaniano superior-Maastrichtiano inferior (Ballent, 1980).

El objetivo principal de esta contribución es dar a conocer las primeras edades U-Pb en circones detríticos de depósitos asignados a la Formación Anacleto en los afloramientos más orientales de la cuenca Neuquina. Además, se realizó el análisis sedimentológico de detalle de la sección con el propósito de discutir las características paleoambientales y la procedencia de los sedimentos.

MARCO GEOLÓGICO

La cuenca Neuquina (Fig. 1a; 30°-40°S y 72°-67°O) comprende una sucesión sedimentaria que refleja la interacción entre controles tectónicos, cambios en el nivel del mar y actividad volcánica que, controlaron el desarrollo de condiciones marinas y no-marinas (Howell *et al.*, 2005). La evolución de la cuenca estuvo controlada por variaciones en la zona de subducción, con períodos de baja inclinación hasta subhorizontales en relación a la losa que subducta, que alternan con períodos de mayor empinamiento y el consecuente retroceso del arco magmático (Ramos *et al.*, 2011; Gianni *et al.*, 2020). La evolución tectónica de la cuenca y su relleno sedimentario, puede dividirse en tres etapas principales: una fase extensional con el desarrollo de cuencas tipo *rift* (desde el Triásico Inferior hasta el Jurásico Inferior), evidenciado por depocentros aislados con características estructurales y estratigráficas propias (Manceda y Figueroa, 1995; Franzese y Spalletti, 2001; Scivetti y Franzese, 2019; Bechis *et al.*, 2020; D'Elia *et al.*, 2020 y referencias allí citadas); una etapa de *post rift* (Jurásico Inferior hasta Cretácico Inferior) causada por un intervalo de subsidencia termal (Uliana y Legarreta, 1993; Legarreta y Uliana, 1996; Schwarz *et al.*, 2016) y una etapa de antepaís (Cretácico Inferior tardío hasta el Cenozoico) (Ramos y Folguera, 2005; Mpodozis y Ramos 2008; Tunik *et al.*, 2010; Naipauer y Ramos, 2016; Horton, 2018; Gómez *et al.*, 2021).

En Paso Córdoba (Figs. 1 a-b) se hallan expuestas sucesiones sedimentarias acumuladas durante la etapa de antepaís de la cuenca Neuquina. Las unidades del Cretácico Superior constituyen la sucesión aflorante más oriental de la cuenca e incluye a las formaciones Bajo de la Carpa y Anacleto que conforman la parte superior del Grupo Neuquén y la Formación Allen, base del Grupo Malargüe.

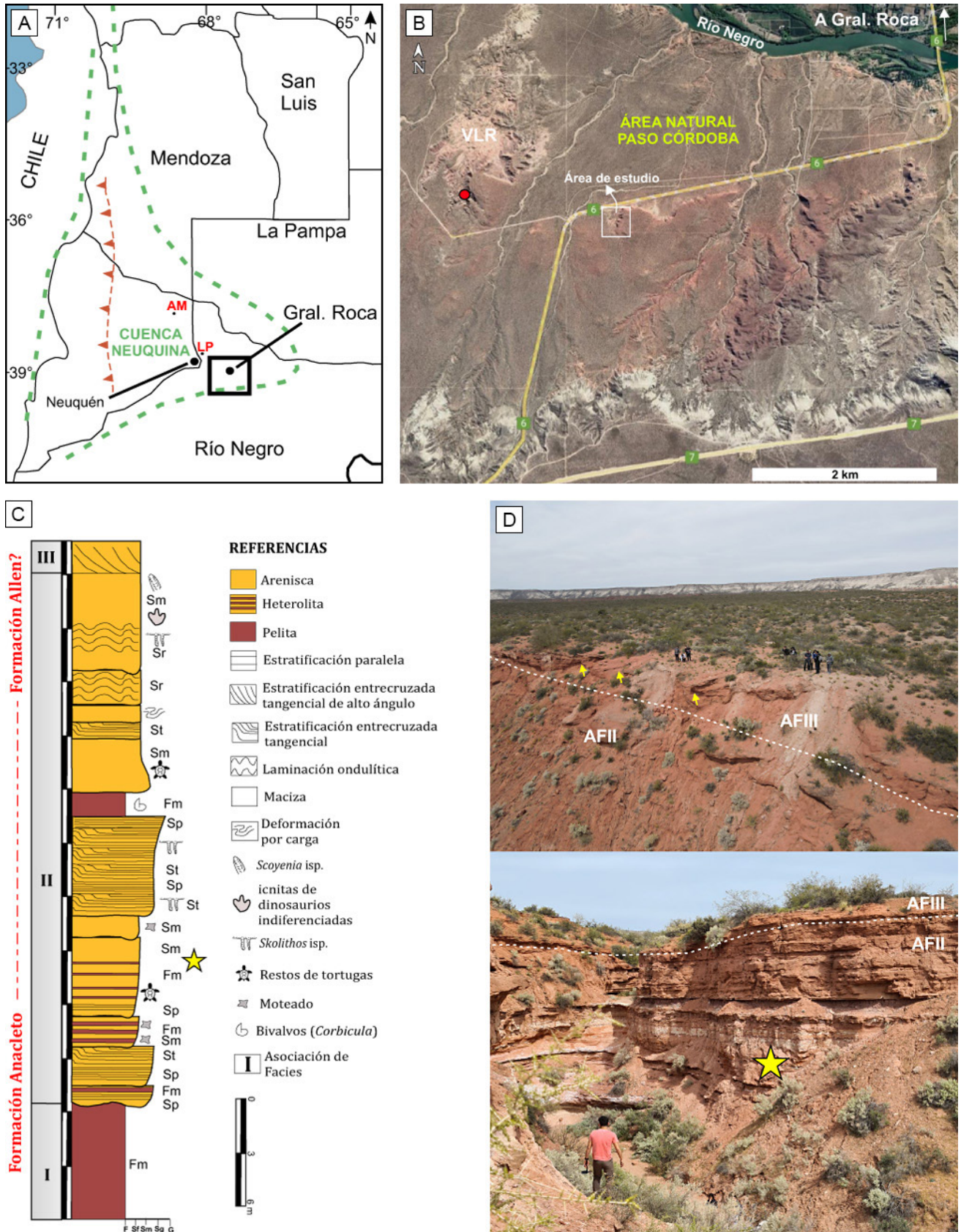


Figura 1. a) Mapa de ubicación del área de estudio en el contexto de la cuenca Neuquina y la extensión del frente orogénico para el Cretácico Superior. AM: Auca Mahuevo, LP: Lago Pellegrini. b) Área Natural Municipal Protegida (ANMP) Paso Córdoba y ubicación del área de estudio. El punto rojo indica la posición del valle de la Luna Rojo (VLR) donde Díaz-Martínez *et al.* (2018) describieron huellas de vertebrados asignadas a dinosaurios hadrosauridos. c) Sección estratigráfica de detalle del área de estudio.

La sucesión se completa con rocas continentales y volcánicas del Mioceno-Plioceno correspondientes a las formaciones Chichinales y El Palo (Hugo y Leanza, 2001; Peñacorada *et al.*, 2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sedimentología

Con el fin de realizar un análisis sedimentológico y estratigráfico de detalle, se relevó una sección a escala métrica en un afloramiento cercano a la ruta provincial N°6 (Fig. 1c). Para llevar a cabo este objetivo, se realizó la medición de la sección estratigráfica utilizando el báculo de Jacob y una brújula estructural tipo *Brunton*, registrando el punto inicial y final mediante el sistema global de posicionamiento (GPS) (de 39° 7' 38.99" S, 67° 40' 11.06" O a 39° 7' 43.60" S, 67° 40' 9.74" O). Las observaciones de campo permitieron caracterizar las facies sedimentarias a partir de la litología, estructuras sedimentarias (definiendo tipos, dimensiones y orientación), geometría de los cuerpos sedimentarios y variabilidad lateral. Para la nomenclatura de las facies se tomó como base el sistema de códigos de Miall (1996, 2014). Las facies sedimentarias se agruparon en asociaciones de facies (AF) que permitieron definir el ambiente depositacional.

Geocronología

El análisis de edades U-Pb en circones detríticos constituye una herramienta esencial para realizar estudios de procedencia. Además, a partir del análisis estadístico de los datos, es posible obtener la edad máxima depositacional. Con este fin, se realizó el análisis de edades U-Pb en circones detríticos de una muestra (APC01-20 / 39° 7' 39.70" S; 67° 40' 10.30" O) correspondiente a una arenisca de grano medio extraída del intervalo estratigráfico que corresponde

a la Formación Anacleto, que otros autores incluyeron en niveles inferiores de la Formación Allen (Armas y Sánchez, 2013; Paz *et al.*, 2014; Díaz-Martínez *et al.*, 2018) (Figs. 1c – 2). La trituration, molienda, tamizado y subsecuente concentración y separación de circones, se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio LA.TE. ANDES S.A. Finalmente, la geocronología U-Pb en circones detríticos se realizó mediante LA-ICP-MS (*Laser Ablation – Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*), basado en la metodología y datos analíticos propuestos por dicho laboratorio. La metodología completa y datos analíticos se pueden ver en Gómez *et al.* (2021).

