

DESARROLLO DE DEPOCENTROS JURÁSICOS ENTRE LAS CUENCAS DE COLORADO, SUBCUENCA CHELFORÓ Y CUENCA NEUQUINA

Emilio A. Rojas Vera¹, Federico G. E. Späth¹, Juan Pablo Lovecchio³, Ofelia Silio³,
Pedro Kress², Facundo Pagan³, Sebastián Arismendi³

1: Gerencia de Especialidades técnicas. Desarrollo Convencional. YPF. emilio.a.rojas@ypf.com, federico.spath@ypf.com

2: Especialidades técnicas, Exploración. YPF. pkress@ypf.com

3: Exploración offshore norte, Exploración. YPF.

juan.lovecchio@ypf.com, ofelia.silio@ypf.com, facundo.j.pagan@ypf.com, sebastian.arismendi@ypf.com

Palabras clave: Gravimetría, Cuenca Neuquina, Cuenca de Colorado, Estructura, Jurásico

ABSTRACT

The northern part of the Somún Cura Massif (along parallel 39° S, in northern Patagonia) is characterized by the development of a series of Jurassic depocenters from the Andes, through the Neuquén basin and the Pampean sector (Chelforó sub-basin) towards the coast near the location of the Pedro Luro -1 well (onshore Colorado basin), and further east over the Argentine shelf, where multiple Jurassic depocenters developed in the Colorado, Rawson and Valdés basins area.

Using marine and continental gravity data (Free air and Isostatic anomalies respectively), constrained by well and seismic data, an integrated interpretation model for the study area was carried out. The southern limit of the Neuquén Basin is controlled by the Huincul High, an E-W structure with a positive gravimetric anomaly observed in gravity data, interpreted as a basement high containing relative gravimetric lows to both sides of the structure. The eastern sector includes a series of isolated depocenters, separated by basement highs (N-S) and limited to the south by the E-W anomaly of the Huincul High. These depocenters correspond to the Chelforó sub-basin, which remains undrilled but is interpreted to be filled with Jurassic deposits. Between Valcheta and Sierra Grande, this positive anomaly turns NW-SE and becoming the southern boundary of the Pedro Luro depocenter, partially drilled by the Pedro Luro- 1 well, with Tithonian palynology records at total depth. In the gravimetric data, between the Pedro Luro depocenter and the Chelforó sub-basin some features consistent with basement highs with circular morphology have been identified, located in the area limited between the Colorado and Río Negro rivers. Jurassic rifts depocenters have also been interpreted further east, in the Colorado basin where depocenters are controlled by an E-W oriented basement high, and further east by NW-SE trending structures near to the position of the SDRs (seaward dipping reflectors on the continental-oceanic crust transition zone).

The common evolution of these Jurassic depocenters is still poorly understood. They extend for more than 1,500 km from the Andes to the continental shelf and are controlled by structures located to the north of the Somún Cura Massif. The interpretation of seismic lines, and gravimetric data in areas without deep wells allow the identification of new exploration targets increasing the potential of these basins.

INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se localiza en sector central de Argentina, entre las cuencas de Colorado y Neuquina (Figura 1). A estas latitudes las principales unidades morfoestructurales son: La cordillera de la Costa y la depresión central, en territorio chileno. Hacia el este en Argentina, se desarrollan la Cordillera Principal Neuquina, perteneciente a los Andes Centrales Australes y los Andes Nordpatagónicos (Ramos *et al.* 2011). El límite sur de la Cuenca Neuquina está marcado por la presencia de la Dorsal de Huincul y la sub-cuenca de Picún Leufú (Ramos *et al.* 2019; Sigismondi y Ramos, 2011). Hacia el sector pampeano, ubicado al este, la sub-cuenca de Chelforó se desarrolla en el subsuelo, y sobre la plataforma continental Argentina, se ubica la cuenca de Colorado. A partir de la integración de datos gravimétricos, datos de pozos, líneas sísmicas y geología de superficie se logró integrar una transecta regional (A-A', Figura 1) donde se muestra la continuidad de depocentros jurásicos en subsuelo, desde la cuenca de Colorado hasta la Cuenca Neuquina.

La Cuenca Neuquina es una cuenca de retroarco la cual comenzó su evolución en el Triásico-Jurásico temprano con la apertura de depocentros aislados (Uliana y Biddle, 1988; Vergani *et al.* 1995; D'Elia *et al.* 2020). La orientación de estos depocentros varía dependiendo del entorno tectónico en el cual se han desarrollado. El límite oriental de la cuenca se encuentra controlado por fallas de orientación NO-SE, que hacia el norte se tornan NNO-SSE. El límite sur de la cuenca se encuentra marcado enteramente por el desarrollo de la Dorsal de Huincul, que controla la posición de los depocentros localizados en el segmento sur de la Cuenca Neuquina. Desde el Jurásico Temprano alto al Cretácico medio la cuenca entra en su etapa de subsidencia termal, (Uliana y Legarreta, 1993; Vergani *et al.* 1995; Ramos y Folguera, 2005), durante esta etapa también se registran eventos de inversión localizada, (Vergani *et al.* 1995, Mosquera y Ramos, 2006; Naipauer *et al.* 2012). Finalmente, durante el Cretácico Tardío- Neógeno la cuenca entra en su etapa compresiva, y se comienza a estructurar la cordillera de la Andes (Ramos y Folguera, 2005).

La Cuenca de Colorado se desarrolla en sentido E-O en depocentros aislados de orientación NO-SE (Lovecchio *et al.* 2018), alcanzando su máximo desarrollo sobre el offshore argentino con depocentros de hasta 8 km de profundidad. La cuenca se extiende sobre un basamento Paleozoico correspondiente a la faja plegada y corrida Permo-Triásica de Ventania-Cape (Pángaro *et al.* 2016). Lovecchio *et al.* (2018) a partir de la interpretación regional de líneas sísmicas determinaron al menos tres eventos extensionales de synrift (desarrollados entre el Triásico Tardío y el Cretácico temprano) los cuales controlaron la evolución de la cuenca de Colorado y concluyeron con la apertura del margen Atlántico. La extensión habría comenzado con la reactivación extensional de las estructuras NO-SE de Ventania durante el Triásico. Posteriormente, durante el Jurásico Temprano a Medio se habrían generado los principales depocentros a partir de estructuras de

