

# ESTRUCTURA DE LA MARGEN NORTE DEL RÍO GRANDE, BARDAS BLANCAS, PROVINCIA DE MENDOZA

Diego J. DICARLO<sup>1</sup>, Ernesto CRISTALLINI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geopark Argentina. Florida 981 2p., Buenos Aires y Universidad de Buenos Aires, Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, E-mail: ddicarlo@geo-park.com

<sup>2</sup> LAMOGÉ, Universidad de Buenos Aires, Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. E-mail: ernesto@gl.fcen.uba.ar

## RESUMEN

La estructura de Bardas Blancas comprende una región sobrelevada tanto topográfica como estructuralmente, conformada principalmente por estructuras braquianticlinales. Afloran en su núcleo rocas del Grupo Choiyoi y hacia los flancos depósitos sedimentarios jurásicos. El área se encuentra en un frente orogénico no emergente caracterizado por el dominio de zonas de plegamiento, fallas ciegas y el desarrollo de una zona triangular. El estudio de estas estructuras con información de subsuelo y superficie permitió el desarrollo de una sección estructural balanceada basada en el modelo de *trishear*. La sección se basa en el levantamiento de la estructura a partir del desarrollo de fallas de corrimiento de bajo ángulo con vergencia al este despegadas dentro del basamento. El avance de los bloques de basamento habría transmitido parte del acortamiento a la cubierta sedimentaria formándose la zona triangular de Cerro Doña Juana hacia el este. Dentro de la zona triangular se desarrolla un sistema de duplex de techo pasivo generado a partir de un nivel de despegue inferior y otro superior o retrocorrimiento. El retrocorrimiento y los Grupos Rayoso y Neuquén se encuentran volcados, producto del arrastre originado por un corrimiento de vergencia oriental. Hacia el este del retrocorrimiento las secuencias cretácicas superior y terciarias se encuentran desacopladas estructuralmente del Grupo Mendoza.

Palabras clave: *Braquianticlinal, Bardas Blancas, Grupo Choiyoi, trishear, zona triangular, retrocorrimiento*

**ABSTRACT:** *Structure of the northern margin of the Grande river, Bardas Blancas, Mendoza province.*

The Bardas Blancas structure constitutes a topographic height characterized by an important basement anticline. The Choiyoi Group crops out in the middle of the structure and Jurassic sedimentary deposits at both limbs. This structure is the orogenic front at these latitudes and it is characterized by blind thrusts, folding and the development of a triangular zone. The Bardas Blancas structure was studied using surface and sub-surface data and a balanced cross section was constructed using the *trishear* model. The main structures are explained using low angle thrust faults verging to the east and detached within the basement. The movement of huge basement blocks to the east transfers shortening to the sedimentary cover developing the triangular zone of Doña Juana in the front of the structure. Inside the triangular zone a passive roof duplex system is developed controlled by two weak detachment units. The shortening is finally transmitted by a backthrust to the surface. The backthrust and the Rayoso and Neuquén Groups are overturned by the action of an east verging thrust reactivated from the main basement structure. To the east of the backthrust, the Cretaceous and Tertiary deposits are structurally disconnected from the Mendoza Group.

Keywords: *Brachianticline, Bardas Blancas, Choiyoi Group, trishear, triangle zone, backthrust.*

## INTRODUCCIÓN

La faja plegada y corrida ubicada al sur de la provincia de Mendoza, en la localidad de Bardas Blancas, corresponde a un frente orogénico de importante complejidad estructural. En las investigaciones precedentes se han desarrollado numerosos estudios geológicos, modelos e interpretaciones estructurales, sin embargo no existe un consenso generalizado sobre la evolución y el estilo estructural dominante.

Esta zona corresponde al sector externo de la faja plegada y corrida de Malargüe (Kozłowski *et al.* 1993) en donde el Grupo Choiyoi participa en la deformación, dando como resultado un estilo estructural de piel

gruesa (*thick-skinned*). El frente orogénico pasa a ser no emergente y se asocia a una extensa zona triangular con un despegue pasivo en la Formación Huitrín (Kozłowski *et al.* 1993). La estructuración actual es el resultado de una compleja historia geológica ocurrida en el ciclo ándico cuya tectónica compresional se caracterizó por la incorporación del basamento en la deformación (Płoszkiewicz 1988, Dimieri 1997, Manceda *et al.* 1992, Nocioni 1996, Silvestro y Kraemer 2005) y el desarrollo de un importante volcanismo de retroarco (Bermúdez *et al.* 1993).

Son numerosos los modelos estructurales realizados para comprender el estilo de la deformación y las características tectónicas de la zona, impulsados en parte, por las

importantes expectativas petroleras de la región (Manceda *et al.* 1992, Dimieri y Nullo 1993, Manceda y Figueroa 1995, Nocioni 1996, Dimieri 1997, Giampaoli *et al.* 2005, Silvestro y Kraemer 2005, Fantin 2006). Płoszkiewicz (1988) postuló en la propuesta de perforación del pozo exploratorio PF.MdN.C° DJ.x-1 un esquema estructural de zona triangular definida como una zona comprendida entre un retrocorrimiento y un corrimiento basal. Płoszkiewicz y Gorroño (1988) realizaron un esquema secuencial evolutivo de la imbricación de un apilamiento antiformal de dúplex, el empuje producido por el flujo tectocinético de las evaporitas y el desarrollo de retrocorrimientos. Kozłowski *et al.* (1989) proponen un modelo geológico basado en la repetición

del Grupo Choiyoi mediante fallas de bajo ángulo para una zona al sur de Bardas Blancas. Manceda *et al.* (1992) presentaron un modelo estructural en donde se resuelve el flanco oriental del anticlinal de Bardas Blancas mediante fallas de bajo ángulo y múltiples escamas del basamento.

El presente trabajo constituye un resumen del trabajo final de licenciatura de Dicarlo (2005) que comprende el estudio geológico y estructural de la zona de Bardas Blancas en la margen norte del río Grande, entre los paralelos 35°54' y 35°40' de latitud sur y los meridianos 69°54' y 69°37' de longitud oeste (Figs. 1 y 2). En esta región se ubican los yacimientos de hidrocarburos Cerro Doña Juana y Loma Cortaderal.

## METODOLOGÍA

El estudio geológico se realizó sobre la base de imágenes Landsat TM, fotos aéreas a escala 1:50.000, datos estratigráficos y estructurales obtenidos en el campo, en pozos y secciones sísmicas e información cartográfica y geológica preexistente. Para caracterizar los depósitos se realizaron perfiles geológicos mediante el uso de brújula, cinta métrica y mediciones GPS.