RESULTADOS

Análisis de facies

Facies pelíticas. Las facies de granulometría más fina corresponden a pelitas macizas (Fm) y laminadas (Fl) grisáceas a rojizas (ca. 5-10 m de espesor). Se disponen en bancos poco consolidados, de geometría tabular y extensos lateralmente, alcanzando decenas de metros. En estas facies se identificaron placas de tortugas y moldes de bivalvos asignados a *Corbicula* sp.

Facies heterolíticas. Las facies heterolíticas alternan entre arenosas y fangosas, con mayor variación en la coloración con respecto a las facies pelíticas, presentan base neta, geometría tabular y espesores de 15-20 cm entre capas. Las heterolitas fangosas muestran moteado, indicativo de procesos edáficos, mientras que las heterolitas arenosas presentan restos de placas de tortugas indeterminadas.

Facies arenosas. Estas facies corresponden a areniscas medianas a finas; macizas (Sm), con laminación ondulítica (Sr), con estratificación paralela (Sp) y estratificación entrecruzada tangencial de bajo y alto ángulo (St). Estas facies se disponen en cuerpos de geometría tabular y lenticular, de centenas de metros de extensión

La muestra APC01-20 fue extraída del nivel medio a superior (estrella amarilla). **d)** Fotografía de campo mostrando el tope de la sección relevada y el contacto entre las asociaciones de facies de interduna húmeda (II) e interduna seca y dunas (III).

Figure 1. a) Map showing the location of the study area in the context of Neuquén Basin and the extension of the orogenic front for the Upper Cretaceous. AM: Auca Mahuevo, LP: Lago Pellegrini. **b)** Local map showing the Área Natural Municipal Protegida (ANMP) Paso Córdoba and the location of study area. The red point indicates the position of Valle de la Luna Rojo (VLR) where Díaz-Martínez *et al.* (2018) described vertebrate tracks assigned to hadrosaurid dinosaurs. **c)** Stratigraphic section of the study area. The yellow star shows the position of APC01-20 sample location. **d)** Outcrops showing the top of the stratigraphic section and the boundary between two facies associations present in the study area: wet interdunes (II) and dunes and dry interdunes (III).

lateral y poco espesor (aprox. 2-3 m). Los bancos lenticulares muestran bases erosivas, mientras que los tabulares, bases netas. Las facies de areniscas macizas, hacia el tope de la sección, se encuentran afectadas por estructuras de deformación por carga. En estas facies se reconocen trazas asignadas a *Scoyenia* isp. y huellas de saurópodos. Por otro lado, al tope de la sección y en las facies de areniscas con estratificación entrecruzada tangencial y laminación ondulítica se identificaron trazas asignadas a *Skolithos* isp.

Paleoambiente sedimentario

El análisis de facies permitió reconocer y definir tres asociaciones de facies: (I) asociación de facies lacustre, (II) asociación de facies de interduna húmeda y (III) asociación de facies de interduna seca y dunas (III).

La asociación de facies lacustre (I), está representada por las facies de pelitas macizas (Fm) y laminadas (Fl). El origen de estas facies está asociado a procesos de decantación en zonas de baja energía generados durante el estadio final de decaimiento en la velocidad del flujo (Bridge, 2003). Por otro lado, la presencia de restos de bivalvos asignados a *Corbicula* sp. indicaría la presencia de cuerpos de agua relativamente estables asociados a un medio de baja energía (Paz et al., 2014).

La asociación de facies de interduna húmeda (II), ubicada en el sector medio y superior de la sección estudiada, está representada por las facies heterolíticas arenosas y fangosas, y por las facies arenosas. Las facies heterolíticas generalmente presentan rasgos pedogenéticos como moteados y bioturbación indiferenciada. En cuanto a las facies arenosas, muestran estructuras de deformación por carga similares a las mencionadas por Díaz-Martínez et al. (2018) y que se interpretan como huellas de saurópodos. La presencia de *Scoyenia* isp. en las facies de areniscas macizas representa ventanas de colonización y estabilidad del sustrato (Buatois y Mángano, 2007). Esta asociación de facies está constituida por facies de areniscas con estratificación entrecruzada tangencial de bajo ángulo y laminación ondulítica. Es común la intercalación de niveles pelíticos entre los *sets* entrecruzados. En cada evento trectivo es posible reconocer, a partir de la presencia de *Skolithos* isp., ventanas de colonización en las facies de areniscas macizas. Paz et al. (2014)

interpretaron que los *sets* con entrecruzamiento tangencial de bajo ángulo representan las etapas de migración de las caras frontales de las dunas dentro de las interdunas húmedas, mientras que los niveles delgados de pelitas que alternan entre los *sets* de las dunas, marcan el restablecimiento de los procesos de sedimentación normal (decantación dominante), dentro de los cuerpos de agua. También se identificaron estructuras de deformación por carga (e.g. estratificación convoluta). La génesis de estas estructuras, que además fueron documentadas por Ponce et al. (2018) en el área de estudio, se relaciona con procesos concomitantes de deslizamiento de sedimentos asociados a una licuefacción parcial del material. En particular, la muestra APC01-20 datada por U-Pb en circones detríticos, fue extraída de la base de esta asociación de facies (II) dadas las características texturales y su importancia en cuanto a su posición estratigráfica (Figs. 1d y 2d).

Por último, y en menor medida, se identificaron facies de areniscas medianas a finas con entrecruzamiento tangencial de alto ángulo (St), en el tope de la sección estudiada (Fig. 1d). Estas facies corresponderían a la asociación de facies de interduna seca y dunas (III).

Las observaciones de campo y el análisis de facies efectuado en este trabajo corroboran la propuesta realizada previamente por Paz et al. (2014) y por Díaz-Martínez et al. (2018), que indicaron un incremento en la aridez del sistema depositacional hacia el tope de la sucesión estudiada.

Edades U-Pb en circones detríticos

El análisis de edades U-Pb en circones detríticos de una muestra de arenisca mediana (APC01-20), extraída de las facies arenosas, presenta una distribución de patrones multimodal (Fig. 2a). De las 95 edades obtenidas, 84 son concordantes entre 90 y 107 %, considerando las relaciones isotópicas $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ y $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ (Ver anexo). Los histogramas de frecuencia, diagramas de probabilidad relativa y concordia, obtenidos del análisis de las edades U-Pb en circones detríticos se pueden observar en la figura 2.

La muestra está representada por cinco poblaciones principales; 75 – 126 Ma (Cretácico, 32%), 150 – 200 Ma (Jurásico, 31%), 254 – 282 Ma (Pérmico, 10%), 300 – 349 Ma (Carbonífero, 14%) y 358 - 405 Ma (Devónico, 11%). La muestra contiene