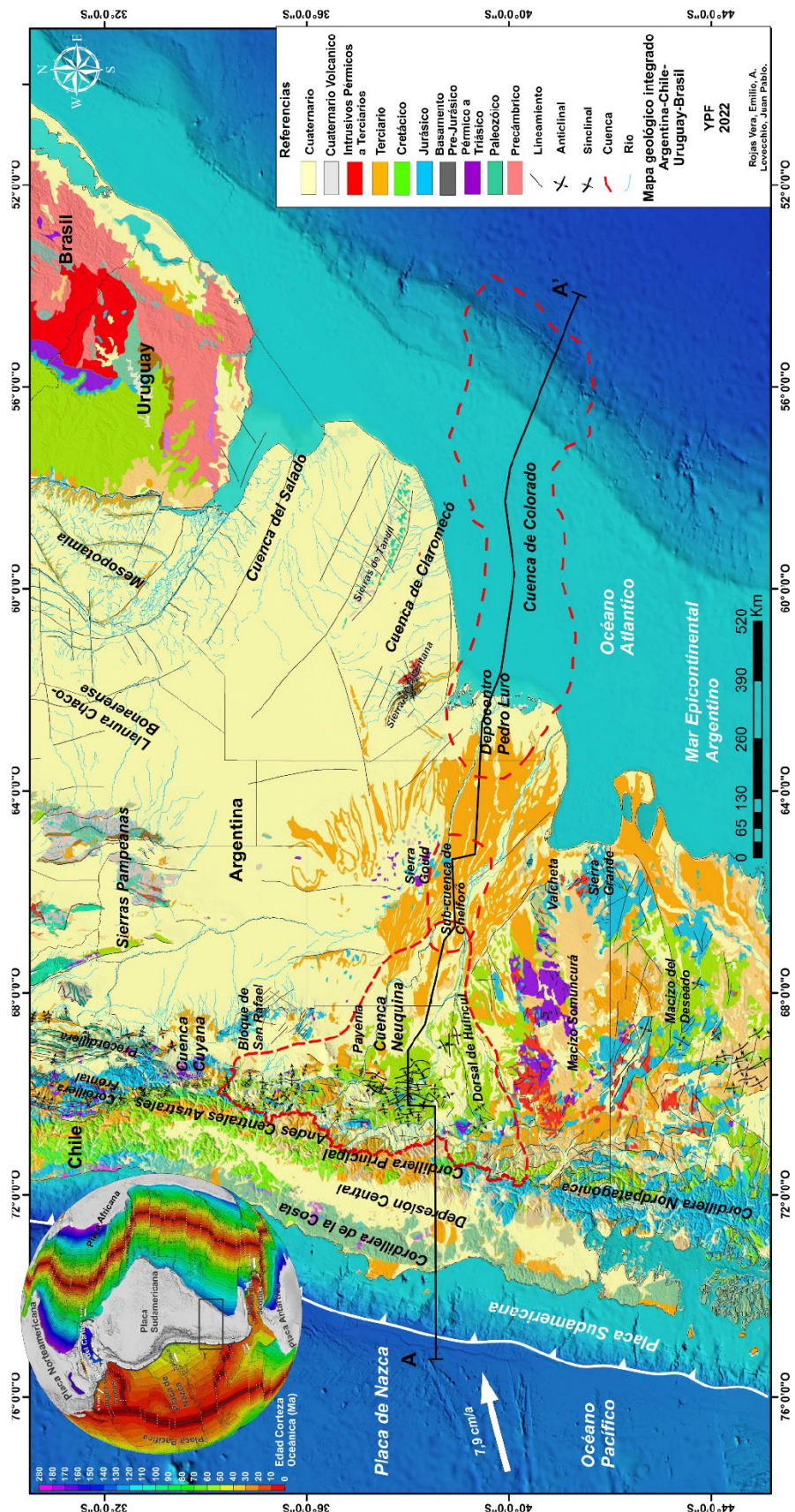


Figura 1. Mapa Geológico integrado Argentina-Chile-Uruguay-Brasil. En líneas punteadas rojas se marca la posición de las Cuencas Neuquina (hacia el oeste) y Colorado (sobre el margen continental). A-A' representa la posición de la transecta regional presentada en la figura 5.

rumbo E-O (extensión N-S). Finalmente, hacia el Jurásico Tardío-Cretácico Temprano, una fase de extensión ONO-ESE, asociada con la apertura del océano Atlántico Sur, terminó de dar forma a la cuenca.

METODOLOGÍA

En la Figura 1 se presenta la información geológica a escala regional de Sudamérica, donde se integró el Mapa Geológico Argentino publicado por Segemar (2018), el Mapa Geológico de Chile 1:1.000.000 (Sernageomin, 2003), y el Mapa Geológico Sudamericano (Gómez Tapias *et al.* 2001). La geología resultante fue unificada por edades a partir del uso del programa Arcgis®. Para la interpretación de depocentros en el subsuelo y sobre el continente, a escala regional se utilizaron datos de pozos, líneas sísmicas y la carta gravimétrica de anomalías isostáticas reprocesada por GETECH en el año 2010 (Figura 2), empleando una densidad de 2,67 g/cm³, aplicando corrección topográfica y usando el modelo isostático de Airy-Heiskanen. Para el sector de la plataforma continental marina, se utilizaron pozos, líneas sísmicas y anomalías de Aire Libre del modelo de Sandwell *et al.* (2014) (Figura 2).

Posteriormente se construyeron columnas estratigráficas esquemáticas, basadas en datos de pozos y en información sísmica. Dada la presencia de rocas volcánicas en la Cuenca de Colorado, y su respuesta gravimétrica, la morfología de la cuenca se ve obliterada. Por esta razón, la geometría de la cuenca fue tomada del trabajo de Lovecchio *et al.* (2018), interpretada a partir de líneas sísmicas. Para validar la interpretación estructural se modeló la respuesta gravimétrica a lo largo de la línea sísmica 13.000 interpretada por Lovecchio *et al.* (2018) escalada a profundidad empleando densidades de registros de pozos.

Finalmente se construyó una transecta regional (O-E) que abarca desde la zona de subducción en el margen Pacífico hasta los SDRs en la plataforma continental argentina, integrando toda la información disponible (geología de superficie, líneas sísmicas, gravimetría y pozos).

ANOMALÍAS GRAVIMÉTRICAS

Se integraron las anomalías gravimétricas del continente y la plataforma continental Argentina, teniendo en cuenta su diferente significado, con el objeto de realizar una interpretación conjunta cualitativa. La Figura 2 muestra la integración de las anomalías de Aire Libre sobre el océano Atlántico y las anomalías isostáticas sobre el continente. Sobre este es posible reconocer los principales terrenos (Ramos, 2008) que conforman el segmento central de país: hacia el NO se reconoce la Cuenca Cuyana, lindante hacia el este con los terrenos de Famatina y Pampia. Sobre este terreno se desarrolla la Cuenca de Mercedes en el sector central y la Cuenca de Levalle en la sutura presente con el cratón del Río de la Plata.

Hacia el sur siguiendo la traza de esta sutura se desarrolla la Cuenca de Macachin, inmediatamente al norte del bloque de Chadileuvú. Continuando hacia el este se ubica el cratón del Río de la Plata, sobre el que se emplazan las cuencas Chaco-paranense (hacia el norte), y las cuencas del Salado y Claromecó en la provincia de Buenos Aires.

En la parte centro oeste del área de estudio, la anomalía isostática permite reconocer la estructura profunda de la Cuenca Neuquina, limitada hacia el sur por la Dorsal de Huincul. Sobre las suturas entre los terrenos de Chilenia, Cuyania y Pampia puede verse el desarrollo de depocentros correspondientes a las sub-cuencas de Puesto Kaufmann y Chelforó. Están integrados por depocentros aislados, localizados al norte de la dorsal y al este de la Cuenca Neuquina. El depocentro más oriental fue definido por Kostadinoff *et al.* (2005) como la cuenca de Estancia El Caldén.

Sobre el segmento sur de la costa bonaerense, es posible reconocer el depocentro Pedro Luro, el cual forma parte de la Cuenca de Colorado desarrollada hacia el este sobre la plataforma. Dada la presencia de rocas volcánicas en el segmento sur de la cuenca, la respuesta gravimétrica muestra valores positivos en lugar de negativos. Una situación análoga puede reconocerse en el segmento occidental de la Cuenca Neuquina, donde rocas volcánicas en superficie son evidenciadas por respuestas gravimétricas positivas (Morabito y Ramos 2011; Rojas Vera *et al.* 2010). Sobre la Cuenca de Colorado, igualmente es posible reconocer la presencia de bajos relativos que se corresponden con depocentros identificados a partir de la interpretación de líneas sísmicas (Lovecchio *et al.* 2018).

El segmento austral de la anomalía muestra el desarrollo del Macizo de Somún Cura (o Nordpatagónico), desarrollado sobre el terreno de Patagonia (Ramos, 2008), donde también se marca la presencia de las cuencas de Ñirihuau, en el ámbito andino y la Cuenca de Cañadón Asfalto sobre el continente.

Sobre el Mar argentino se desarrollan las Cuencas de Rawson y Valdés, nuevamente como bajos relativos dentro de la gravimetría. Estas cuencas fueron identificadas por interpretación sísmica, además de contar con pozos en sus flancos (Kress *et al.* 2022).

Información de subsuelo

La Figura 3 muestra las geometrías de las Cuencas Neuquina, Colorado y la sub-cuenca Chelforó interpretadas a partir de datos sísmicos. Se observa que el límite sur de la cuenca se encuentra controlado por la presencia de la Dorsal de Huincul, la cual imprime un control estructural de primer orden. Dentro del ámbito de ésta pueden observarse estructuras de rumbo E-O y NO-SE. Hacia el centro de Cuenca Neuquina, se pueden reconocer estructuras NNO-SSE, controlando elementos estructurales de primer orden como el bajo de Añelo, o las estructuras de piel gruesa presentes en las fajas plegadas y corridas de Agrio, Chos Malal y Malargüe (Ramos,