Para realizar la sección estructural se proce-

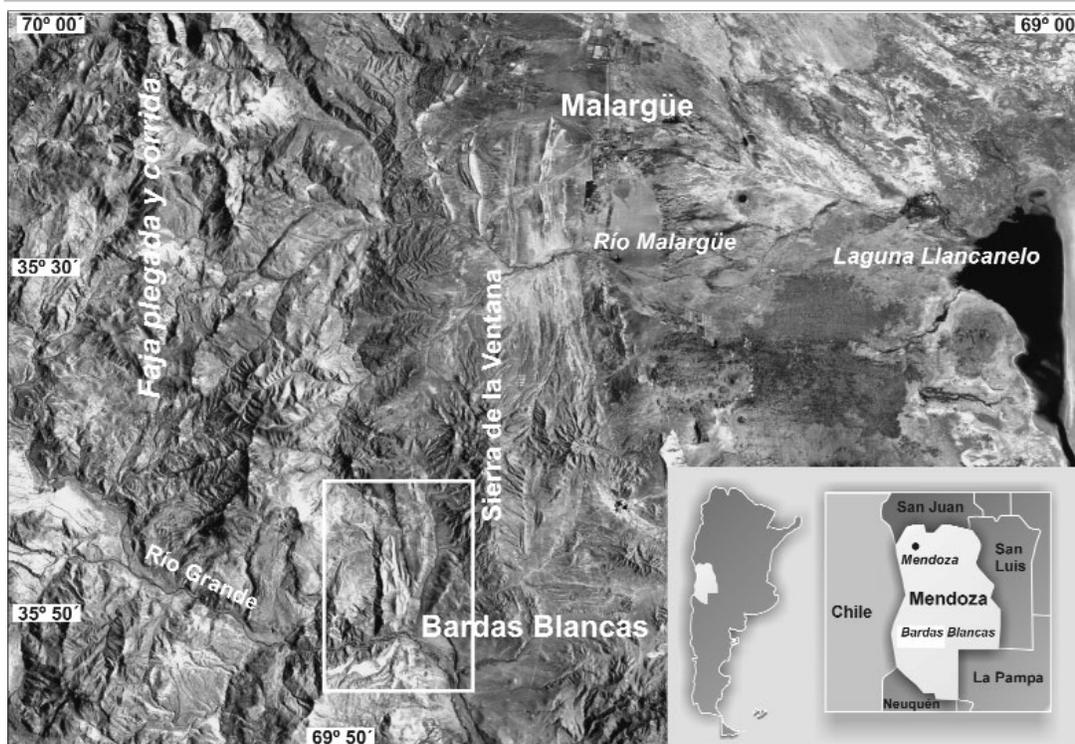
dió en un primer paso a la interpretación de líneas sísmicas, con las que se definió la geometría externa de la zona triangular a partir de las características estructurales mayores y los niveles de despegue principales. De los sondeos exploratorios se obtuvieron los buzamientos de las capas y los pases formacionales y fueron tomados como puntos de control para la configuración de la zona triangular. El control en superficie se realizó con los datos de rumbo e inclinación de los estratos y la distribución de las unidades estratigráficas obtenidas en el campo.

El modelado de la sección estructural balanceada fue realizado en varios pasos y utilizando diferentes técnicas y modelos teóricos:

*Primera etapa:* Se utilizó el modelo de cizalla triangular (*trishear* de Erslev, 1991) para modelar a gran escala el plegamiento de las rocas de basamento y cobertura sedimentaria. Estas últimas incluyen rocas con comportamiento dúctil en parte de la secuencia. En los pliegues de propagación de falla de cizalla triangular (*trishear*) los limbos son curvos y se producen cambios de espesor en los bancos, ya que el movimiento del material dentro de la zona de cizalla tiene una componente oblicua al plano de falla y estratificación. Asimismo la deformación

dentro de esta zona no es homogénea, por lo cual no se conserva el paralelismo de las líneas. Si bien el modelo está balanceado por áreas, no lo está por longitud de líneas. La disposición y los espesores del basamento y los bancos fueron graficados en Autocad y luego exportados al programa PLIEGUES 2D Versión 3 basado en el modelo de trishear. Se modeló la estructura de la zona, aplicando una serie de fallas y se fijó el ápice del triángulo de cizalla a la pared basal (relaciones propagación/desplazamiento bajas) de modo de involucrar al basamento en la deformación. Luego se fueron variando los parámetros hasta lograr obtener el modelo que mejor se adapte a los datos (véase figura 3). La geometría final de los bancos y fallas fue suavizada para la sección estructural.

*Segunda etapa:* Se resolvió en detalle la deformación dentro de la zona triangular a partir de las geometrías y los volúmenes balanceados obtenidos en la primera etapa, la incorporación de los datos de pozo y superficie, y modelos teóricos aplicando pliegues por despegue (*detachment folds*) (Poblet y McClay 1996, Ploszkiewicz y Gorroño 1988), sistemas de duplex (*duplex system*) y corrimientos hacia fuera del sinclinal (*out-of-syncline thrust*).



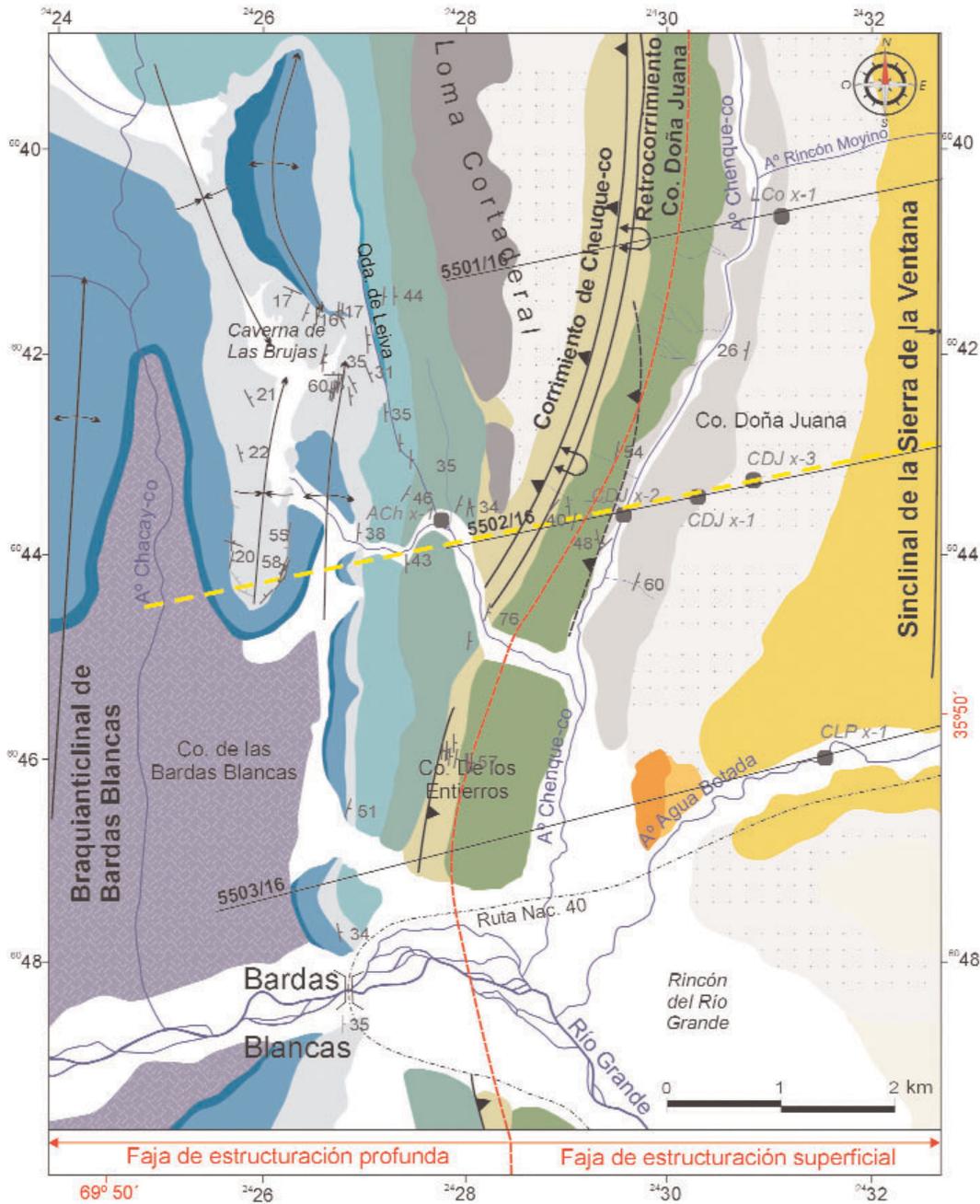
**Figura 1:** Ubicación del área en una imagen Landsat TM. El recuadro delimita la zona de estudio.