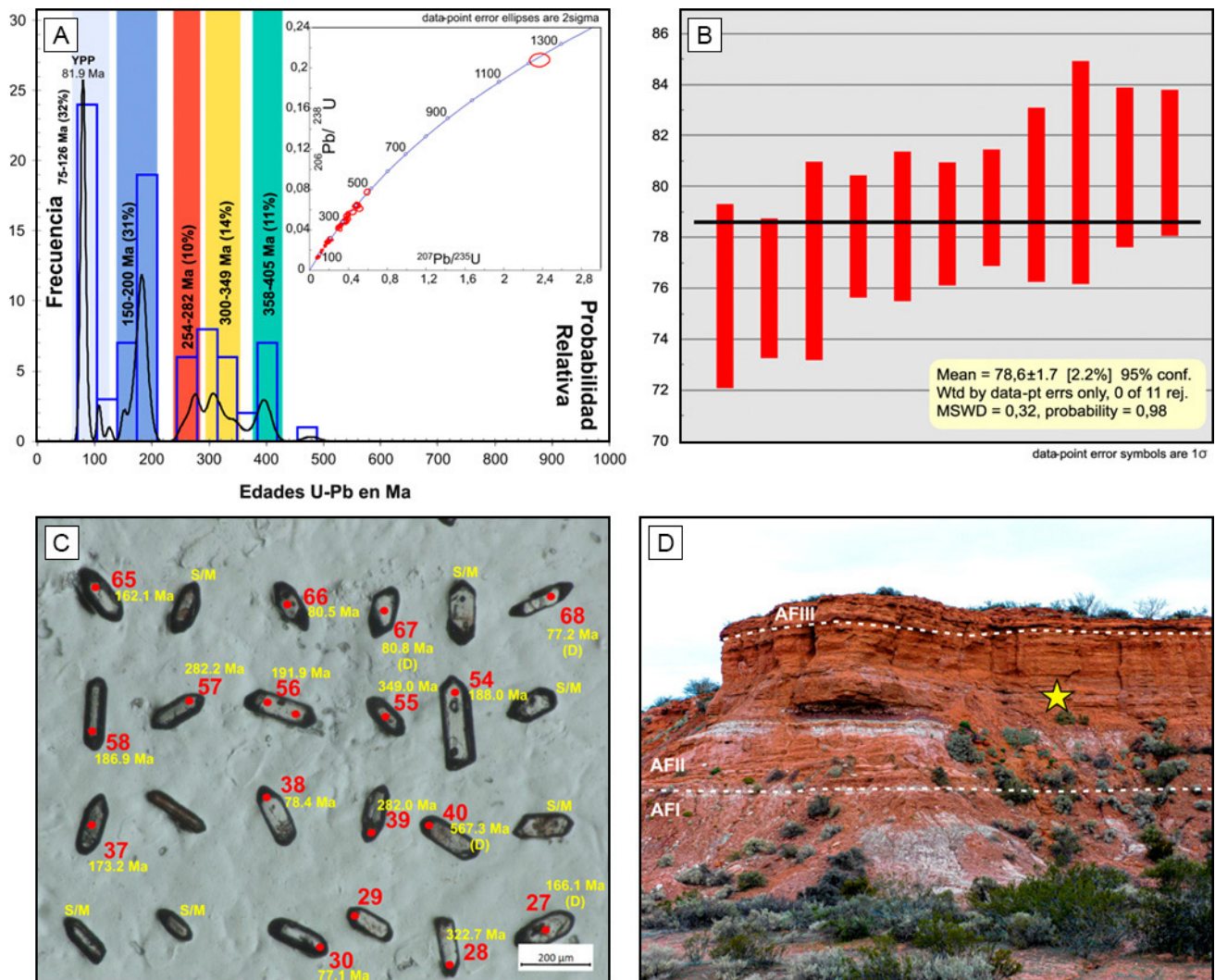


Figura 2. a) Diagrama de concordia, histograma de frecuencias y diagrama de probabilidad relativa de las edades U-Pb de la muestra APC01-20. **b)** Edad máxima depositacional calculada. **c)** Morfología, spots y edad de algunos de los circones detríticos medidos (montado). **d)** Afloramiento del intervalo estratigráfico relevado. La muestra APC01-20 fue extraída del nivel correspondiente a facies de interduna húmeda (estrella amarilla).

Figure 2. a) Concordia plot, frequency histogram and relative probability plot of U-Pb ages from analyzed zircons (APC01-20 sample). **b)** Maximum depositional age calculated. **c)** Morphology, spots and age of some of the measured detrital zircons (mounted). **d)** Measured section. Sample APC01-20 was taken from the wet interdune facies association (yellow star).

además dos edades aisladas que representan el 2% del total (478 Ma, Ordovícico y 1.217 Ma, Mesoproterozoico) (Fig. 2). El pico principal (32%) corresponde a circones de edad Cretácico Inferior tardío-Superior con un *youngest graphical peak* (YPP) de 81,9 Ma (Campaniano).

Edad Máxima Depositacional

La muestra APC01-20 contiene un número significativo de circones con edades U-Pb jóvenes (n= 24), que no solo representan la población

principal, sino que pueden usarse para determinar la edad máxima depositacional (EMD).

Para el cálculo de la EMD se tuvieron en cuenta diferentes tipos de mediciones, desde la más robusta a la menos robusta desde el punto de vista estadístico y siguiendo la propuesta de Dickinson y Gehrels (2009). La comparación entre los valores de EMD obtenidos para cada método se muestran en la Tabla 1. A partir del análisis de los datos, la media ponderada del grupo de circones más jóvenes, de dos o más edades que se superponen con una incertidumbre de 1σ , fue la estimación que mejor

Muestra	Unidad	ED	YSG	YPP	YC1 σ , +2	YC2 σ , +3	YDZ
APC01-20	Formación Anacleto	-	75,7 \pm 3,6	81,9	78,6 \pm 1,7 (n=11)	78,1 \pm 1,0 (n=7)	74,8 +2,2 -3,3

Tabla 1. Resultados del cálculo de la Edad Máxima Depositacional siguiendo la metodología propuesta por Dickinson y Gehrels (2009). ED: Edad depositacional; YPP: pico gráfico de edad más joven; YGC 1 σ (2+): media ponderada del grupo de circones más jóvenes, de dos o más edades que se superponen con una incertidumbre de 1 σ ; YGC 2 σ (3+): media ponderada del grupo de circones más jóvenes, de tres o más edades que se superponen con una incertidumbre de 2 σ ; YDZ: edad del circón más joven.

Table 1. Results of the calculation of the Maximum Depositational Age following the methodology proposed by Dickinson and Gehrels (2009). ED: Depositional Age; YSG: youngest single grain; YPP: youngest graphical peak; YGC 1 σ : youngest grain cluster composed of two or more grains that overlap at 1 σ uncertainty; YGC 2 σ : youngest grain cluster composed of three or more grains that overlap at 2 σ uncertainty; YDZ: youngest detrital zircon.

se ajustó en la muestra (YC1 σ , +2). Esto es debido a que dicha estimación, en comparación con las demás, incluye: 1) un mayor número de circones jóvenes utilizados para el cálculo (n=11), dando mayor robustez al dato, 2) una probabilidad igual a 0,98, 3) una menor dispersión de los datos (1 σ) y 4) un MSWD, que corresponde a la media cuadrática de desviaciones ponderadas o también conocida como *estadístico de Chi cuadrado reducido*, dentro de los rangos de aceptación (Spencer et al., 2016). De esta manera, la muestra de arenisca estudiada arroja una EMD de 78,6 \pm 1,7 Ma (1 σ /n = 11 / MSWD= 0,32) (Fig. 2b).

DISCUSIONES

Análisis de Procedencia

El patrón de edades multimodal de la muestra es coincidente con otros patrones de edades obtenidas para el Grupo Neuquén al oeste y noroeste del área de estudio, con algunas diferencias en cuanto al porcentaje de cada población (Gómez et al., 2021 y referencias allí citadas). Los granos más euhedrales a subhedrales, con formas prismáticas y bipiramidales, corresponden a los circones con edades Cretácico Superior, Jurásico y Pérmico (Fig. 2c) e indicarían una posible fuente magmática.

El pico principal y más joven (32%) corresponde a circones de edad Cretácico Superior (n=24), con valores que van desde 75 a 90 Ma y en menor medida del Cretácico Inferior (n=3) con edades de 107, 110 y 126 Ma. Algo importante para destacar, es la cantidad de circones jóvenes del Cretácico Superior obtenidos en la muestra analizada, en comparación con muestras del mismo intervalo estratigráfico en

otros sectores de la cuenca (Tunik et al., 2010; Di Giulio et al., 2012; Balgord y Carrapa, 2016; Fennell et al., 2017; Borghi et al., 2019; Gómez et al., 2019). La presencia de estos circones puede ser producto de: (1) el reciclado de depósitos sedimentarios del Cretácico Superior ubicados al oeste del área de estudio, (2) el transporte de material volcánico ubicado en la zona de retroarco o (3) la presencia de niveles tobáceos de caída retrabajados. Este es un aspecto interesante y a seguir evaluando en el área de estudio, dado que se ha propuesto el cese del aporte de sedimentos desde el arco magmático, como producto del crecimiento del orógeno Andino y/o disminución en la actividad del arco durante el Cretácico Superior (Gómez et al., 2021). Por otro lado, los circones de edad Cretácico Inferior podrían estar asociados a la erosión de depósitos correspondientes al Grupo Bajada del Agrio en sectores ubicados al oeste del área de estudio (Tunik et al., 2010; Lescano et al., 2021; Naipauer et al., 2022).

Por su parte, el segundo pico importante de edades (31%), corresponde a circones Jurásicos, que van desde 150 a 200 Ma. La fuente de estos circones podría estar asociada tanto a la erosión de rocas volcánicas jurásicas correspondientes a unidades del ciclo Precuyano y/o a la erosión de sucesiones continentales de los grupos Cuyo y Mendoza de la cuenca Neuquina al oeste del área de estudio (Naipauer et al., 2015; Spalletti et al., 2010; D'Elia et al., 2015; Naipauer et al., 2018). Otras fuentes probables de estos circones podrían ser las rocas magmáticas del Jurásico Temprano a Medio, ubicadas al sur, en el Macizo Nordpatagónico (ver síntesis sobre las unidades geológicas Jurásicas y edades disponibles en esta región en Zaffarana et al., 2020 y González et al., 2022).