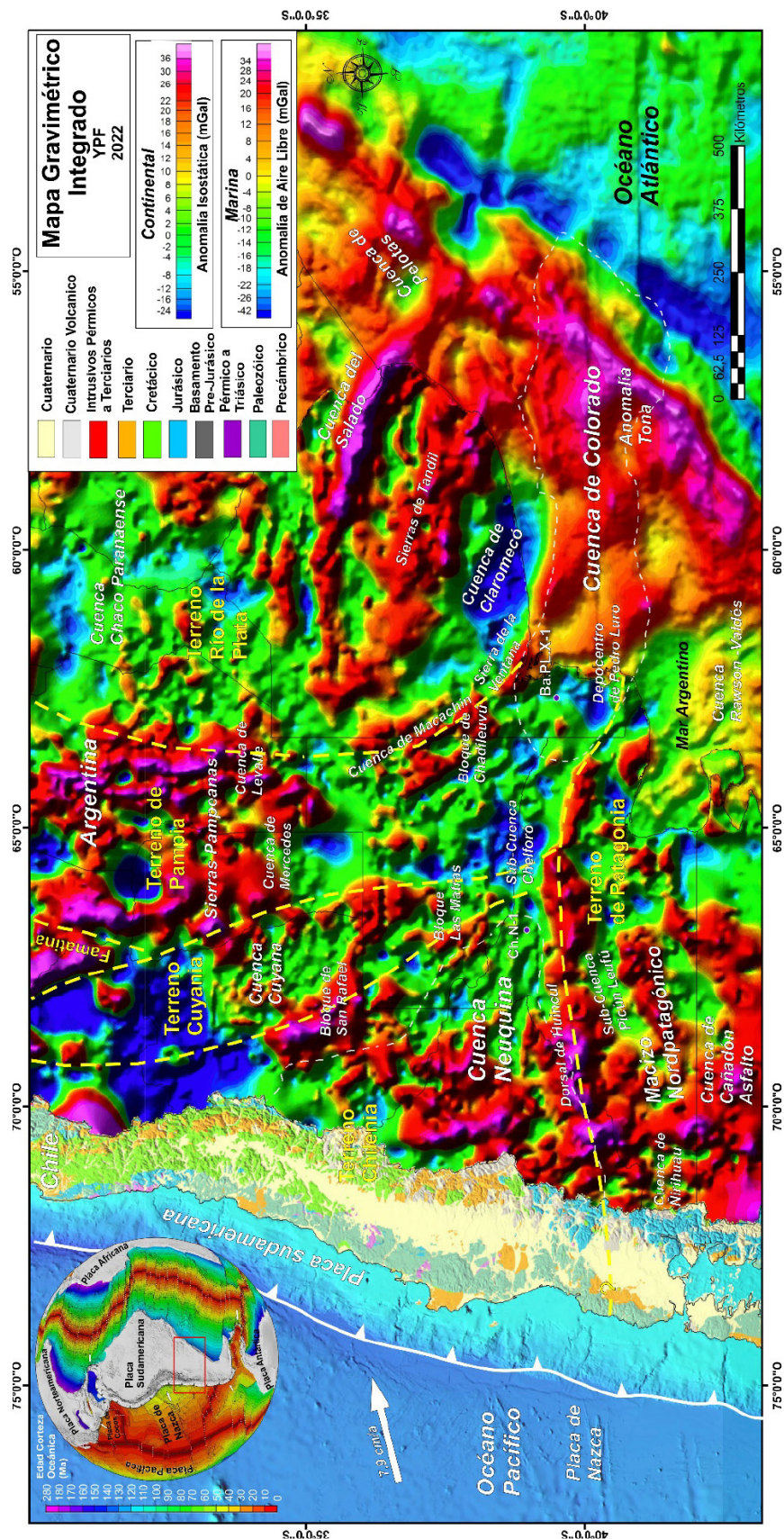


Figura 2. Mapa de anomalías gravimétricas integradas, sobre el continente anomalía isostática, sobre la plataforma anomalías de Aire Libre. Ambas fueron procesadas con el software Oasis Montaj; La línea punteada amarilla representa las suturas entre los distintos terrenos (Ramos *et al.* 2019; Ramos 2018). La línea punteada blanca muestra la posición de las cuencas de Colorado y Neuquina.

1978; Manceda y Figueroa 1995; Zamora Valcarce *et al.* 2006, Rojas Vera *et al.* 2015, Turienzo *et al.* 2014). El límite nororiental de la Cuenca Neuquina se encuentra marcado por la presencia de estructuras de orientación NO-SE como en el sistema de Entre Lomas (Cristallini *et al.* 2009).

Hacia el este, la Cuenca de Colorado muestra el desarrollo de depocentros diacrónicos aislados, controlados por fallas de orientación NNO-SSE (Gerster *et al.*, 2011; Lovecchio *et al.* 2018). Por otra parte, puede observarse que a medida que nos alejamos del continente estos depocentros se vuelven más profundos superando los 8.000 metros de profundidad en los ubicados más al oriente. Si bien existen estructuras de orientación NO-SE, E-O y NE-SO, las fallas originales que controlaron la generación de los máximos depocentros son de orientación NNO-SSE las cuales son interpretadas como ruptura inicial en el Triásico superior- Jurásico inferior (Lovecchio *et al.* 2018). Mientras que las estructuras E-O, NNO-SSE se desarrollaron durante el Jurásico temprano-Tardío, las fallas con rumbo NE-SO se habrían formado durante en el Cretácico Temprano, ya relacionadas con la apertura del Atlántico sur (Gerster *et al.*, 2011; Lovecchio *et al.* 2018).

La Figura 4 muestra la interpretación regional de la línea sísmica de ION Basin span, modificada de Lovecchio *et al.* (2018). Sobre la misma puede observarse la presencia de hemigrábenes jurásicos, los cuales aumentan sus profundidades a medida que nos alejamos del continente. Los depocentros principales de la Cuenca de Colorado se localizan entre el pozo Ranquel x-1 y el Alto Externo. Si bien la posición de la sísmica es paralela a estas estructuras, es posible visualizar la importancia de estas estructuras en la apertura de la cuenca y en la generación de espacio de acomodación para la preservación de secuencias de *synrift*.

DISCUSIÓN

Columnas estratigráficas esquemáticas

A partir de la geología de superficie, datos de pozo e información sísmica se elaboraron columnas estratigráficas esquemáticas abarcando la cuenca Neuquina, la sub-cuenca de Chelforó, el depocentro Pedro Luro y la Cuenca de Colorado (Figuras 5 y 6).

La Figura 5 muestra la columna de la Cuenca Neuquina publicada por Brissón y Veiga (1999), que se puede sintetizar de la siguiente manera. El relleno de la cuenca a los 38°S se desarrolla sobre un basamento pre-Jurásico expuesto en la Cordillera del Viento. El Grupo Andacollo (Hervé *et al.* 2013) consiste en pelitas de edad carbonífera, cubiertas por 2000 metros de rocas volcánicas correspondientes al Grupo Choiyoi de edad pérmica – triásica temprana y parte del Ciclo Precuyano (Stipanovic *et al.* 1969; Ramos *et al.* 2011, Llambías y Sato, 2011). A los 39° S la cuenca presenta un basamento Devónico con metamorfismo de bajo grado (Fm. Piedra Santa y los granitoides del Complejo Plutónico Chachil (Naipauer *et al.* 2018).

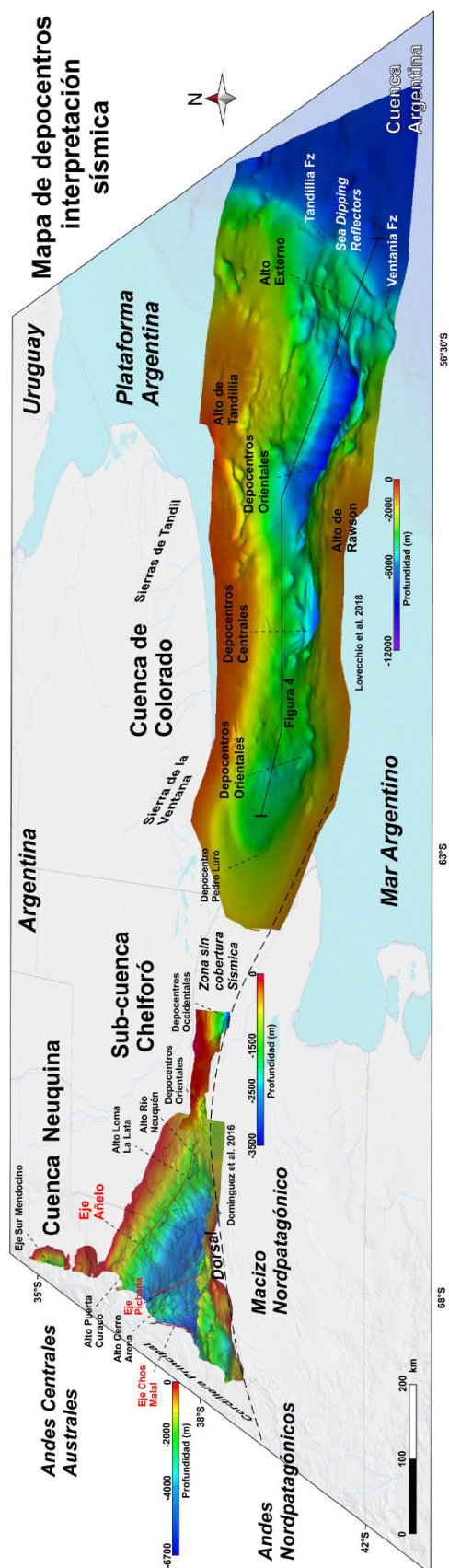


Figura 3. Mapa de espesor al basamento las cuencas de Colorado, Neuquina y la subcuenca de Chelforó, obtenidos a partir de información sísmica.