# ESTRATIGRAFÍA

La comarca presenta un importante registro

estratigráfico con amplia exposición de los afloramientos en el área de estudio, que abarca desde el Permo-Triásico hasta el Cua-

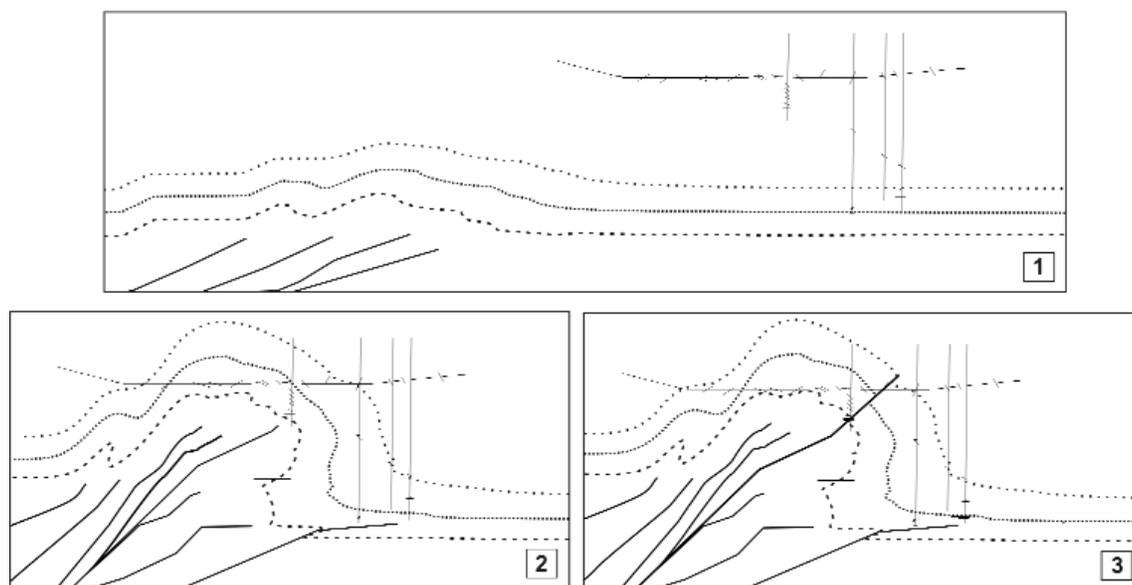
ternario. La descripción de estas unidades es de importancia por la influencia y control que ejercen los cambios de facies y espeso-



REFERENCIAS

Aluvio	Fm. Agua de la Piedra	Fm. Vaca Muerta	Sinclinal	Corrimiento
Escombro de Faldeo	Fm. Pircala Coihueco	Fm. Tordillo	Anticlinal	Retrocorrimiento
Piedemonte	Fm. Roca	Fm. La Manga	Sinclinal volcado	Corte estructural
Ignimbritas y tobas	Gr. Neuquén	Fm. Bardas Blancas	Anticlinal volcado	Línea sísmica
Andesitas	Gr. Rayoso	Fm. Remoredo		Sondeo
Fm. Loma Fiera	Fm. Agrio	Gr. Choiyoi		

**Figura 2:** Mapa geológico-estructural de la zona de estudio. Coordenadas Gauss-Kruger Argentina, Faja 2. Modificado de Dicarlo (2005).



**Figura 3:** Primera parte del modelado con el programa Pliegue 2D. Pueden observarse tres etapas de deformación como resultado de la propagación de numerosas fallas.

res en la deformación. En la figura 4 se muestra un perfil estratigráfico levantado entre el Grupo Choiyoi y el Grupo Neuquén.

El Permo-Triásico consiste en una potente secuencia de mantos ignimbríticos del Grupo Choiyoi (Stipanovic 1965), que constituyen un extenso plateau volcánico, compuesto por andesitas, dacitas, brechas, tobas, lavas e ignimbritas. Constituye el basamento de la Cuenca Neuquina y cuando se involucra en la deformación junto con las rocas suprayacentes es el responsable de una fuerte deformación e importantes ascensos a la faja plegada y corrida de piel gruesa.

Por encima y en discordancia se apoyan los depósitos clásticos y volcánocásticos de la Formación Remoredo (Groeber *et al.* 1953, Stipanovic 1965). Compuesto por pelitas y areniscas tobaceas, conglomerados e intercalación de tobas e ignimbritas depositados en un ambiente de abanicos aluviales y barreales.

A su vez, suprayace en discordancia la Formación Bardas Blancas (Gulisano 1981, Sanci 2005) perteneciente al Grupo Cuyo y formada por una sucesión arenosa de facies de playa y plataforma, dominadas por tormentas. Se presenta con un espesor de 150 metros.

El Grupo Lotena se encuentra limitado en techo y base por dos discordancias y corresponde a tres secuencias depositacionales analizadas por Gulisano *et al.* (1984): depósitos clásticos continentales y marinos co-

nocidos como Formación Lotena, otra intermedia de facies turbidíticas de centro de la cuenca sobre la que prograda una plataforma carbonática que corresponde a la Formación La Manga (Yrigoyen 1972, Palma 2005), y por último un episodio de desecación asociado al desarrollo de evaporitas de la Formación Auquilco (Groeber 1947 y Legarreta y Gulisano 1989). El espesor de toda esta secuencia no supera los 100 metros.