Respecto a los circones paleozoicos, aquellos con edades del Carbonífero y Pérmico (24%) podrían derivar de rocas pertenecientes al magmatismo Choiyoi y pre-Choiyoi (*sensu* Sato *et al.*, 2015). Estas rocas afloran en el Macizo Norpatagónico, Precordillera Neuquina Norte y Sur, Cordillera Patagónica Septentrional y bloques de Las Matras y Chadileuvu (Varela *et al.*, 2005; Pankhurst *et al.*, 2006; Suárez *et al.*, 2008, 2013; Hervé *et al.* 2013, 2018; Sato *et al.* 2015; Martínez Dopico *et al.*, 2017, 2019; Luppó *et al.*, 2018, 2019, entre otros). Por otra parte, los circones con edades devónicas (11%) podrían provenir de áreas fuente ubicadas en la Cordillera Patagónica Septentrional y Umbral de Sañico, donde afloran granitoides con edades similares a las obtenidas para estos circones (Varela *et al.*, 2005; Pankhurst *et al.*, 2006; Hervé *et al.*, 2016; Serra-Varela *et al.*, 2021). Asimismo, no se descarta que los circones del Paleozoico deriven del reciclado de rocas de los grupos Cuyo y Mendoza (Naipauer *et al.*, 2015, 2018).

Estratigrafía de Paso Córdoba: alcance e implicancias de la nueva Edad Máxima Depositacional

Tanto en los trabajos pioneros de Wichmann (1916) y Weber (1964, 1968), como en los más recientes realizados en el área de estudio por Hugo y Leanza (2001), Armas y Sánchez (2013), Paz *et al.* (2014) y Díaz-Martínez *et al.* (2018), se reconoce la dificultad para ubicar el límite entre las unidades del Cretácico Superior aflorantes en el área de estudio (formaciones Anacleto y Allen). Esto es debido a que, si bien históricamente se reconoció en esta zona la presencia de la Formación Allen, la litología, interpretación paleoambiental y tipo de contacto de esta unidad con la subyacente Formación Anacleto, difiere mucho cuando se comparan sucesiones del mismo intervalo estratigráfico en otros sectores de la cuenca Neuquina. Por otro lado, las edades para estas unidades se basaban en datos magneto estratigráficos (Dingus *et al.*, 2000) y bioestratigráficos (Ballent, 1980) obtenidos fuera del área de estudio.

Hugo y Leanza (2001) mencionaron la presencia de la discordancia Huantraíquica en el área de estudio. Estos autores señalaron la presencia de una discordancia erosiva entre las formaciones Anacleto y Allen en Paso Córdoba, que sería equivalente a la discordancia observada entre estas unidades

en otros sectores de la cuenca (Leanza, 2009). Sin embargo, estudios posteriores propusieron un pasaje transicional entre ambas unidades (Armas y Sánchez, 2013; Paz *et al.*, 2014; Díaz-Martínez *et al.*, 2018). Este pase transicional coincide con un cambio de facies que muestra una aridización del sistema depositacional que pasa de un ambiente lacustre a otro predominantemente eólico. Díaz-Martínez *et al.* (2018) ubicaron el contacto entre las formaciones Anacleto y Allen coincidiendo con los niveles que indican una aridización del sistema y la presencia de huellas de hadrosáuridos, grupo de dinosaurios circunscripto al intervalo Campaniano tardío-Maastrichtiano (Cruzado-Caballero y Powell, 2017; Ibiricu *et al.*, 2020; Rozadilla *et al.*, 2022; entre otros).

CONSIDERACIONES FINALES

El nivel con las huellas de hadrosáuridos estudiado por Díaz-Martínez *et al.* (2018) está aproximadamente a 2 km del lugar donde se extrajo la muestra para la datación U-Pb en circones detríticos, por lo que es difícil establecer la relación estratigráfica precisa entre ambos niveles. En base a las características de las facies sedimentarias descritas y la EMD obtenida ($78,6 \pm 1,7$ Ma), se considera más pertinente asignar la sucesión estudiada a la Formación Anacleto y que los niveles con las huellas, asignados a la Formación Allen, se ubicarían por encima de la sección estudiada en este trabajo.

El número de circones utilizados (n=11) para el cálculo de la edad máxima depositacional (EMD), junto con la morfología de los cristales medidos, no solo apoyan el dato de EMD obtenido, sino que indicarían la presencia de un arco volcánico al oeste del área de estudio.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al editor de la revista Dr. Sebastián Richiano y a los dos revisores, Dres. Maximiliano Naipauer y Manuel Isla, por las valiosas sugerencias que ayudaron a mejorar el trabajo. Al Dr. Ignacio Díaz Martínez por los aportes y discusiones. A LA.TE ANDES S.A. por el intercambio de ideas e información. Este trabajo fue subsidiado por los proyectos PICT 2018/917 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de Argentina y PI 40-A-791 de la Universidad Nacional de Río Negro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre-Urreta, B., Tunik, M., Naipauer, M., Pazos, P., Ottone, E., Fanning, M., y Ramos, V.A. (2011). Malargüe Group (Maastrichtian–Danian) deposits in the Neuquén Andes, Argentina: implications for the onset of the first Atlantic transgression related to western Gondwana break-up. *Gondwana Research* 19, 482–494.
- Armas, M.P., y Sánchez, M.L. (2013). Sedimentología y arquitectura de las dunas costeras de la Formación Allen, Grupo Malargüe, Cuenca Neuquina - Río Negro, Argentina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 30: 65–79.
- Balgord, E. (2017). Triassic to Neogene evolution of the south-central Andean arc determined by detrital zircon U-Pb and Hf analysis of Neuquén Basin strata, central Argentina (34°S–40°S). *Lithosphere* 9, 453–462.
- Balgord, E.A., y Carrapa, B. (2016). Basin evolution of Upper Cretaceous–Lower Cenozoic strata in the Malargüe fold-and-thrust belt: northern Neuquén Basin, Argentina. *Basin Research* 28 (2): 183–206.
- Ballent, S.C. (1980). Ostrácodos de ambiente salobre de la Formación Allen (Cretácico Superior) en la Provincia de Río Negro (República Argentina). *Ameghiniana* 17: 67–82.
- Bechis, F., Giambiagi, L.B., Tunik, M.A., Suriano, J., Lanés, S., y Mescua, J.F. (2020). Tectono-Stratigraphic Evolution of the Atuel Depocenter During the Late Triassic to Early Jurassic Rift Stage, Neuquén Basin, West-Central Argentina. En: Kietzmann D., Folguera A. (eds) *Opening and Closure of the Neuquén Basin in the Southern Andes*. Springer Earth System Sciences. Springer, Cham.
- Borghini, P., Fennell, L., Omil, R., Naipauer, M., Acevedo, E., y Folguera A. (2019). The Neuquén group: The reconstruction of a Late Cretaceous foreland basin in the southern Central Andes (35–37°S). *Tectonophysics* 767: 1–23.
- Bridge, J.S. (2003). Rivers and floodplains: forms, processes and sedimentary record. Blackwell, Oxford, 491 p
- Buatois, L.A., y Mángano, M.G. (2007). Invertebrate ichnology of continental freshwater environments. En Miller, W. (ed.) *Trace Fossils: Concepts, Problems, Prospects*, Elsevier: 285–323, Amsterdam.
- Cobbold, P., y E. Rossello (2003). Aptian to recent compressional deformation, foothills of the Neuquén Basin, Argentina. *Marine and Petroleum Geology* 20: 429–443.
- Cruzado-Caballero, P., y Powell, J. (2017). Bonapartesaurus rionegrensis, a new hadrosaurine dinosaur from South America: implications for phylogenetic and biogeographic relations with North America. *Journal of Vertebrate Paleontology* 37 (2): 1–16.
- D'Elia, L., Bilmes, A., Franzese, J.R., Veiga, G.D., Hernández, M., y Muravchik, M. (2015). Early evolution of the southern margin of the Neuquén Basin, Argentina: tectono-stratigraphic implications for rift evolution and exploration of hydrocarbon plays. *Journal of South American Earth Science* 64: 42–57
- D'Elia, L., Bilmes, A., Naipauer, M., Vergani, G.D., Muravchik, M., y Franzese, J.R. (2020). The Syn-Rift of the Neuquén Basin (Precuyano and Lower Cuyano Cycle): Review of Structure, Volcanism, Tectono-Stratigraphy and Depositional Scenarios. En: Kietzmann, D., Folguera, A. (eds) *Opening and Closure of the Neuquén Basin in the Southern Andes*. Springer Earth System Sciences. Springer, Cham.
- Di Giulio, A., Ronchi, A., Sanfilippo, A., Tiepolo, M., Pimentel, M., y Ramos, V.A. (2012). Detrital zircon provenance from the Neuquén Basin (south-central Andes): Cretaceous geodynamic evolution and sedimentary response in a retroarc foreland basin. *Geology* 40: 559–562.
- Díaz Martínez, I., Cónsole Gonella, C.A., de Valais, S., y Salgado, L. (2018). Vertebrate tracks from the Paso Córdoba fossiliferous site (Anacleto and Allen formations, Upper Cretaceous), Northern Patagonia, Argentina: Preservation, environmental and palaeobiological implications. *Cretaceous Research* 83: 207–220.
- Dickinson, W.R., y Gehrels, G.E. (2009). Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: a test against a Colorado Plateau database. *Earth and Planetary Science Letters* 288 (1–2): 115–125.
- Dingus, L., Clarke, J., Scott, G.R., Sweisher III, C.C., Chiappe, L.M., y Coria, R.A. (2000). Stratigraphy and magnetostratigraphic/faunal constraints for the age of sauropod embryo-bearing rocks in the Neuquén Group (Late Cretaceous, Neuquén Province, Argentina). *American Museum Novitates* 3290: 1–11.
- Fennell, L., Folguera, A., Naipauer, M., Gianni, G., Rojas E., Bottesi, G., y Ramos, V. (2017). Cretaceous deformation of the southern Central Andes: synorogenic growth strata in the Neuquén Group (35° 30'–37° S). *Basin Research* 29: 51–72.
- Franzese, J.R., y Spalletti, L.A. (2001). Late Triassic–early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting. *Journal of South American Earth Sciences* 14, 257–270.
- Gianni, G.M., Dávila, F.M., Echaurren, A., Fennell, L., Tobal, J., Navarrete, C., Quezada, P., Folguera, A., y Giménez, M. (2019). A geodynamic model linking Cretaceous orogeny, arc migration, foreland dynamic subsidence and marine incision in southern South America. *Earth-Science Reviews* 185: 437–462.
- Gianni, G.M., Navarrete, C., Echaurren, A., Díaz, M., Butler, K.L., Horton, B.K., Encinas, A., y Folguera, A. (2020). Northward propagation of Andean genesis: Insights from Early Cretaceous synorogenic deposits in the Aysén-Río Mayo basin. *Gondwana Research* 77: 238–259.
- Gómez, R., Lothari, L., Tunik, M., y Casadio, S. (2019). Onset of foreland basin deposition in the Neuquén Basin (34°–35°S): New data from sedimentary petrology and U–Pb dating of detrital zircons from the Upper Cretaceous non-marine deposits. *Journal of South American Earth Science* 95: 102257.
- Gómez R., Galetto A., Arzadún G., Tunik M., Casadio S., Parada M., y Lothari L. (2021). Multiproxy provenance analysis of Lower to Upper Cretaceous synorogenic deposits in the Andes (34–35°S): evidence of coeval volcanism with the onset of the Andean orogeny. *Cretaceous Research*. Edición Especial: *The Neuquén Basin, a window on the Cretaceous of southwestern Gondwana*, <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2021.104985>
- González, S. N., Greco, G. A., Galetto, A., Bordes, S., Basei, M. A., Parada, M. N., Giacosa, R. E., y Pons, M. J. (2022). A multi-method approach to constrain the age of eruption and post-depositional processes in a Lower Jurassic ignimbrite from the Marifil Volcanic Complex, eastern North Patagonian Massif. *Journal of South American Earth Sciences* 114; 103688.
- Hervé, F., Calderón, M., Fanning, C.M., Pankhurst, R.J., y Godoy, E. (2013). Provenance variations in the Late Paleozoic accretionary complex of central Chile as indicated by detrital zircons. *Gondwana Research* 23(3): 1122–1135.
- Hervé, F., Calderón, M., Fanning, C.M., Pankhurst, R.J., Fuentes, F., Rapela, C.W., Correa, J., Quezada, P., Marambio, C. (2016). Devonian magmatism in the accretionary complex of