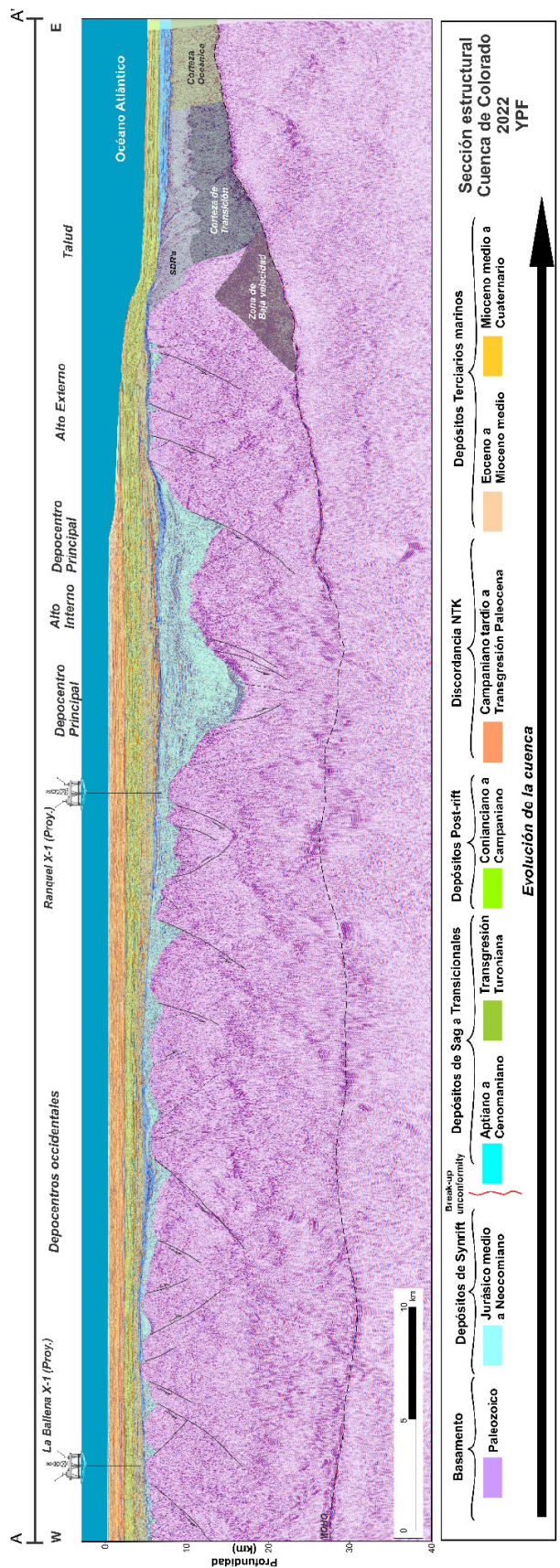


Figura 4. Línea sísmica ION Span localizada en la parte axial de la cuenca de Colorado, nótese la presencia de hemigrábenes jurásicos a lo largo de toda la sección hasta el alto externo inclusive. Modificado de Lovecchio *et al.* (2018). Ver ubicación en figura 3.

El relleno de la cuenca se inicia con rocas volcánicas de espesor variable correspondientes al Ciclo Precuyano (Gulisano, 1981; Llambías *et al.* 2007). El Precuyano posee un espesor variable en toda la cuenca y presenta geometrías sin-extensionales (Gulisano y Gutiérrez Pleimling, 1995; Giambiagi *et al.*, 2008; Carbone *et al.* 2011). A estos depósitos le sobreyacen en discordancia angular el Grupo Cuyo (Pliensbachiano-Calloviano), correspondiente a transgresiones pacíficas, preservadas en facies de offshore, turbiditas, facies de plataforma y depósitos fluviales distales. Nuevamente, el control tectónico presente en esta unidad se ve evidenciado por su alta variación en espesor registrado en el ámbito occidental de la cuenca (Gulisano y Gutiérrez Pleimling, 1995; Vergani *et al.* 1995). Del Jurásico medio al Jurásico tardío, el relleno de la cuenca se encuentra dominado por una etapa de sag, con la depositación del Grupo Lotena, compuesto por secuencias marinas que culminan con un evento de regresivo (Legarreta y Gulisano, 1989). Durante el Jurásico medio a tardío se registra un evento de inversión localizado en la Dorsal de Huincul y el Dorso de los Chihuidos (Sigismondi y Ramos, 2011; Mosquera y Ramos, 2006; Vergani *et al.* 1995, Naipauer *et al.* 2014; Domínguez *et al.* 2020). Durante el Jurásico tardío se deposita el Grupo Mendoza. Esta unidad comienza con unidades continentales en su base (Formación Tordillo) y se ve afectada por una rápida ingresión marina correspondiente a la Formación Vaca Muerta, siendo la principal roca madre de la cuenca (Weaver, 1931; Groeber, 1946; Legarreta y Uliana, 1991; Gulisano y Gutiérrez Pleimling, 1995; Veiga *et al.* 2020). El Grupo Mendoza, culmina con el desarrollo de transgresiones y regresiones correspondientes a la Formación Agrio. Hacia el Aptiano-Barremiano se registra otro evento regresivo correspondiente al Grupo Bajada del Agrio (Leanza *et al.* 2001). Por encima y en forma discordante se depositó el Grupo Neuquén, correspondiente a los primeros depósitos sinorogénicos producto del levantamiento de la Cordillera de los Andes (Tunik *et al.* 2010; Fenell *et al.* 2017). A esta unidad le sobreyace el Grupo Malargüe (Mastrichtiano-Daniano), correspondiente a la primera ingresión Atlántica registrada en la cuenca (Aguirre-Urreta *et al.* 2010). Por encima se registra un Neógeno sinorogénico restringido a pequeñas cuencas de piggy-back en la faja plegada y corrida (Zamora Valcarce *et al.* 2006), y un Terciario volcánico con signatura geoquímica de arco, el cual se hace más importante hacia el oeste (Kay *et al.* 2006; Spagnuolo *et al.* 2012).

En la misma Figura 5 y a partir de datos sísmicos es posible reconocer en la sub-cuenca de Chelforó hemigrabenos rellenos con posibles secuencias Precuyanas (por su geometría y carácter sísmico) y quizás secuencias pertenecientes al Grupo Cuyo colmatando estructuras extensionales. Por encima y en discordancia angular, se podrían albergar secuencias de sag, que por geometría y carácter sísmico, podrían ser equivalentes a las Formaciones: Tordillo (Grupo Mendoza), Loma Montosa y Centenario, estas últimas se interdigitan lateralmente con la Formación Agrio (Grupo Mendoza) hacia el centro de cuenca. El pozo Chelforó Norte es-1 (1981), ubicado en el sector suroeste de la sub-cuenca Chelforó, constató la presencia de las Formaciones Centenario y Punta Rosada (por su respuesta en perfiles), por encima de un basamento metamórfico (Formación

Huechulafquen?). Suprayaciendo a estas unidades el mismo sondeo encontró depósitos asignados a la Formación Rayoso.