El Grupo Mendoza separado por un despegue en el techo de la Formación Auquilco posee un espesor aproximado de 500 metros. La Formación Tordillo (Groeber 1947, Stipanovic 1965) está formada por areniscas y conglomerados depositados en sistemas fluviales entrelazados, de naturaleza efímera. La Formación Vaca Muerta (Weaver 1931, Leanza *et al.* 1978) consiste en una sucesión de pelitas y pelitas calcáreas de color negro a castaño, con abundante contenido de materia orgánica bituminosa originados en un ambiente de costa afuera (*off-shore*) a interior de cuenca, de baja energía, con escasa oxigenación. Finalmente, sucede la Formación Agrío (Weaver 1931) formada por la alternancia de pelitas y calizas finamente estratificadas e intercalaciones arenosas de plataforma interna de aguas calmas disaeróbicas hasta anaeróbicas.

Suprayacente se halla el Grupo Rayoso que comprende las Formaciones Huitrín y Rayoso. La Formación Huitrín (Legarreta 1985; Legarreta y Gulisano 1989) refleja un

ambiente de baja energía, circulación restringida y la aparición abrupta de evaporitas. En la porción superior pasa a niveles calcáreos. La Formación Rayoso (Uliana *et al.* 1975) marca la continentalización de la cuenca. Las facies evaporíticas del Grupo Rayoso constituyen un nivel de despegue de importancia regional. En el área de estudio puede observarse un aumento en el espesor de la secuencia por repetición tectónica.

El Grupo Neuquén (Stipanovic *et al.* 1968; Cazau y Uliana 1973; Cruz *et al.* 1989) se encuentra desacoplado de la estructura principal por el despegue regional dentro del Grupo Rayoso. Está caracterizado por la alternancia de areniscas de distintas granulometrías hasta conglomerados y pelitas pardo rojizas y grises de origen fluvial. Esta unidad marca el comienzo de un nuevo ciclo sedimentario y la desconexión final de la cuenca Neuquina con el Océano Pacífico. Por encima se encuentra el Grupo Malargüe (Legarreta *et al.* 1988), constituido por las Formaciones Loncoche, Roca y Pircala que corresponden a un conjunto de sedimentitas marinas y continentales que marcan el cambio en la polaridad del relleno de la cuenca de oeste a este (Legarreta y Gulisano 1989).

Por último, el Paleógeno y Neógeno (Yrigoyen 1993) se caracterizan por depósitos sinorogénicos de origen continental en donde dominan depósitos de origen volcánico, sedimentario y de mezcla. Estos están en estrecha relación con el desarrollo de la

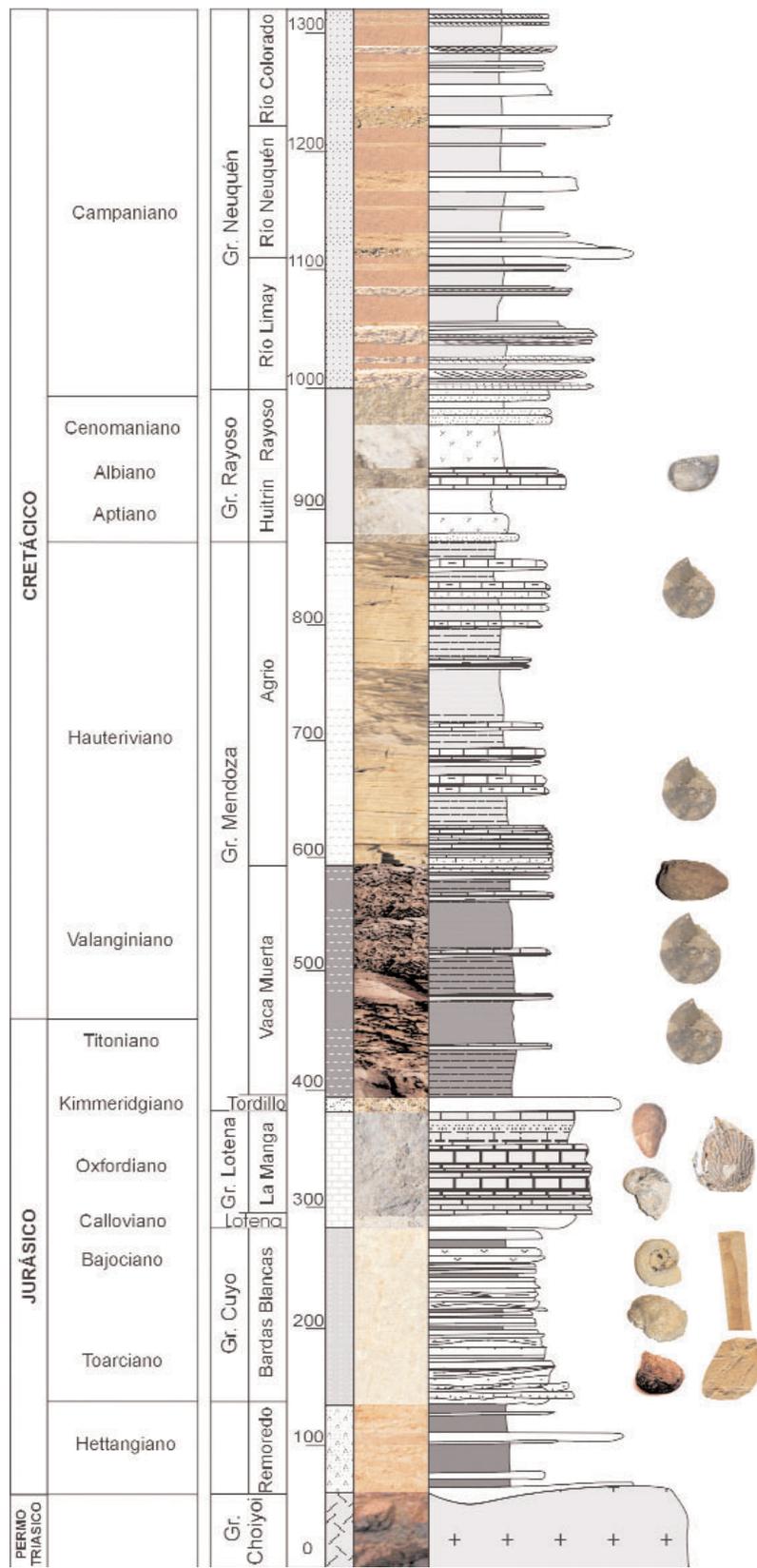


Figura 4: Perfil estratigráfico del intervalo permotriásico-cretácico superior levantado en la zona de estudio.

faja plegada y fueron estudiados por Silvestro y Kraemer (2005), donde se reconocen las secuencias sintectónicas y postectónicas dentro de las cuencas de Pincheira-Ventana y Malargüe, lo que permitió definir la evolución y las edades del plegamiento.