- southern Chile. *Journal of the Geological Society* 173: 587-602. doi:10.1144/jgs2015-163.
- Hervé, F., Calderón, M., Fanning, M., Pankhurst, R., Rapela, C., y Quezada, P. (2018). The country rocks of Devonian magmatism in the North Patagonian Massif and Chaitenia. *Andean geology* 45(3): 301-317.
- Horton, B.K. (2018). Tectonic Regimes of the Central and Southern Andes: Responses to Variations in Plate Coupling During Subduction. *Tectonics* 37: 402-429.
- Howell, J., Schwarz, E., Spalletti, L., y Veiga, G. (2005). The Neuquén Basin: an overview. En: Veiga, G., L. Spalletti, J. Howell y E Schwarz (Eds.). *The Neuquén Basin, Argentina: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics. Geological Society, London, Special Publications* 252: 1-14.
- Hugo, C.A., y Leanza, H.A. (2001). Hoja Geológica 3969-IV General Roca. Provincias de Río Negro y Neuquén. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1:250.000. *Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín* 308, 65 p., Buenos Aires.
- Ibiricu, L. M., Casal, G. A., Martínez, R. D., Alvarez, B. N., and Poropat, S. F. (2020). New materials and an overview of Cretaceous vertebrates from the Chubut Group of the Golfo San Jorge Basin, central Patagonia, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 98: 102460.
- Leanza, H.A. (2009). Las principales discordancias del Mesozoico de la Cuenca Neuquina según observaciones de superficie. *Revista Museo Argentino Ciencias Naturales, Nueva Serie* 11 (2): 145-184.
- Legarreta L., y Uliana M. A. (1996). The Jurassic succession in west-central Argentina: stratal pattern, sequences and paleogeographic evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 120: 303-330.
- Lescano, M., Caramés, A., Concheyro, A., Cataldo, C., Lazo, D.G., Luci, L., y Aguirre-Urreta, B. (2021). Early Cretaceous calcareous nannofossils and foraminifera from the Huitrín Formation (La Tosca Member), Neuquén Basin, Argentina, and their biostratigraphic and paleoecological implications. *Journal of South American Earth Sciences*: 103538.
- Luppo, T., López de Luchi, M.G., Rapalini, A.E., Martínez Dopico, C.I., y Fanning, C.M. (2018). Geochronologic evidence of a large magmatic province in northern Patagonia encompassing the Permian-Triassic boundary. *Journal of South American Earth Sciences* 82: 346-355.
- Luppo, T., Martínez Dopico, C.I., Rapalini, A.E., López de Luchi, M.G., Míguez, M., y Fanning, C.M., (2019). Paleomagnetism of Permo-Triassic volcanic units in northern Patagonia: are we tracking the final stages of collision of Patagonia? *International Journal of Earth Sciences* 108 (2): 621-647.
- Maceda, R., y Figueroa, D. (1995). Inversion of the Mesozoic Neuquén rift in the Malargüe fold and thrust belt, Mendoza, Argentina. En: Tankard, A.J., Suárez Soruco, R. y Welsink, H.J. (eds) *Petroleum Basins of South America*. AAPG Memoirs, 62, 369-382.
- Martínez Dopico, C.I., López de Luchi, M.G., Rapalini, A.E., Wemmer, K., Fanning, C.M., y Basei, M.A.S. (2017). Emplacement and temporal constraints of the Gondwanan intrusive complexes of northern Patagonia: La Esperanza plutono-volcanic case. *Tectonophysics* 712-713: 249-269.
- Martínez Dopico, C.I., López de Luchi, M.G., Rapalini, A.E., Fanning, C.M., y Antonio, P.Y.J. (2019). Geochemistry and geochronology of the shallow-level La Esperanza magmatic system (Permian-Triassic), Northern Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences* 96: 102347.
- Miall, A.D. (1996). The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology. *Springer-Verlag, Inc., Heidelberg*, 582 p.
- Miall, A.D. (2014). *Fluvial Depositional Systems*. Springer: 316 p. New York.
- Mpodozis, C., y Ramos V.A. (2008). Tectónica Jurásica en Argentina y Chile: extensión, subducción oblicua, rifting, deriva y colisiones? *Revista de Asociación Geológica Argentina* 63 (4): 481-497.
- Naipauer, M., Tunik, M., Marques, J.C., Rojas Vera, E.A., Vujovich, G.I., Pimentel, M.M., y Ramos, V.A., (2015). U-Pb detrital zircon ages of Upper Jurassic continental successions: implications for the provenance and absolute age of the Jurassic-Cretaceous boundary in the Neuquén Basin. *The Geological Society London Special Publications* 399 (1), 131-154. <https://doi.org/10.1144/sp399.1>.
- Naipauer, M., y Ramos, V.A. (2016). Changes in Source Areas at Neuquén Basin: Mesozoic Evolution and Tectonic Setting Based on U-Pb Ages on Zircons. In: Folguera, A., Naipauer, M., Sagripanti, L., C. Ghiglione, M., Orts, D., Giambiagi, L. (eds) *Growth of the Southern Andes. Springer Earth System Sciences*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23060-3_3
- Naipauer, M., García Morabito, E., Manassero, M., Valencia, V.V., y Ramos, V.A. (2018). A Provenance Analysis from the Lower Jurassic Units of the Neuquén Basin. Volcanic Arc or Intraplate Magmatic Input?. En: *The Evolution of the Chilean-Argentinean Andes. Springer Earth System Sciences*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67774-3_8
- Naipauer, M., Fennell, L., Tunik, M., Lazo, D., Aguirre-Urreta, B., y Ramos, V. (2022). Nuevas edades U-Pb en circones detríticos de los grupos Bajada del agrio y Neuquén: cambios en el área de aporte sedimentario durante el Cretácico en la cuenca Neuquina. *Actas del XXI Congreso Geológico Argentino: 1338-1364*. Puerto Madryn, Chubut.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Fanning, C.M., y Márquez, M. (2006). Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth-Science Reviews* 76 (3-4): 235-257.
- Paz, M., Baez, A.D., Pino, D.A., Yunes, Y.S., Garat, L.M., Ponce, J.J., y Tunik, M. (2014). Análisis sedimentológico de depósitos lacustres y eólicos del Cretácico tardío en la localidad Paso Córdoba, cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71(4): 459-471.
- Peñacorada, L., Gomez, R., Tunik, M., y Baez, A. (2022). *Procedencia y edad máxima depositacional para la Formación El Palo, en la localidad de Paso Córdoba, Río Negro*. *Actas del XXI Congreso Geológico Argentino: 1368-1369*. Puerto Madryn, Chubut.
- Ponce, J.J., Carmona, N., y Montagna, A.O. (2018). Atlas de estructuras sedimentarias inorgánicas y biogénicas: descripción, análisis e interpretación a partir de afloramientos, testigos corona y registros de imágenes de pozo. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: *Fundación YPF- UNRN* 166p.
- Ramos, V.A. (1999). Plate tectonic setting of the Andean Cordillera. *Episodes* 22(3): 183-190.
- Ramos, V.A., y Folguera, A. (2005). Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation. En: Veiga G.D., Spalletti L.A., Howell J.A., Schwarz E., (Eds.) *The Neuquén Basin, Argentina: a case study in sequence stratigraphy and basin dynamics. Geological Society of London* 252: 15-35.