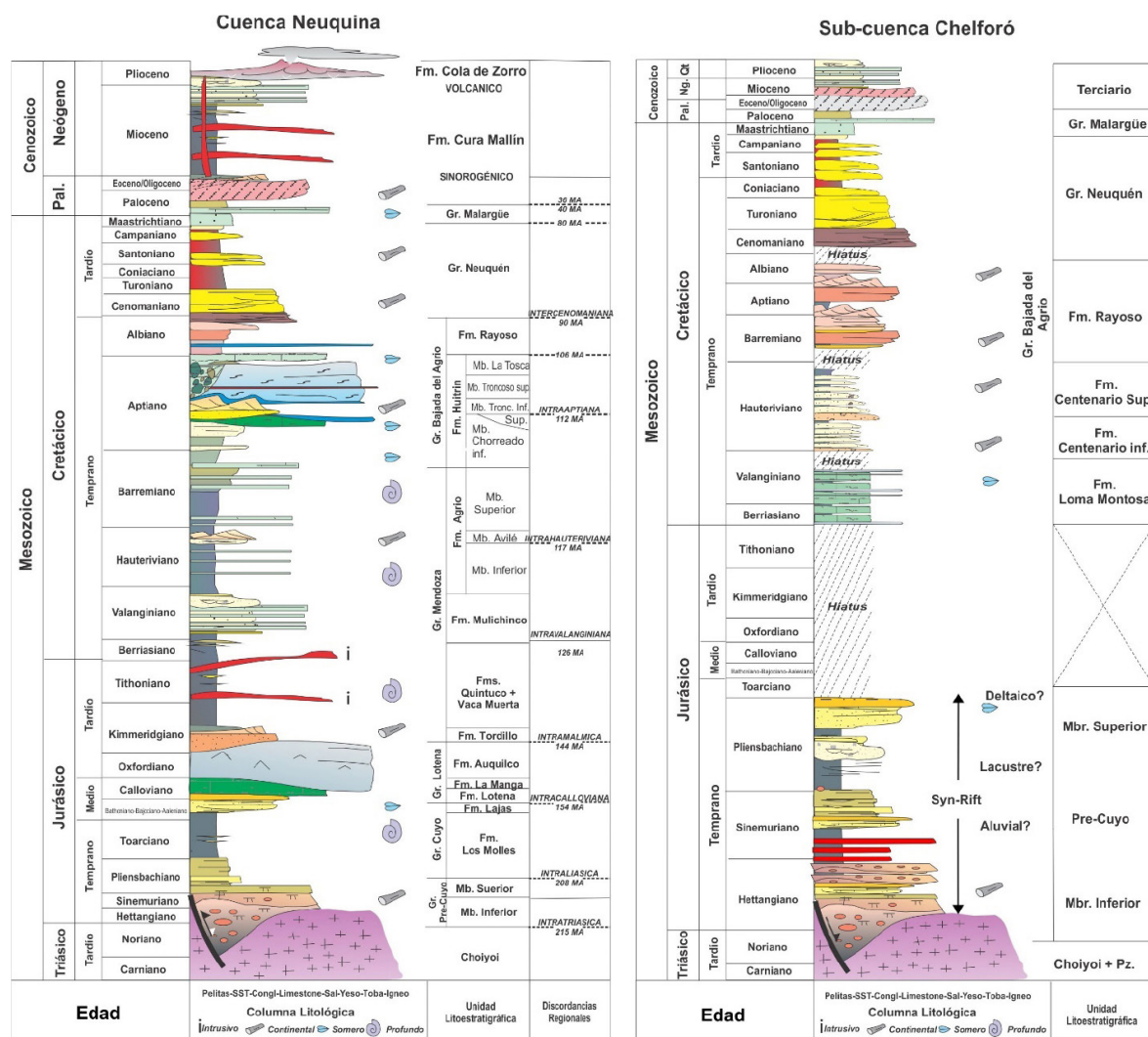


Figura 5. Columnas esquemáticas de la cuenca Neuquina (tomado de Brissón y Veiga, 1999) y la subcuenca de Chelforó.

La columna en la sub-cuenca se completa con los depósitos del grupo Neuquén y el Terciario. Sobre la sub-cuenca de Chelforó aún existen depocentros identificados (depocentros orientales) en sismica y gravimetría que no han sido perforados y se cree albergan una columna más completa a aquella perforada por el pozo Chelforó Norte estudio-1.

La Figura 6 muestra las columnas estratigráficas del depocentro de Pedro Luro y la Cuenca de Colorado.

El depocentro de Pedro Luro fue explorado por el pozo Pedro Luro x-1 (Ba.PL.X-1, Figura 2) en 1945, alcanzando una profundidad de 3278 metros. Si bien en el legajo de pozo original

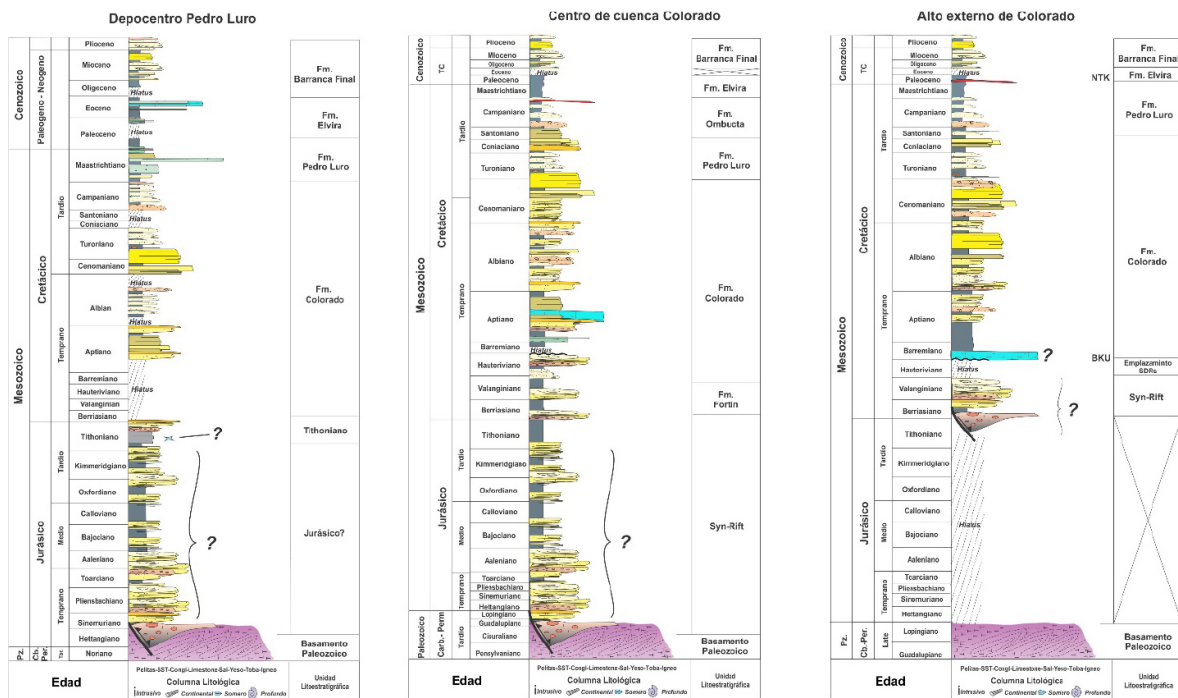


Figura 6. Columnas esquemáticas del depocentro de Pedro Luro y la Cuenca de Colorado.

se describe a la unidad más profunda constatada como paleozoica, estudios de palinología posteriores asignarían una edad titoniana a esta unidad (Salas, 1978). Como puede observarse en la Figura 2 el pozo no se encuentra en la parte más profunda del depocentro lo cual abre la posibilidad de alcanzar unidades más antiguas hacia al sur. Dada esta situación, se interpreta que el depocentro de Pedro Luro podría albergar secuencias jurásicas aún no testeadas. Por encima del Titoniano, se acumularon las areniscas continentales de la Formación Colorado, (Welsink, 2010). Hacia el techo de esta unidad estudios de palinología arrojan una edad Campaniana (Pérez Panera *et al.* 2018). Sobreyacen a esta unidad los depósitos de la Formación Pedro Luro, integrada por pelitas transgresivas Mastrichtianas (equivalentes al Grupo Malargüe de la cuenca Neuquina). La secuencia transgresiva continua con la Formación Ombucta (Kaasschieter, 1963), interdigitada lateralmente con la Formación Elvira compuesta por pelitas transgresivas con bancos arenosos (Lesta *et al.* 1978).

El registro sedimentario del depocentro Pedro Luro culmina con los depósitos de la Formación Barranca, correspondiente a depósitos clásticos finos a muy finos, areniscas glauconíticas, carbonatos y tobas del Oligoceno tardío -Mioceno (Kaasschieter, 1963).

La columna de la Cuenca de Colorado fue modificada de Welsink (2010), Gerster *et al.* (2011) y Lovecchio *et al.* (2018). Si bien no existen actualmente pozos más allá del Jurásico perforado en altos estructurales, en sismica se reconocen depocentros de hasta 8 km de profundidad. Se cree que la cuenca se desarrolló sobre un basamento paleozoico, por encima del cual se depositaron

espesas secuencias de synrift compuesta de bancos rojos y depósitos lacustres (Lesta *et al.* 1978; Fryklund *et al.* 1996), de edad Jurásica media a superior. Por encima, se depositó la Formación Fortín compuesta por pelitas y areniscas del Berriansiano- Valanginiano (Loefering *et al.* 2013). A esta unidad le sobreyacen los depósitos cretácicos continentales de la Formación Colorado y al igual que en el depocentro Pedro Luro, la sedimentación continuó con las Formaciones Pedro Luro, Ombucta, Elvira y Barranca Final hacia el techo de la secuencia.