## ESTRUCTURA

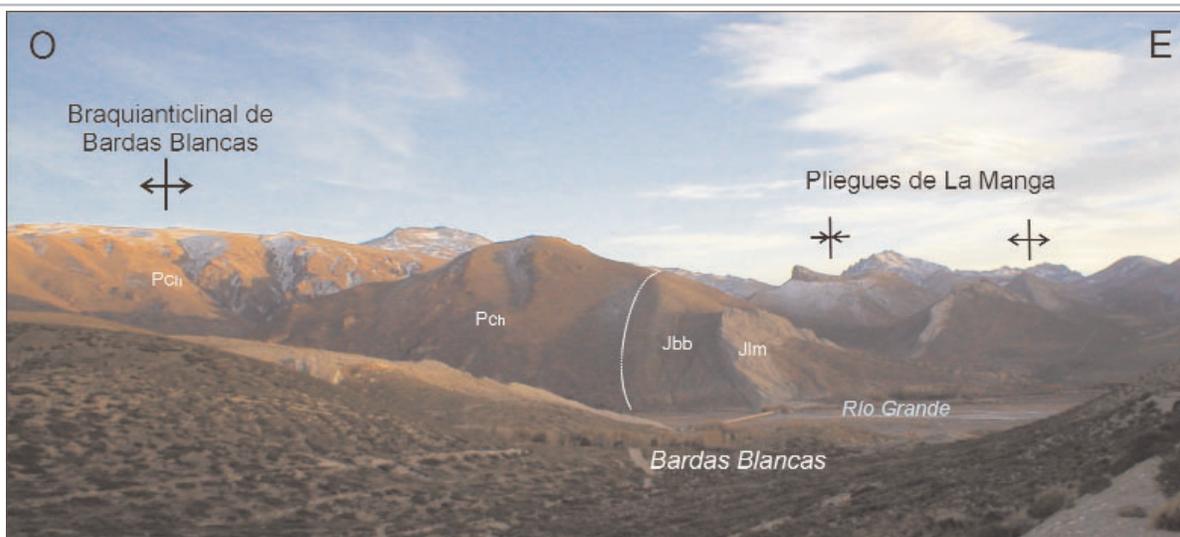
La estructura de Bardas Blancas tiene una orientación norte-sur a la latitud de la localidad homónima. Afloran en su núcleo rocas del Grupo Choyoi y hacia los flancos se extienden amplias y suaves depresiones en las que se conservan depósitos sedimentarios que llegan hasta el Terciario.

El sistema de Bardas Blancas, junto con los de Sierra Azul, Portezuelo del Viento y Cerro Lululén son descritos por Kozłowski *et al.* (1993) dentro de un mismo sector estructural, que comprende una región sobre-elevada tanto topográfica como estructuralmente, conformada principalmente por estructuras braquianticlinales.

Silvestro y Kraemer (2005) estudiaron los depósitos sinorogénicos de la región y determinaron la edad de la deformación a partir de dataciones en rocas efusivas que se intercalaban dentro de los mismos. Según estos autores a los 16 Ma se produjo un episodio de deformación que estructuró la faja en el sector oeste y levantó los anticlinales de Bardas Blancas-Sierra Azul, La Valenciana y Torrecillas.

En el área estudiada (Fig. 2) las estructuras aflorantes están dominadas por la presencia de pliegues y algunos corrimientos. Los pliegues, de variada longitud de onda, son asimétricos y presentan vergencia oriental. Las fallas corresponden a corrimientos con vergencia hacia el este. Las estructuras son generalmente subparalelas y su rumbo predominante es N-S. El área se encuentra en un frente orogénico que puede ser clasificado como no emergente por el dominio de zonas de plegamiento, fallas ciegas y el desarrollo de una zona triangular. Por este motivo el número de fallas observadas en superficie es reducido.

Las estructuras reconocidas fueron agrupadas en dos fajas de deformación; una, caracterizada por la presencia de bloques de basamento elevados y la otra por estructuras de cobertura relacionada con despegues en



**Figura 5:** Vista al norte del braquianticlinal de Bardas Blancas. Afloran en su núcleo bloques de Grupo Choiyoi (Pch), que demuestra una estructuración profunda que involucra el basamento. Hacia el este se observa la secuencias jurásicas (Jbb: Fm. Bardas Blancas, Jlm: Fm. La Manga) dispuesta sobre el flanco del anticlinal en donde se generan una serie de plegamientos menores relacionados con el acomodamiento de los sedimentos sobre el basamento.

niveles superiores (Fig. 2).

#### FAJA DE ESTRUCTURACIÓN PROFUNDA

Las estructuras profundas involucran al basamento y definen el marco estructural del área. El Grupo Choiyoi es la unidad más antigua aflorante en el área. Sin embargo, debido al tamaño que desarrollan estas estructuras se supone que involucran unidades inferiores.

*Braquianticlinal de Bardas Blancas:* Este plegamiento se ubica en el sector sur-occidental del mapa y su eje de rumbo aproximadamente N-S con buzamiento hacia el norte, se encuentra desplazado hacia el oeste del arroyo Chacay-co. Es parte de un conjunto de estructuras anticlinales de basamento como las de Sierra Azul, Pa-lauco, Malargüe, Cara Cura, Sierra de Reyes y Las Yeseras-Pampa Trill, entre otras.

En el núcleo de este anticlinal se encuentra el Grupo Choiyoi que llega a aflorar en ambos márgenes del río Grande agua arriba del pueblo de Bardas Blancas (Fig. 5). Allí se encuentra intensamente fracturado y levantado por una serie de corrimientos y de retrocorrimientos claramente observables en secciones sísmicas y en el campo (Dimieri 1997, Cardozo *et al.* 2005, Fantín 2006). Las secuencias jurásicas se encuentran en sucesión normal sin corrimientos

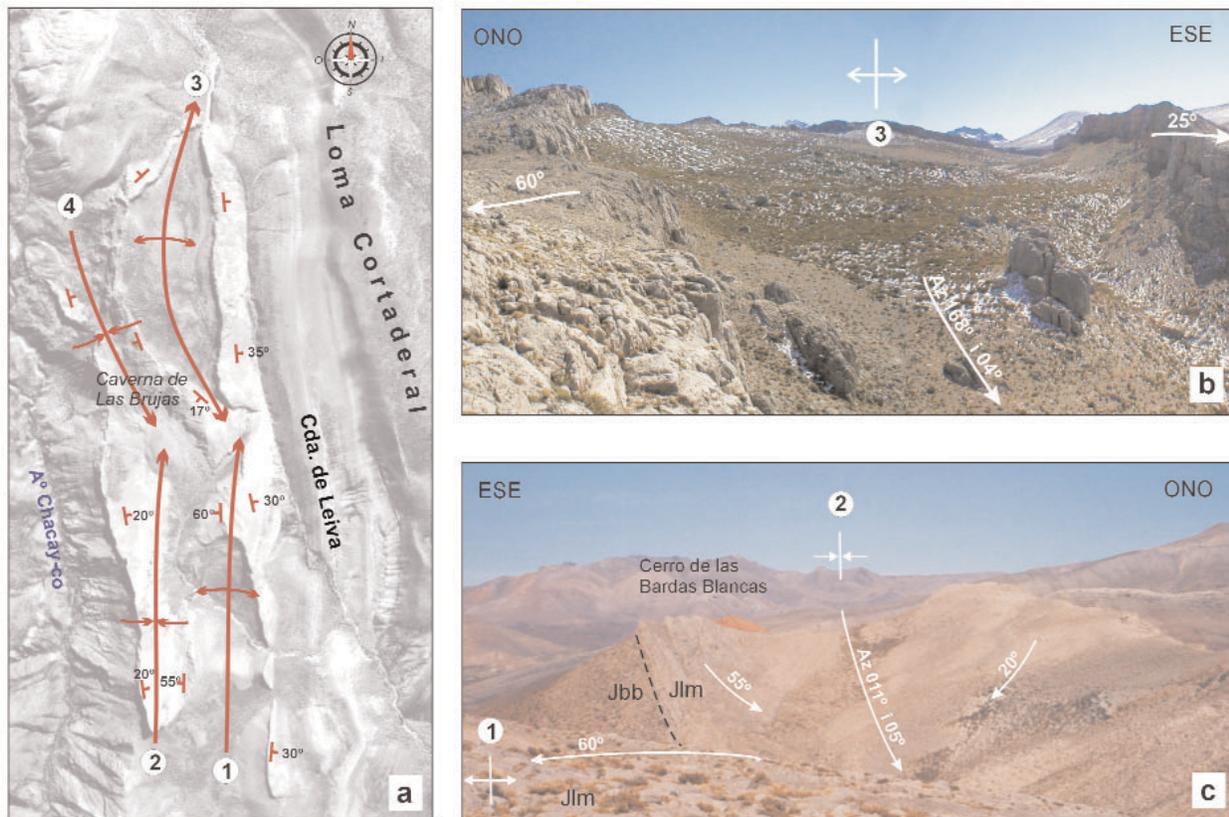
de importancia, con excepción del que aflora hacia el este en el flanco oriental de Loma Cortaderal.