- Ramos, V.A., Mosquera, A., Folguera, A., y García Morabito, E. (2011). *Evolución tectónica de los Andes y del engolfamiento neuquino adyacente*. En Leanza, H. et al. (eds.) Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, 17^a Congreso Geológico Argentino, Relatorio 335–344, Neuquén.
- Rozadilla, S., Brissón-Egli, F., Agnolín, F. L., Aranciaga-Rolando, A. M., y Novas, F. E. (2022). A new hadrosaurid (Dinosauria: Ornithischia) from the Late Cretaceous of northern Patagonia and the radiation of South American hadrosaurids, *Journal of Systematic Palaeontology* 19-17: 1207–1235.
- Sato, A.M., Llambías, E.J., Basei, M.A.S., y Castro, C.E. (2015). Three stages in the Late Paleozoic to Triassic magmatism of southwestern Gondwana, and the relationships with the volcanogenic events in coeval basins. *Journal of South American Earth Sciences* 63(0): 48–69.
- Scasso, R.A., Aberhan, M., Ruiz, L., Weidemeyer, S., Medina, F.A., y Kiessling, W. (2012). Integrated bio-and lithofacies analysis of coarse-grained, tide-dominated deltaic environments across the Cretaceous/Paleogene boundary in Patagonia, Argentina. *Cretaceous Research* 36, 37–57.
- Schellart, W. P. (2008). Overriding plate shortening and extension above subduction zones: A parametric study to explain formation of the Andes Mountains. *Geological Society of America* 120: 1441–1454.
- Schwarz, E., Spalletti, L.A., Veiga, G.D., y Fanning, C.M. (2016). First U-Pb SHRIMP age for the Pilmatué Member (Agrid Formation) of the Neuquén Basin, Argentina: Implications for the Hauterivian lower boundary. *Cretaceous Research* 58: 223–233.
- Scivetti, N., y Franzese J. R. (2019). Late Triassic-Late Jurassic subsidence analysis in Neuquén Basin central area. *Journal of South American Earth Sciences* 94: 102–230.
- Serra-Varela, S., Heredia, N., Otamendi, J., y Giacosa, R. (2021). Petrology and geochronology of the San Martín de Los Andes batholith: Insights into the Devonian magmatism of the North Patagonian Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 109: 103283.
- Spalletti, L. A., Franzese, J., Morel E., D'Elia, L., Zúñiga, A., y Fanning, M. (2010). Consideraciones acerca de la sedimentología, paleobotánica y geocronología de la Formación Piedra del Águila (Jurásico Inferior, Neuquén). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66(3): 305–313.
- Spencer, C. J., Kirkland, C. L., y Taylor, R. J. (2016). Strategies towards statistically robust interpretations of in situ U-Pb zircon geochronology. *Geoscience Frontiers*, 7(4), 581–589. Doi: 10.1016/j.gsf.2015.11.006.
- Suárez, M., De La Cruz, R., Fanning, M., y Etchart, H. (2008). Carboniferous, Permian and Toarcian magmatism in Cordillera del Viento, Argentina. First U-Pb SHRIMP dates and tectonic implications. *XVII Congreso Geológico Argentino*, Actas: 906-907, San Salvador de Jujuy.
- Suárez, M., Fanning, C.M., Etchart, H., y De La Cruz, R. (2012). New Carboniferous to Toarcian U-Pb SHRIMP ages from Cordillera del Viento, Neuquén, Argentina. *XIII Congreso Geológico Chileno*, Actas: 664–665, Antofagasta, Chile.
- Tunik, M., Folguera, A., Naipauer, M., Pimentel, M., y Ramos, V. (2010). Early uplift and orogenic deformation in the Neuquén Basin: constraints on the Andean uplift from U-Pb and Hf isotopic data of detrital zircons. *Tectonophysics* 489: 258–273.
- Uliana M. A., y Legarreta L. (1993). Hydrocarbons habitat in a Triassic to Cretaceous sub-andean setting: Neuquén basin, Argentina. *Journal of Petroleum Geology* 16: 397–420.
- Varela, R., Basei, M.A.S., Cingolani, C.A., Siga Jr, O., y Passarelli, C.R. (2005). El basamento cristalino de los Andes norpatagónicos en Argentina: geocronología e interpretación tectónica. *Revista Geológica de Chile* 32(2): 167–187.
- Weber, E.I. (1964). *Estudio geológico de General Roca (provincia de Río Negro)*. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédita), Buenos Aires.
- Weber, E.I. (1968). Las Capas de la Balsa al sur del Paso Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 23: 246–250.
- Wichmann, R. (1916). Las capas con Dinosaurios en la costa sur del río Negro frente a General Roca. *Physis* 2: 258–262.
- Zaffarana, C.B., Lagorio, S.L., Gallastegui, G., Wörner, G., Orts, D.L., Gregori, D., Poma, S., Busteros, A., Giacosa, R., Silva Nieto, D., Ruiz González, V., Boltshausen, B., Puigdomenech Negre, C., y Haller, M. (2020). Petrogenetic study of the LoncoTrapial volcanism and its comparison with the Early-Middle Jurassic magmatic units from northern Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences* 101: 102624.

Anexo con edades U-Pb en circones detríticos MUESTRA APC01-20. En amarillo a la derecha de la tabla se visualizan los datos concordantes: Concordancia = $(100 \pm 10) \%$.
 Appendix with U-Pb ages on detrital zircons from the sample APC01-20. To the right of the table it is possible observe in yellow the concordant data: Concordance = $(100 \pm 10) \%$.