En líneas generales se puede observar que la columna estratigráfica de la sub-cuenca de Chelforó, se relaciona a la Cuenca Neuquina dada su disposición espacial y su cercanía, es lógico pensar que se depositaron unidades equivalentes o similares. Por otra parte, el depocentro Pedro Luro, presenta una geología más afín a la cuenca de Colorado. Entre la sub-cuenca de Chelforó y el depocentro de Pedro Luro la gravimetría muestra el desarrollo de bajos gravimétricos alterados por la presencia de anomalías positivas circulares (Figura 2). Es justamente en esta posición, en donde no hay perforaciones, ni registros sísmicos, en donde se podría inferir la transición entre ambas cuencas.

Los altos relativos, correspondientes a anomalías circulares presentes al oeste del depocentro de Pedro Luro, podrían estar relacionadas a la presencia de intrusivos correspondientes al arco magmático norte, integrado por granitoides metaluminosos pérmicos aflorantes al sur del ámbito de la Dorsal de Huincul (Ramos *et al.* 2008; Martínez Dopico *et al.* 2011). Dicha faja de granitos posee el ancho del Golfo de San Matías (100 km) y se extiende desde la costa Atlántica pasando por las localidades de Sierra Grande, Nahuel Niyeu, Piedra del Águila hasta Junín de los Andes en el sector andino.

Transecta Regional

A partir de la integración de la geología de superficie, líneas sísmicas de offshore y continentales, datos de pozo e información gravimétrica, se realizó una transecta continental (Figura 7), donde se muestra la relación entre las Cuencas de Colorado, sub-cuenca de Chelforó y Neuquina.

En la cordillera de la costa en Chile, el Paleozoico preservado se encuentra afectado por metamorfismo asociado al comienzo de la subducción en el Jurásico (Willner *et al.* 2005, 2008). En territorio chileno, la continuación de la Cordillera Principal Neuquina preserva intrusivos que corresponden a las raíces del arco magmático Jurásico producto del desarrollo de una zona de subducción. Al oeste del paso de Pino Hachado, sobre territorio chileno, en la sierra de Rankulöm, aparecen depósitos volcaniclasticos de la Formación Nacientes del Bío-Bío, son equivalentes en edad al intervalo de tiempo desarrollado entre el Grupo Cuyo y base del Grupo Mendoza (Rojas Vera *et al.* 2014). Ya en territorio argentino, los depósitos Jurásicos más occidentales corresponden al Grupo Cuyo, con las Formaciones Los Molles y Lajas que afloran en la parte interna de la faja plegada y corrida del Agrio, al este de la localidad de Loncopué. Más hacia el este, datos proce-

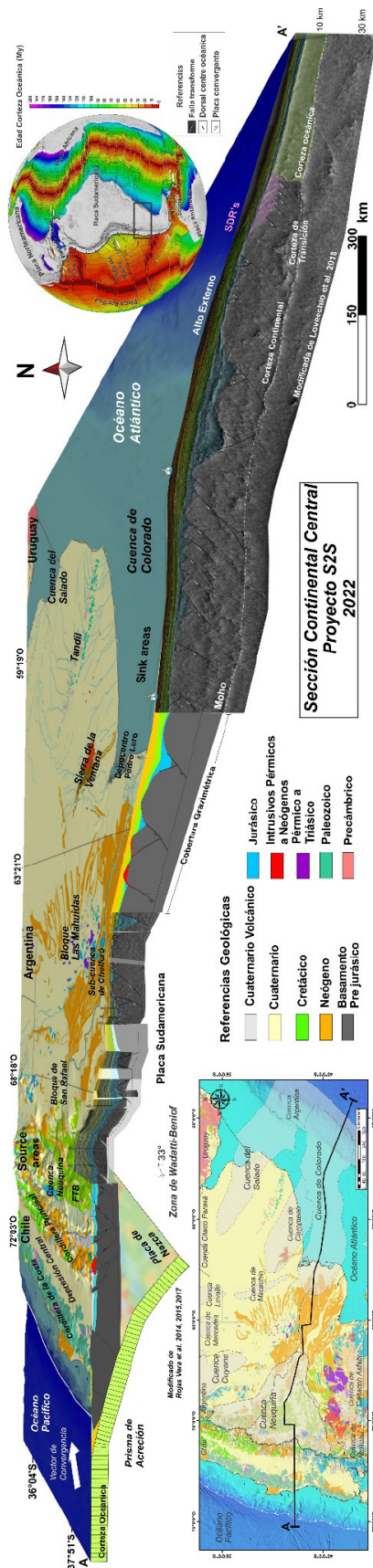


Figura 7. Transecta continental integrada entre la Cordillera de Los Andes y la plataforma continental Argentina. Las geometrías de la zona de subducción y la faja plegada del Agrio está modificada de Rojas Vera *et al.* (2014). Desde la faja plegada hacia la subcuenca de Chelforó la geometría está basada en interpretación sísmica. Entre el depocentro Pedro Luro y las líneas sísmicas de Chelforó, como la geometría obtenida a partir de la interpretación de la gravimetría. Sobre el margen continental Argentino, la geometría fue modificada de la interpretación de Lovecchio *et al.* 2018.

dentos de la gran cantidad de sondeos prospectivos indican la existencia de múltiples depocentros con rocas jurásicas (Pángaro *et al.*, 2009). Por correlación a lo largo de líneas sísmicas es posible continuar la presencia de depósitos Jurásicos hacia el este, en el ámbito de la sub-cuenca de Chelforó. Más al este, sólo se cuenta con datos gravimétricos hasta el depocentro de Pedro Luro, que se interpreta como parte de los depocentros iniciales de la cuenca del Colorado. Los depocentros extensionales de esta cuenca no han sido perforados, pero desde el punto de vista regional se puede asumir una edad Triásica superior a Jurásica inferior. Estos depocentros están separados por altos de basamento. Los datos sísmicos indican que estos depocentros incrementan su profundidad hacia el este. El depocentro más oriental está limitado por horst de gran *magnitud* (Alto externo) que separa a la cuenca del Colorado de la cuenca Argentina, siendo ésta última la cuenca asociada a los procesos de ruptura continental final y la evolución a un margen pasivo maduro. La Figura 4, muestra en una línea sísmica regional, los diferentes depocentros separados por altos internos, con profundización creciente en dirección al este.

CONCLUSIONES

Mediante el análisis regional de las diferentes bases de datos (geología de superficie, datos de pozos, líneas sísmicas y gravimetría), se constató la presencia de depocentros Jurásicos desarrollados entre el margen continental Argentino (Cuenca de Colorado) y la cordillera de los Andes (Cuenca Neuquina y sub- cuenca Chelforó). La continuidad de estos depocentros en profundidad pareciera estar relacionada a una estructura cortical de primer orden como la sutura entre Patagonia (Dorsal de Huincul) y los terrenos desarrollados hacia el norte (terrenos de Chilenia, Cuyania, Pampia, Cratón del Río de la Plata). De este modo, la ubicación de estos depocentros estaría controlado por antiguas suturas (Ramos, 2008; Ramos y Aleman 2000; Bechis *et al.* 2014). La dirección extensional de apertura de estos depocentros pareciera estar controlada por fallas de rumbo NO-SE e inclinación al NE-SW, similar a la que marcó los inicios de la deformación extensional en la cuenca de Colorado (Lovecchio *et al.* 2018).

La sub-cuenca de Chelforó pareciera estar más íntimamente ligada a la sedimentación de la Cuenca Neuquina que a la Cuenca del Colorado, aunque no se descarta la posibilidad de que exista interdigitación de depósitos en sus depocentros orientales. Por otra parte, el extremo oriental de esta sub-cuenca presenta depocentros controlados por fallas de rumbo E-O y vergencia N-S, Figura 7. Una dirección de extensión en sentido N-S, sería similar a de la etapa de extensión Jurásica inferior a media identificada por Lovecchio *et al.* (2018), en los depocentros centrales de la Cuenca de Colorado (Figura 4). El depocentro de Pedro Luro pareciera estar más relacionado a la Cuenca de Colorado que a la Cuenca Neuquina.

La integración de la gravimetría con sísmicas y datos de pozos muestra que aún quedan depocentros Jurásicos sin perforar. Tanto el pozo Pedro Luro X-1 como el pozo Chelforó N-1, se

encuentran fuera de las zonas más profundas visualizadas a partir de datos sísmicos y gravimétricos.