*Pliegues de la Manga:* La estructuración de las secuencias sedimentarias jurásicas y cretácicas, se encuentran dispuestas sobre el basamento, donde predominan los anticlinales y sinclinales asimétricos con vergencia hacia el oeste. En el flanco oriental del braquianticlinal de Bardas Blancas, se observan pliegues de longitud de onda pequeña (Fig. 5). En general la escala y geometría de estas estructuras indicarían una desvinculación con el basamento, aunque podrían estar asociadas al acomodamiento de las rocas sedimentarias sobre escalones presentes en el Grupo Choiyoi. Estos bloques estarían relacionados al fallamiento, el basamento.

Entre estas estructuras se destaca una serie de pliegues que afectan principalmente a la Formación La Manga y las unidades infrayacentes. Estos pliegues se componen de un par anticlinal-sinclinal (1)-(2) de rumbo aproximadamente N-S con ejes buzantes hacia el norte (Fig. 6) y otro par anticlinal-sinclinal (3)-(4) asociado con buzamiento opuesto (Fig. 6). En el caso de los sinclinales, los limbos occidentales inclinan en promedio 20°E y los orientales 55°O. En cuanto a los anticlinales, los limbos occidentales son la continuación de los sinclinales y los orientales inclinan 30° al este. El anticlinal del norte (4) presenta un doble buzamiento,

en donde los estratos de la Formación La Manga conforman una estructura abovedada y truncada de 2,5 km de largo, que deja expuesto en su interior a las formaciones infrayacentes (Figs. 6a y b). En la culminación austral de los replegamientos puede observarse el cierre del sinclinal (1) al norte del cerro de las Bardas Blancas (Fig. 6c). En cambio el flanco oriental del anticlinal del sur (2) se dispone con una inclinación de 35°E y conserva esta posición hasta el sur del río Grande en el pueblo de Bardas Blancas.

*Fallas del arroyo Chenque-co:* Sobre la quebrada del arroyo Chenque-co afloran dos fallas principales. Una de ellas corresponde a un retrocorrimiento regional que se extiende desde Bardas Blancas hasta más allá del río Malargüe (Dessanti 1973). El retrocorrimiento en la zona cercana a Bardas Blancas se encuentra volcado (Fig. 2), y hacia la región de Malargüe se encuentra en posición normal (Silvestre y Kraemer 2005). En el área de estudio es denominado retrocorrimiento de Cerro Doña Juana. Por encima de dicho retrocorrimiento, se detectó una falla inversa de vergencia oriental (corrimiento de Chenque-co) que está repitiendo al Grupo Rayoso entre el arroyo Chenque-co y la quebrada de Leiva (Figs. 2 y 7). La disposición de los estratos ubicados cerca del plano de falla permite inferir un alto ángulo superficial y vergencia hacia el ante-



**Figura 6:** a) Detalle de una foto aérea donde se muestra las estructuras que afectan a la secuencia jurásica. b) Vista al norte del cierre del anticlinal septentrional (3). c) Vista al sur del cierre del sinclinal austral (2) y limbo occidental del anticlinal (1) ubicados al norte del cerro de las Bardas Blancas.



**Figura 7:** Foto en donde se muestra el flanco oeste del sinclinal de la sierra de la Ventana. El área sombreada corresponde al plano del corrimiento de Chenque-co.

país. En el bloque bajo de esta falla, se encuentran rebatidos los Grupos Rayoso y Neuquén (inclinando  $\approx 60^\circ$  al oeste) y el retrocorrimiento descrito anteriormente.

#### FAJA DE ESTRUCTURACIÓN SUPERFICIAL

La geometría de las estructuras superficiales permite definir una desvinculación con el basamento. Las estructuras más simples que

afectan a los depósitos del Cretácico tardío y Terciario, se encuentran separadas de la estructura principal por las evaporitas del Grupo Rayoso, que actúan a modo de techo pasivo.

*Sinclinal de la sierra de la Ventana:* corresponde a un extenso sinclinal que se desarrolla desde el flanco oriental de Loma Cortaderal hacia el este en el área de Agua Botada (Fig. 7). Presenta una gran continuidad norte-sur. El eje de la estructura tiene un rumbo apro-

ximadamente norte-sur y coincide con la sierra de la Ventana, en donde las secuencias sedimentarias son cubiertas por las vulcanitas de la Formación Palauco, responsables de la expresión topografía positiva. El pliegue es asimétrico y su longitud de onda supera los 10 kilómetros. El flanco occidental está limitado por la falla de Cheuque-co y se halla rebatido, volcando los bancos del Grupo Neuquén y la parte superior del Grupo Rayoso hasta  $60^\circ$  hacia el oeste.