APC01-20	Contenidos químicos				Relaciones radiogénicas					Edad Isotópica (Ma)					Edad Recomendada		Disc. %	
	Muestra-punto	²³² Th (ppm)	²³⁸ U (ppm)	Th/U (máscica)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	ρ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2 σ	Edad Preferida	2 σ		
C335 - 84	69,2	87,7	0,8	0,149	0,053	0,013	0,001	0,016	0,020	141,0	50,3	1286,0	303,0	82,4	5,5	82,4	5,5	58%
C335 - 7	184,5	108,3	1,7	0,139	0,016	0,012	0,001	0,043	0,011	132,5	14,8	1214,0	170,4	80,1	4,3	80,1	4,3	60%
C335 - 74	267,9	223,4	1,2	0,133	0,023	0,013	0,001	0,023	0,011	127,2	21,6	1135,8	165,2	80,2	3,3	80,2	3,3	63%
C335 - 68	170,4	288,6	0,6	0,116	0,016	0,012	0,000	0,028	0,010	111,6	15,7	933,7	129,1	77,2	2,9	77,2	2,9	69%
C335 - 88	48,9	84,9	0,6	0,104	0,012	0,012	0,001	0,055	0,008	100,2	11,6	639,0	79,2	78,6	4,2	78,6	4,2	78%
C335 - 67	69,7	131,3	0,5	0,107	0,012	0,013	0,001	0,043	0,007	102,9	11,7	660,4	74,3	80,8	3,3	80,8	3,3	79%
C335 - 27	41,4	70,8	0,6	0,228	0,031	0,026	0,001	0,042	0,009	208,9	28,1	725,6	97,9	166,1	8,1	166,1	8,1	79%
C335 - 40	54,0	418,7	0,1	0,928	0,034	0,092	0,003	0,076	0,003	666,4	24,1	1019,3	37,3	567,3	15,6	567,3	15,6	85%
C335 - 24	185,9	169,9	1,1	0,099	0,011	0,013	0,001	0,051	0,006	95,5	10,3	449,5	50,9	81,9	3,5	81,9	3,5	86%
C335 - 17	49,1	102,6	0,5	0,102	0,013	0,014	0,001	0,048	0,006	98,2	12,6	382,9	45,6	86,7	4,0	86,7	4,0	88%
C335 - 82	168,3	197,8	0,9	0,199	0,018	0,026	0,001	0,055	0,005	184,2	16,4	457,1	36,7	163,3	6,2	163,3	6,2	89%
C335 - 5	89,2	112,6	0,8	0,079	0,010	0,012	0,001	0,058	0,006	77,1	9,5	115,1	14,7	75,7	3,6	75,7	3,6	98%
C335 - 73	445,2	320,5	1,4	0,073	0,007	0,012	0,000	0,061	0,004	71,7	6,9	0,0	0,0	76,0	2,7	76,0	2,7	106%
C335 - 30	70,7	161,1	0,4	0,078	0,008	0,012	0,001	0,076	0,005	75,9	7,8	40,6	4,4	77,1	3,9	77,1	3,9	101%
C335 - 87	155,8	616,4	0,3	0,078	0,005	0,012	0,000	0,073	0,003	76,4	5,0	15,0	1,0	78,0	2,4	78,0	2,4	102%
C335 - 38	86,6	187,0	0,5	0,084	0,009	0,012	0,000	0,049	0,005	82,2	9,1	193,5	21,2	78,4	2,9	78,4	2,9	95%
C335 - 62	236,3	347,1	0,7	0,085	0,006	0,012	0,000	0,063	0,004	83,0	5,8	229,1	16,6	78,5	2,4	78,5	2,4	95%
C335 - 26	112,9	388,1	0,3	0,084	0,007	0,012	0,000	0,051	0,004	82,2	6,9	170,2	14,4	79,2	2,3	79,2	2,3	96%
C335 - 83	320,9	169,9	1,9	0,083	0,008	0,012	0,001	0,063	0,005	81,0	8,2	118,6	13,1	79,7	3,4	79,7	3,4	98%
C335 - 66	41,1	96,1	0,4	0,087	0,011	0,013	0,001	0,063	0,007	84,7	10,5	217,3	28,5	80,5	4,4	80,5	4,4	95%
C335 - 94	243,5	485,0	0,5	0,077	0,005	0,013	0,000	0,100	0,003	75,7	4,8	0,0	0,0	80,7	3,1	80,7	3,1	107%
C335 - 47	113,6	676,6	0,2	0,080	0,005	0,013	0,000	0,087	0,003	77,8	5,0	0,0	0,0	80,9	2,9	80,9	2,9	104%
C335 - 75	91,2	121,3	0,8	0,080	0,009	0,013	0,001	0,067	0,006	78,3	9,0	0,0	0,0	81,4	4,0	81,4	4,0	104%
C335 - 10	123,7	190,3	0,7	0,085	0,009	0,013	0,001	0,058	0,005	82,7	8,5	110,1	12,3	81,6	3,2	81,6	3,2	99%
C335 - 50	812,3	487,1	1,7	0,083	0,005	0,013	0,000	0,073	0,003	81,3	5,3	79,2	5,2	81,7	2,5	81,7	2,5	100%
C335 - 18	190,3	181,8	1,0	0,079	0,009	0,013	0,001	0,060	0,005	77,2	8,5	0,0	0,0	82,3	3,3	82,3	3,3	107%
C335 - 76	129,4	215,5	0,6	0,084	0,007	0,013	0,001	0,069	0,004	82,2	7,1	74,2	6,7	82,7	3,2	82,7	3,2	101%
C335 - 61	340,4	479,0	0,7	0,087	0,006	0,013	0,000	0,073	0,003	84,4	5,4	145,3	9,7	82,7	2,6	82,7	2,6	98%
C335 - 77	251,8	289,2	0,9	0,096	0,009	0,013	0,000	0,043	0,005	93,3	8,9	355,3	34,3	83,6	2,5	83,6	2,5	90%
C335 - 85	179,6	160,8	1,1	0,080	0,010	0,013	0,001	0,053	0,005	78,1	9,3	0,0	0,0	83,8	3,3	83,8	3,3	107%

APC01-20	Contenidos químicos				Relaciones radiogénicas						Edad Isotópica (Ma)				Edad Recomendada		Disc. %
	232Th (ppm)	238U (ppm)	Th/U (máscica)	207Pb/235U	206Pb/238U	206Pb/206Pb	207Pb/206Pb	207Pb/235U	207Pb/206Pb	207Pb/206Pb	206Pb/238U	206Pb/238U	206Pb/206Pb	Edad Preferida	2σ		
C335 - 20	31,5	54,4	0,6	0,093	0,015	0,013	0,001	0,052	0,051	0,009	90,1	14,6	247,4	42,2	84,0	5,0	93%
C335 - 46	107,1	147,9	0,7	0,082	0,008	0,013	0,001	0,071	0,046	0,005	80,1	8,3	0,0	0,0	84,0	3,9	105%
C335 - 49	212,8	185,8	1,1	0,088	0,009	0,013	0,001	0,061	0,048	0,005	85,2	8,5	87,7	8,6	85,5	3,4	100%
C335 - 28	253,5	370,4	0,7	0,091	0,006	0,013	0,000	0,074	0,049	0,003	88,3	5,9	153,5	10,6	85,9	2,9	97%
C335 - 79	128,8	119,9	1,1	0,098	0,010	0,014	0,001	0,058	0,050	0,006	94,6	9,9	209,4	23,3	90,2	3,8	95%
C335 - 80	287,1	346,5	0,8	0,117	0,008	0,017	0,001	0,067	0,050	0,004	112,2	7,6	215,7	15,0	107,5	3,4	96%
C335 - 81	356,6	360,7	1,0	0,120	0,008	0,017	0,001	0,075	0,050	0,003	115,2	7,2	212,9	14,3	110,5	3,6	96%
C335 - 36	126,5	203,9	0,6	0,130	0,012	0,020	0,001	0,065	0,047	0,004	123,7	11,2	66,0	6,0	126,8	4,9	103%
C335 - 78	524,6	610,7	0,9	0,164	0,008	0,024	0,001	0,087	0,051	0,003	154,3	7,4	220,3	12,0	150,4	4,4	97%
C335 - 51	236,9	416,3	0,6	0,159	0,010	0,024	0,001	0,070	0,048	0,003	150,0	9,3	97,6	6,0	154,0	4,4	103%
C335 - 65	477,5	520,0	0,9	0,170	0,008	0,025	0,001	0,095	0,049	0,002	159,1	7,6	125,6	6,0	162,1	4,9	102%
C335 - 23	161,0	321,0	0,5	0,183	0,012	0,027	0,001	0,067	0,050	0,003	170,8	10,8	185,1	12,1	169,5	4,9	99%
C335 - 44	341,0	403,4	0,8	0,184	0,010	0,027	0,001	0,088	0,050	0,003	171,8	9,1	208,2	12,5	169,7	5,5	99%
C335 - 89	154,0	93,7	1,6	0,189	0,020	0,027	0,001	0,054	0,050	0,006	175,9	18,9	200,5	22,3	173,1	6,9	98%
C335 - 37	251,5	505,1	0,5	0,185	0,008	0,027	0,001	0,097	0,049	0,002	172,3	7,5	162,3	7,5	173,2	5,0	100%
C335 - 1	42,3	59,6	0,7	0,179	0,020	0,028	0,001	0,060	0,047	0,005	167,4	18,5	26,5	3,0	177,4	7,6	106%
C335 - 59	184,6	460,3	0,4	0,192	0,010	0,028	0,001	0,075	0,050	0,003	178,4	9,5	177,9	10,0	179,5	4,9	101%
C335 - 13	120,8	357,3	0,3	0,203	0,011	0,028	0,001	0,075	0,052	0,003	187,5	10,6	283,8	15,4	179,6	5,4	96%
C335 - 43	480,6	895,4	0,5	0,190	0,008	0,028	0,001	0,109	0,049	0,002	176,5	7,0	134,0	5,9	180,1	5,2	102%
C335 - 25	123,5	523,9	0,2	0,203	0,009	0,028	0,001	0,088	0,052	0,002	187,7	8,7	279,8	12,3	180,3	5,3	96%
C335 - 4	209,2	237,0	0,9	0,205	0,012	0,029	0,001	0,074	0,052	0,003	189,4	10,8	281,8	15,9	181,8	5,5	96%
C335 - 21	427,2	217,9	2,0	0,195	0,012	0,029	0,001	0,076	0,049	0,003	181,3	10,7	166,1	10,4	182,1	5,6	100%
C335 - 63	185,5	301,3	0,6	0,196	0,012	0,029	0,001	0,075	0,050	0,003	182,0	11,0	184,0	11,3	182,8	5,7	100%
C335 - 72	96,1	590,0	0,2	0,195	0,009	0,029	0,001	0,093	0,049	0,002	180,7	8,4	143,9	6,3	184,1	5,3	102%
C335 - 60	194,7	456,0	0,4	0,203	0,010	0,029	0,001	0,088	0,051	0,003	187,4	8,8	217,9	10,9	186,1	5,3	99%
C335 - 58	309,7	551,2	0,6	0,193	0,009	0,029	0,001	0,099	0,048	0,002	179,3	8,0	94,4	4,3	186,9	5,4	104%
C335 - 54	180,9	251,4	0,7	0,194	0,012	0,030	0,001	0,080	0,048	0,003	179,6	11,2	82,2	5,3	188,0	6,1	105%
C335 - 70	157,7	307,0	0,5	0,200	0,012	0,030	0,001	0,079	0,049	0,003	185,1	10,9	156,4	10,0	188,1	5,9	102%
C335 - 95	256,8	156,9	1,6	0,219	0,019	0,030	0,001	0,053	0,053	0,005	201,1	17,3	321,2	28,4	188,9	6,3	94%
C335 - 35	255,8	707,1	0,4	0,200	0,008	0,030	0,001	0,103	0,049	0,002	184,7	7,4	123,3	5,2	189,6	5,2	103%
C335 - 33	210,3	507,1	0,4	0,196	0,010	0,030	0,001	0,087	0,047	0,003	182,1	9,3	72,1	3,9	190,7	5,5	105%
C335 - 56	172,8	170,7	1,0	0,213	0,016	0,030	0,001	0,067	0,051	0,004	196,1	14,6	259,7	20,2	191,9	6,8	98%