El área comprendida entre Chelforó y el depocentro de Pedro Luro, podría albergar depocentros jurásicos, enmascarados por la respuesta gravimétrica de cuerpos plutónicos en profundidad, como es evidenciado por las geometrías de intrusivos observadas en la gravimetría. Estas rocas podrían pertenecer al arco magmático norte del Pérmico superior (Ramos, 2008), que afloran en las inmediaciones de Valcheta y Sierra Grande. La integración regional de datos geológicos, geofísicos y de pozos muestran ser una herramienta de primer orden para la exploración de áreas de frontera. De esta manera se plantea la posibilidad de la existencia de plays Jurásicos que aún no han sido perforados en la sub-cuenca de Chelforó y el depocentro de Pedro Luro.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecemos a YPF por la autorización a la publicación del mismo. También a los revisores Dra. Natalia Hernandez y Lic. Gustavo Vergani, quienes con sus comentarios y discusiones mejoraron la calidad del manuscrito.

REFERENCIAS CITADAS

- Bechis, F., Cristallini, E., Giambiagi, L. Yagupsky, D.L., Guzmán, C. G. y García, V.H., 2014. Trans-tensional tectonics induced by oblique reactivation of previous lithospheric anisotropies during the Late Triassic to Early Jurassic rifting in the Neuquén basin: insights from analog models. *Journal of Geodynamics* 79, pp. 1–17.
- Brissón, I. y Veiga, R., 1999, La estratigrafía y estructura de la Cuenca Neuquina. Gira de campo. Repsol-YPF. Informe inédito, Buenos Aires.
- Carbone, O., Franzese, J., Limeres, M., Delpino, D., Martínez, R. 2011. El ciclo Precuyano (Triásico Tardío- Jurásico Temprano) en la cuenca Neuquina. En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danielli, J.C., Valles, J. (Eds.), *Geología y recursos naturales de la provincia del Neuquén*, 18th Congreso Geológico Argentino, Asociación Geológica Argentina, Relatorio, pp. 63-76.
- Carmen I. Martínez Dopico, Mónica G. López de Luchi, Augusto E. Rapalini, Ilka C. Kleinhanns, 2011. Crustal segments in the North Patagonian Massif, Patagonia: An integrated perspective based on Sm–Nd isotope systematics, *Journal of South American Earth Sciences* 31, pp. 324-341. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2010.07.009>.
- Cristallini, E., R. Tomezzoli, G. Pando, C. Gazzera, J. M. Martínez, J. Quiroga, M. Buhler, F. Bechis, S. Barredo, y O. Zambrano, 2009. Controles precuyanos en la estructura de la Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65, pp. 248–264.
- 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), *Open-*

- ing and Closure of the Neuquén Basin in the Southern Andes. Springer Earth System Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29680-3_1.
- Domínguez, R. F., Fantín, M.A., Cristallini, E., 2017. Configuración Morfo-estructural de la Cuenca Neuquina durante la depositación del sistema Vaca Muerta-Quintuco. XX Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Domínguez, R. F., H. A. Leanza, M. Fantín, D. Marchal, and E. Cristallini, 2019, Basin configuration at Vaca Muerta time. En Minisini, D. Fantin, M. Lanusse, I. y Leanza, H. A. (Eds.), Integrated geology of unconventional: The case of the Vaca Muerta play, Argentina: AAPG Memoir 120.
- Fennell, L.M., Folguera, A., Naipauer, M., Gianni, G., Rojas Vera, E.A., Bottesi, G. and Ramos, V.A. 2017. Cretaceous deformation of the southern Central Andes: synorogenic growth strata in the Neuquén Group (35°-30'-37°). Basin Research 29, pp. 51-72.
- Fryklund, B., Marshall, A. y Stevens, J., 1996. Cuenca del Colorado. En: Ramos, V.A., Turic, M.A. (Eds.), XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos. pp. 135.
- Gerster, R., Welsink, H., Ansa, A., Raggio, F., 2011. Cuenca de Colorado. VIII Congreso Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos Simposio. Cuenas Argentinas visión actual 65-80.
- Giambiagi, L.B., Bechis, F., García, V.H., y Clark, A.H., 2008. Temporal and spatial relationships of thick- and thin-skinned deformation: a case study from the Malargüe fold-and-thrust belt, southern Central Andes. Tectonophysics 459, pp. 123-139.
- Gómez Tapias, J., Sochobbenhaus, C., Montes Ramíres, N. E., 2019. Geological map of South America. Commission de la carte geologique du Monde.
- Groeber, P., 1946, Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70°. Hoja Chos Malal. Revista de la Sociedad Geológica Argentina 1, pp. 177-208.
- Gulisano, C. A., 1981, El ciclo Cuyano en el norte de Neuquén y sur de Mendoza. VIII congreso Geológico Argentino. Actas III, p. 579-592. San Luis.
- Gulisano, C. A., Gutierrez Pleimling, A. R., 1995. Field guide: The Jurassic of the Neuquén basin. a) Neuquén province. Secretaría de Minería de la Nación. Publicación 158, pp. 1-111.
- Hervé, F., Calderón, M., Fanning, C.M., Pankhurst, R.J., Godoy, E., 2013. Provenance variations in the Late Paleozoic accretionary complex of central Chile as indicated by detrital zircons. Gondwana Research 23 (3), pp. 1122-1135.
- Kaasschieter, J.P.H., 1963. Geology of the Colorado basin. Tulsa Geological Society 31, pp. 177-187.
- Kay, S., Burns, W., Copeland, P.C. y Mancilla, O., 2006. Upper Cretaceous to Holocene magmatism and evidence for transient Miocene shallowing of the Andean subduction zone under the northern Neuquén Basin. En: Kay, S., Ramos, V.A. (Eds.), Evolution of an Andean Margin: A Tectonic and Magmatic View from the Andes to the Neuquén Basin (35-39°S Lat.), Geological Society of America, Special Paper 407. pp.19-60.
- Kostadinoff, J., Gregori, D.A., Raniolo, A., 2005. Configuración geofísica-geológica del sector norte de la provincia de Río Negro. Revista de la Asociación Geológica Argentina 60 (2).