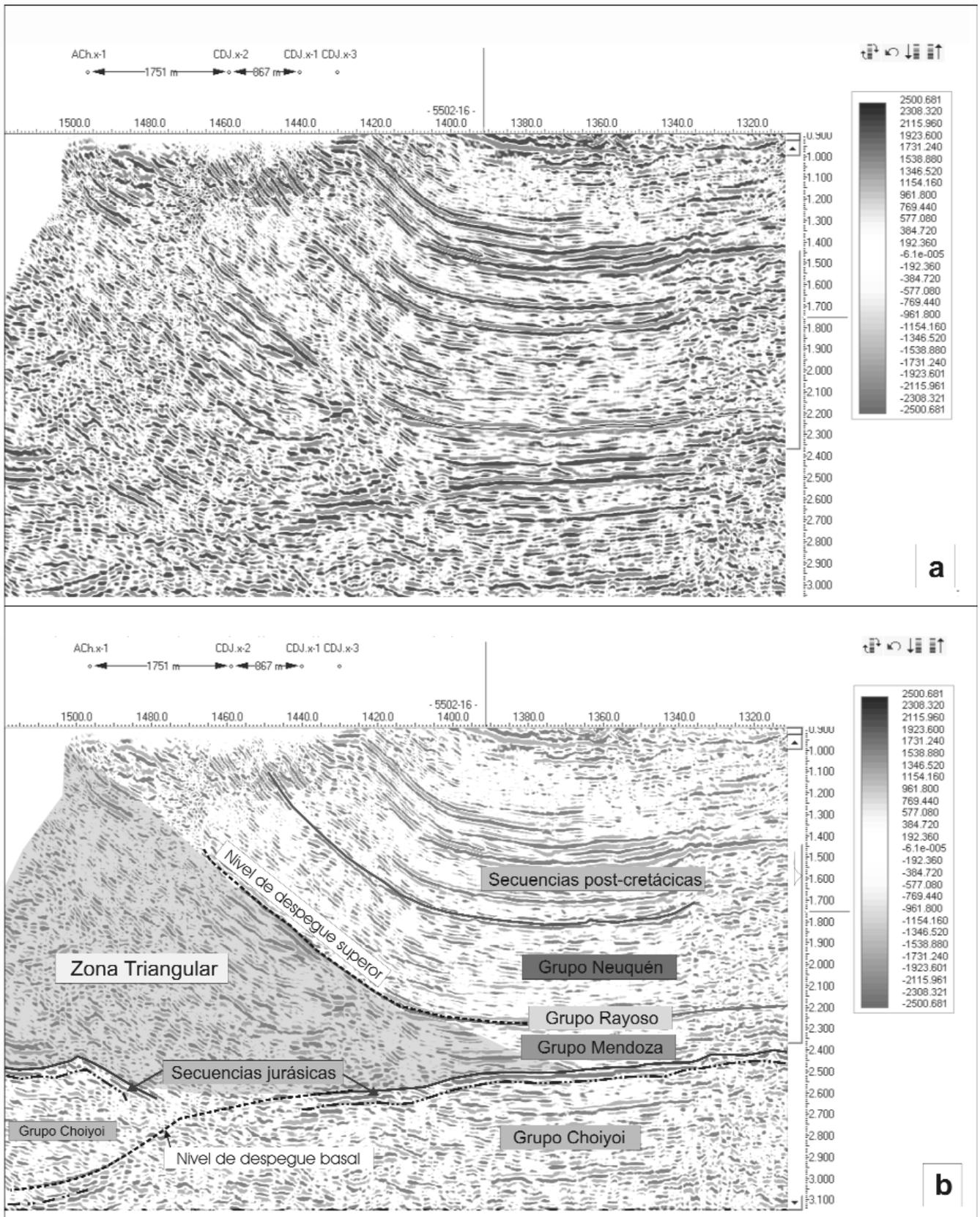
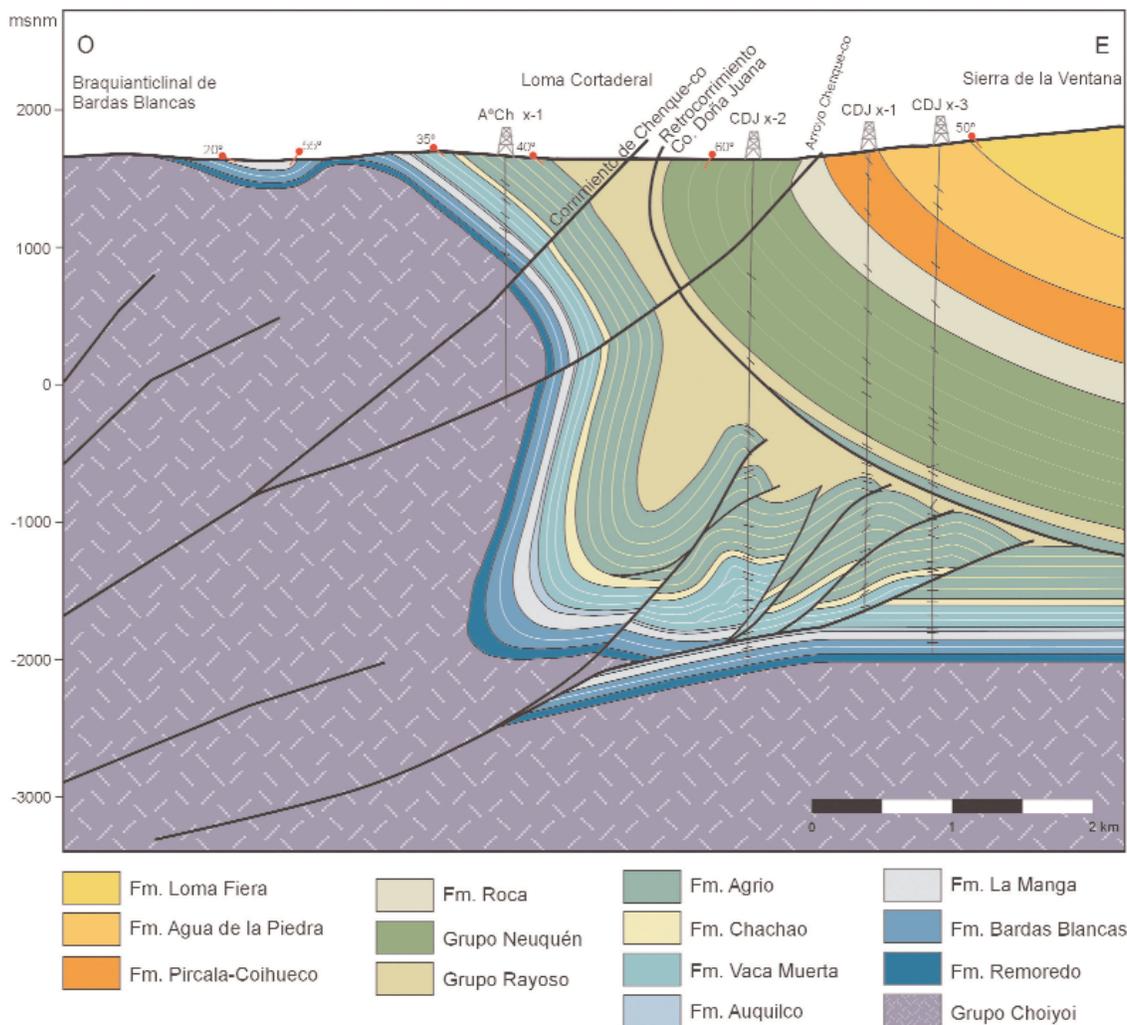


Figura 8: a) Línea sísmica 5502/16. b) Interpretación de la línea sísmica 5502/16. El sector sombreado representa la zona triangular.