C335 - 45	50,4	156,8	0,3	0,205	0,014	0,031	0,001	0,063	0,048	0,003	189,5	13,3	103,0	7,2	197,2	5,8	197,2	5,8	104%
C335 - 48	285,4	236,2	1,2	0,211	0,015	0,032	0,001	0,070	0,049	0,003	194,4	13,5	124,0	8,3	200,9	6,5	200,9	6,5	103%
C335 - 86	77,8	974,2	0,1	0,317	0,015	0,040	0,001	0,088	0,057	0,002	279,6	13,1	484,5	20,9	254,7	8,2	254,7	8,2	91%
C335 - 69	73,1	237,6	0,3	0,288	0,016	0,041	0,001	0,083	0,051	0,003	256,7	14,4	250,8	14,3	258,4	8,4	258,4	8,4	101%
C335 - 8	32,8	196,2	0,2	0,299	0,019	0,043	0,001	0,067	0,051	0,003	265,7	17,2	232,6	14,5	269,3	8,1	269,3	8,1	101%
C335 - 71	250,1	541,3	0,5	0,317	0,013	0,043	0,001	0,093	0,053	0,002	279,4	11,4	344,5	14,9	272,9	7,6	272,9	7,6	98%
C335 - 91	277,8	314,3	0,9	0,316	0,015	0,044	0,001	0,076	0,052	0,003	278,9	13,5	272,0	13,3	277,6	7,4	277,6	7,4	100%
C335 - 2	335,0	416,9	0,8	0,324	0,014	0,044	0,001	0,086	0,053	0,002	285,1	12,6	341,9	13,7	278,0	7,7	278,0	7,7	98%
C335 - 39	103,0	214,0	0,5	0,324	0,016	0,045	0,001	0,093	0,053	0,003	285,0	14,2	313,1	17,0	282,0	9,4	282,0	9,4	99%
C335 - 57	33,6	485,6	0,1	0,319	0,015	0,045	0,001	0,087	0,052	0,002	281,5	13,0	288,7	13,8	282,2	8,1	282,2	8,1	100%
C335 - 11	82,7	138,9	0,6	0,356	0,027	0,048	0,002	0,059	0,054	0,004	309,3	23,3	373,2	25,2	300,3	10,0	300,3	10,0	97%
C335 - 12	20,6	48,6	0,4	0,367	0,033	0,048	0,002	0,068	0,055	0,005	317,3	28,4	430,6	39,8	301,4	14,0	301,4	14,0	95%
C335 - 32	135,5	145,2	0,9	0,363	0,024	0,048	0,002	0,068	0,054	0,003	314,3	20,8	383,6	24,5	304,5	10,3	304,5	10,3	97%
C335 - 90	96,0	143,8	0,7	0,363	0,022	0,049	0,001	0,065	0,054	0,003	314,2	19,2	360,3	22,4	306,0	9,1	306,0	9,1	97%
C335 - 22	170,3	192,7	0,9	0,359	0,021	0,049	0,001	0,069	0,053	0,003	311,8	17,9	344,2	20,3	307,0	9,0	307,0	9,0	98%
C335 - 31	47,1	329,4	0,1	0,369	0,017	0,049	0,001	0,078	0,055	0,003	318,6	14,9	396,9	18,7	308,1	8,5	308,1	8,5	97%
C335 - 42	68,1	99,5	0,7	0,393	0,027	0,051	0,002	0,061	0,057	0,004	336,8	23,3	474,9	35,0	317,9	10,4	317,9	10,4	94%
C335 - 53	135,6	304,3	0,4	0,371	0,017	0,051	0,001	0,080	0,053	0,002	320,2	14,4	321,0	14,8	321,7	8,4	321,7	8,4	100%
C335 - 29	51,5	240,3	0,2	0,383	0,017	0,051	0,002	0,095	0,054	0,003	329,1	14,4	371,4	17,2	322,7	9,9	322,7	9,9	98%
C335 - 93	79,1	177,6	0,4	0,378	0,021	0,054	0,002	0,086	0,051	0,003	325,7	18,2	217,5	12,3	337,8	11,4	337,8	11,4	104%
C335 - 92	82,3	199,6	0,4	0,399	0,018	0,054	0,001	0,083	0,053	0,003	341,1	15,3	317,6	15,3	341,7	9,3	341,7	9,3	100%
C335 - 55	329,0	306,4	1,1	0,395	0,018	0,056	0,002	0,102	0,052	0,002	338,3	15,7	278,7	13,3	349,0	11,7	349,0	11,7	103%
C335 - 52	71,8	104,8	0,7	0,444	0,029	0,057	0,002	0,071	0,057	0,003	373,2	24,6	477,4	29,3	358,2	13,1	358,2	13,1	96%
C335 - 16	154,2	316,7	0,5	0,518	0,029	0,061	0,002	0,074	0,062	0,003	423,8	23,4	664,9	31,7	379,8	13,2	379,8	13,2	90%
C335 - 6	132,4	329,9	0,4	0,485	0,020	0,063	0,002	0,092	0,056	0,002	401,4	16,2	443,1	15,4	393,5	11,3	393,5	11,3	98%
C335 - 3	149,6	172,8	0,9	0,472	0,024	0,063	0,002	0,080	0,054	0,003	392,8	20,0	379,5	19,0	395,0	12,1	395,0	12,1	101%
C335 - 34	245,6	279,3	0,9	0,479	0,022	0,064	0,002	0,082	0,055	0,002	397,3	18,6	396,9	18,0	397,4	11,5	397,4	11,5	100%
C335 - 19	172,1	354,8	0,5	0,477	0,019	0,064	0,002	0,091	0,054	0,002	396,1	15,7	376,8	14,3	398,3	10,8	398,3	10,8	101%
C335 - 15	100,7	154,4	0,7	0,499	0,026	0,064	0,002	0,073	0,057	0,003	411,3	21,4	477,8	26,6	398,6	11,9	398,6	11,9	97%
C335 - 9	243,4	743,2	0,3	0,504	0,021	0,064	0,002	0,092	0,057	0,002	414,4	17,3	499,6	17,2	398,9	12,0	398,9	12,0	96%
C335 - 64	50,1	313,6	0,2	0,487	0,022	0,065	0,002	0,088	0,055	0,002	402,6	18,4	396,9	16,7	405,7	12,2	405,7	12,2	101%
C335 - 41	148,6	302,8	0,5	0,595	0,025	0,077	0,002	0,090	0,056	0,003	474,3	20,3	455,5	21,4	478,9	14,2	478,9	14,2	101%
C335 - 14	108,7	410,3	0,3	2,371	0,086	0,208	0,005	0,063	0,083	0,002	1234,0	44,7	1257,9	36,3	1217,8	31,7	1217,8	31,7	99%