- Kress, P., Silio, O., Rojas Vera, E., A., Späth, F., Bolatti, N., 2022. Reinterpretación estructural de la faja extensional de Rawson Valdés. XXI Congreso Geológico Argentino. Virtual.
- Leanza, H. A., C. A. Hugo, and D. Repol, 2001, Hoja geológica 3969-I, Zapala, provincia del Neuquén: Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina a escala 1: 250.000, Buenos Aires, Argentina, Instituto de Geología y Recursos Naturales. Servicio Geológico Minero Argentino 275, 128 pp.
- Legarreta, L., y Gulisano, C. A., 1989, Análisis estratigráfico secuencial de la cuenca neuquina (Triásico Superior-Terciario Inferior), Argentina. En Chebli G. A. y Spalletti, L. A., (Eds.), Cuencas Sedimentarias Argentinas: Serie correlación Geológica 6, pp. 21-243.
- Legarreta, L., y Uliana, M. A. 1991, Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of back-arc basin fill, central Argentine Andes: International Association of Sedimentology Special Publication 12, pp. 429-450.
- Llambías, E. J., H. A. Leanza, and O. Carbone, 2007, Evolución tectono-magmática durante el Pérmico al Jurásico temprano en la Cordillera del Viento (37°59'S-37°59'S): Nuevas evidencias geológicas y geoquímicas del inicio de la Cuenca Neuquina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 62 (2), pp. 217-235.
- Loegering, M.J., Anka, Z., Autin, J., di Primio, R., Marchal, D., Rodriguez, J.F., Franke, D. y Vallejo, E., 2013. Tectonic evolution of the Colorado Basin, offshore Argentina, inferred from seismo-stratigraphy and depositional rates analysis. Tectonophysics 604, 245-263. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.02.008>
- Lovecchio, J.P., Rohais, S., Joseph, P., Bolatti, N.D., Kress, P.R., Gerster, R. y Ramos, V.A., 2018. Multistage rifting evolution of the Colorado basin (offshore Argentina): Evidence for extensional settings prior to the South Atlantic opening. Terra Nova, 30, pp. 359-368.
- Manceda, R. y Figueroa, D., 1995. Inversion of the Mesozoic Neuquén Rift in the Malargüe fold and thrust belt, Mendoza, Argentina. En Tankard, A. J. (Eds.). Petroleum Basins of south America, American Association of Petroleum Geologists Memoir 62, pp. 369-382.
- Mosquera, A. y Ramos, V.A., 2006. Intraplate deformation in the Neuquén Embayment. En: Kay, S.M., Ramos, V.A. (Eds.), Evolution of an Andean Margin: a tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35-39°S Lat), Geological Society of America, Special Paper 407. pp. 97-125.
- Naipauer, M., García Morabito, E., Marques, J.C., Tunik, M., Rojas Vera, E., Vujovich, G.I., Pimentel, M.P. y Ramos, V.A., 2012. Intraplate Late Jurassic deformation and exhumation in western central Argentina: constraints from surface data and U-Pb detrital zircon ages. Tectonophysics 524, pp.59-75.
- 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: Folguera *et al.* (Eds.), The evolution of the Chilean-Argentinean Andes, Springer Earth System Sciences, pp. 191-221.
- Naipauer, M., Tunik, M., Marques, J. C., Rojas Vera, E.A., Vujovich, G. I., Pimentel, M. M. y Ramos, V.A., 2014. 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. En Sepúlveda, S. A., Giambiagi, L. B., Moreiras, S. M., Pinto, L., Tunik, M., Hoke, G. D. & Farías, M. (Eds.), *Geodynamic Processes in the Andes of Central Chile and Argentina*. Geological Society, London, Special Publications, 399, <http://dx.doi.org/10.1144/SP399.1>
- Pángaro, F., Pereira, D.M., Micucci, E., 2009. El sinrift de la Dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina: Evolución y control sobre la estratigrafía y estructura del área. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65 (2), pp. 265-277.
- Pángaro, F., Ramos, V.A. and Pazos, P.J. 2016. The Hesperides basin: a continental -scale upper Palaeozoic to Triassic basin in southern Gondwana. *Basin Research* 28(5), pp. 685-711.
- Pérez Panera, J.P., Ronchi, D., Angelozzi, G.N., Lovечchio, J.P., Calvo-Marcilese, L., Hiriart, M.L., Tortora, L., Calaramo, N., Cuciniello, C.D., 2018. Synthesis of the Colorado basin, Argentine Offshore integrated Biostratigraphic and Palaeoenvironmental Analysis. Berisso.
- Ramos, V. A. 1978, Estructura. Relatorio de la Geología y Recursos Naturales del Neuquén. VII Congreso Geológico Argentino. pp. 99-118. Buenos Aires
- Ramos, V.A., 2008. Patagonia: A paleozoic continental adrift? *Journal of South American Earth Sciences*. 26: 235-251.
- Ramos, V.A. 2018. The Famatinian orogen along the protomargin of Western Gondwana: Evidence for a nearly continuous Ordovician magmatic arc between Venezuela and Argentina. En Folguera *et al.* (Eds.), *The evolution of the Chilean-Argentinean Andes*, pp. 133-165.
- Ramos, V. y Folguera, A., 2005. Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation. En: Veiga, G., Spalletti, L., Howell, J., Schwarz, E. (Eds.), *The Neuquén Basin: a Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*, Special Publication 252. Geological Society of London, pp. 15-35.
- Ramos, V.A., Mosquera, A., Folguera, A., García Morabito, E., 2011. Evolución tectónica de los Andes y del engolfamiento Neuquino adyacente. En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danielli, J.C., Valles, J. (Eds.), *Geología y recursos naturales de la provincia del Neuquén*, 18th Congreso Geológico Argentino, Asociación Geológica Argentina, Relatorio, pp. 335-348.
- Ramos, V. A. y Aleman, A., 2000. Tectonic Evolution of the Andes. En: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), *Tectonic evolution of South America*, pp. 635-685.
- Ramos, V. A., Naipauer, M. Leanza, H. A. y Sigismundi, M. E., 2019. The Vaca Muerta Formation of the Neuquén Basin: An Exceptional Setting along the Andean Continental Margin. En Minisini, D., Fantin, M., Lanusse, I. y Leanza, H. (eds.), *Integrated geology of unconventional: The case of the Vaca Muerta play, Argentina: AAPG Memoir* 120. DOI: 10.1306/13682222M1202855.
- Rojas Vera, E. A., Folguera, A., Zamora Valcarce, G., Bottesi, G. y Ramos, V.A. 2014. Structure and development of the Andean system between 36-39°: The case of an extensionally reactivated orogen. *Journal of Geodynamics* 73 (1), pp.34-52.
- Rojas Vera, E.A., Mescua, J., Folguera, A., Becker, T.P., Sagripanti, L., Fennell, L., Orts, D. y Ramos V.A. 2015. Evolution of the Chos Malal and Agrio fold and thrust belts, Andes of Neuquén: insights from structural analysis and apatite fission track dating. 64(2), pp. 418-433.

- Rojas Vera E., Mescua, J., Folguera, A., Sagripanti L., Fenell, L., Orts, D. y Ramos, V., A. 2017. Evolución faja plegada y corrida del Agrio: integrando datos superficiales y trazas de fisión. XX Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán. Argentina.
- Salas, 1978. Estudio palinológico pozo Pl-1 (Pedro Luro), Pcia. de Bs. A.s. entre los 2474 y los 3270 mbbp. Informe inédito YPF.
- Sandwell, D. T., R. D. Müller, W. H. F. Smith, E. Garcia, R. Francis, 2014 New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure, *Science*, Vol. 346, no. 6205, pp. 65-67, <https://doi.org/10.1126/science.1258213>.
- SEGEMAR, 2018. Mapa geológico del sector continental e insular Americano de la República Argentina. Buenos Aires.
- SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión 1.0, 2003). Santiago.
- Sigismondí, M. E., y Ramos, V. A., 2011. El basamento de la Cuenca Neuquina. En Leanza, H. A., Arregui, C., Carbone, O. Danieli, J. C. y Vallés, J. M. (Eds.), *Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén: XVIII Congreso Geológico Argentino*, Asociación Geológica Argentina, Neuquén, Argentina, 2-6 May, pp. 327-334.
- Spagnuolo, M.G., Folguera, A., Litvak, V., Rojas Vera E.A. y Ramos, V.A. 2012. Late Cretaceous arc expansion in the Southern Central Andes at 36, 5°S: Evidence for two-episodes of slab shallowing during Andean development. *Journal of Geodynamics* 38, pp. 44-56.
- Stipanovic, P. N., 1969, El Avance en los conocimientos del Jurásico argentino a partir del esquema de Groeber. *Revista Asociación Geológica Argentina* 24 (4), p. 367-388.
- Tunik, M., Folguera, A., Naipauer, M., Pimentel, M. y Ramos, V.A., 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, pp. 258-273.
- Turienzo, M., Sánchez, N., Dimieri, L., Lebrinson, F. y Araujo, V., 2014. Tectonic repetitions of the Early Cretaceous Agrio Formation in the Chos Malal fold-and thrust belt, Neuquén Basin, Argentina: geometry, kinematics and structural implications for Andean building. *Journal of South American Earth Sciences* 53, pp. 1-19.
- Uliana, M.A., Biddle, K.T., 1988. Mesozoic-Cenozoic Paleogeographic and Geodynamic Evolution of Southern South America, *Rev. Bras. Geoc.* 18, 2, p 172-190
- 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, pp. 397-420.
- Veiga R.D., Vergani, G.D., Brissón, I.E., Macellari, C.E. y Leanza, H.A., 2020. The Neuquén Super Basin. *AAPG Bulletin* 104, (12), pp. 2521-2555.
- Vergani, G. D., Tankard, A. J., Belotti, H. J. y Welsink, H. J., 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin Argentina. En Tankard, A., Suárez Soroco, J. R. y Welsink, H. J. (Eds.), *Petroleum Basins of South America: AAPG Memoir* 62, pp. 383-402.
- Weaver, C., 1931, *Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina: Memoirs of the University of Washington* 1, pp. 1-496.

- Welsink, H.J., 2010. Regional Tectono-Stratigraphic Framework. Offshore Argentina. Buenos Aires.
- Willner, A.P., 2005. Time Markers for the Evolution and Exhumation History of a Late Palaeozoic Paired metamorphic Belt in North-Central Chile (34°–35°30'S). *Journal of Petrology* 46, pp. 1835–1858.
- Willner, A.P., Gerdes, A. y Massonne, H.-J., 2008. History of crustal growth and recycling at the Pacific convergent margin of South America at latitudes 29°–36°S revealed by a U–Pb and Lu–Hf isotope study of detrital zircon from late Palaeozoic accretionary systems. *Chemical Geology* 253, pp. 114–129, <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.04.016>.
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T., Del Pino, D. y Ansa, A., 2006. Structural evolution and magmatic characteristics of the Agrio fold-and-thrust belt. En Kay, S.M., Ramos, V.A. (Eds.), *Evolution of an Andean Margin: a Tectonic and Magmatic View from the Andes to the Neuquén Basin (35°–39°S Lat)*, Geological Society of America, Special Paper 407, pp. 125–145.