**Figura 9:** Sección estructural balanceada del área de Bardas Blancas.

## SECCION ESTRUCTURAL BALANCEADA

Se construyó una sección estructural balanceada que abarca la faja comprendida entre el flanco oriental del braquianticlinal de Bardas Blancas y el flanco occidental del sinclinal de sierra de la Ventana. La sección corta la estructura en sentido transversal y se dispone sobre cuatro sondeos exploratorios alineados sobre la línea sísmica 5502/16 (Fig. 8). El mapa de la figura 2 muestra la planimetría de las líneas sísmicas analizadas y la distribución de los pozos exploratorios en la región. La orientación de las líneas es ENE y cortan la estructura en forma aproximadamente perpendicular. La información obtenida de la sísmica fue de importancia para definir las características estructurales mayores y los niveles de despegue principales, aunque no es visible

la geometría interna de la zona triangular (Fig. 8). En esta zona no es posible distinguir reflectores dada la disposición vertical y la intensa deformación de los bancos.

## INTERPRETACIÓN SÍSMICA

El basamento no involucrado en la deformación se registra aproximadamente a los 2,5 seg (unos 2000 m b.n.m.) en el extremo este de la sección (Fig. 8). Luego se profundiza hacia el oeste donde la información sísmica es de mala calidad. Las secuencias jurásicas pueden reconocerse como un delgado grupo de reflectores dispuestos en forma concordantes al basamento. Estos reflectores muestran una mayor profundidad en el extremo occidental, hacia donde inclinan hasta perderse por debajo de una zona de ruido, interpretada como una cuña de basamento sobrecorrida. Sobre los re-flec-

tores horizontales de las secuencias jurásicas se observan otros pertenecientes al Grupo Mendoza que se pierden cuando los reflectores jurásicos aumentan su inclinación. Este contacto es interpretado como un probable nivel de despegue basal. Sobre estas secuencias puede seguirse claramente un reflector bien definido y continuo prácticamente hasta la superficie. Este reflector coincidiría con el retrocorrimiento que actuaría a modo de techo pasivo. En la parte oriental de la línea, hacia el este del corrimiento, se observa una escasa deformación de las secuencias post-cretácicas superiores, representadas por reflectores bien definidos, continuos y subparalelos. La disposición general de los reflectores conforma una zona triangular comprendida por un corrimiento basal y un retrocorrimiento. Esta constituye la estructura principal del área de estudio (Fig. 8).

## INTERPRETACIÓN DE LA ESTRUCTURA

La zona de Bardas Blancas se caracteriza por la intervención del basamento en la deformación y el desarrollo de una zona triangular comprendida entre un corrimiento basal y un retrocorrimiento (Fig 9). La geometría del basamento queda muy bien definida por los datos de subsuelo (sísmica y pozos) y de superficie presentados en este trabajo y en Manceda *et al.* 1992 (Fig. 9).

El levantamiento de la estructura estaría relacionado a una serie de corrimientos profundos despegados dentro del basamento que producirían el apilamiento del Grupo Choiyoi (Fig. 3). Si bien el despegue de la estructura principal no fue modelado ya que no se incorporaron datos del limbo dorsal, éste debería estar a una profundidad mayor a 5 km bajo el nivel del mar, teniendo en cuenta la amplitud de la estructura. Los acortamientos son consumidos en parte dentro del basamento y en parte dentro de la cubierta sedimentaria originando la zona triangular de Cerro Doña Juana hacia el este. A partir de estas condiciones se modeló la presente sección utilizando *trishhear*. Fueron necesarias una serie de fallas inversas con ángulos de corte inferiores a 30° que avanzan hacia el antepaís para representar la geometría del basamento. El apilamiento de sucesivas láminas sobrecorridas hace levantar el ángulo de las fallas más antiguas. El resultado obtenido a partir del modelado con *trishhear* fue un bloque de basamento con frente empinado que supera los 3 km de profundidad (Fig. 9). Esta geometría está muy bien definida por los datos de este trabajo y de Manceda *et al.* (1992). Sobre este frente se disponen en forma solidaria las secuencias sedimentarias sobreyacentes; éstas entran dentro de la zona de cizalla triangular en donde la deformación no es homogénea y se produce un engrosamiento de los bancos en la zona de la charnela sinclinal. Cabe destacar que el Grupo Choiyoi aflorante en el núcleo del anticlinal de Bardas Blancas (en las márgenes del río Grande) muestra un fracturamiento tan intenso que hace que dicha unidad no muestra el comportamiento reológico típico de un basamento estructural. El grado de curvatura que muestra El Grupo

Choiyoi en la sección tampoco es típico de un basamento estructural; dicha curvatura puede ser justificada por la intensidad del fracturamiento mencionado. Las secciones presentadas por otros autores que utilizaron información de subsuelo muestran geometrías similares para el Grupo Choiyoi en el frente orogénico (Manceda *et al.* 1992, Zapata *et al.* 2002, Giampaoli *et al.* 2005, Silvestro y Kraemer 2005, Zamora y Zapata 2005, Fantin 2006).

Dentro de la zona triangular se observa un sistema de duplex de techo pasivo compuesto por dos duplex separados por fallas inversas que colocan a las Formaciones Chachao y Vaca Muerta por encima de la Formación Agrio. El apilamiento de los duplex se desarrolla a partir de dos niveles de despegue, uno inferior ubicado entre las evaporitas de la Formación Auquileo y las pelitas de la Formación Vaca Muerta, y otro superior que corresponde con las sales del Grupo Rayoso. Entre estos corrimientos el Grupo Mendoza es cortado por sucesivas rampas tectónicas. A medida que se desarrolla el sistema de duplex, las evaporitas se movilizan plásticamente rellenando los espacios y dando origen al despegue de techo que emerge como un retrocorrimiento a la latitud de Loma Cortaderal donde se encuentra rebatido (*detachment fold*). El retrocorrimiento de Cerro Doña Juana, junto a la secuencia superior del Grupo Rayoso y la totalidad del Grupo Neuquén, se encuentra volcado producto del arrastre originado por el corrimiento de Chenque-co con vergencia oriental y alto ángulo superficial. Esta falla estaría asociada a zonas de debilidad del basamento, en donde se habría reactivado uno de los corrimientos que habrían actuado en la etapa de formación del anticlinal de Bardas Blancas (véase secuencia de plegamientos en la figura 3). En la zona inferior, en donde la secuencia sedimentaria se curva en un sinclinal apretado, el déficit de espacio en el núcleo se resuelve por un corrimiento hacia afuera del sinclinal que involucra a la Formación Agrio. Luego esta estructura es cortada por un corrimiento fuera de secuencia despegado de antiguos corrimientos dentro del basamento.

Existen otras fallas fuera de secuencia que cortan la estructuración como es el caso de

la falla inferida que coincidiría en superficie con el arroyo Cheuque-co entre los pozos CDJ x-2 y CDJ x-1. Este corrimiento fue propuesto porque el espacio en el que se resuelve la rotación de los bancos es muy limitado. Al oeste del arroyo la inclinación de los bancos es de 60°O y al este de 50°E. Muchas de las estructuras menores que pueden observarse en los cambios de inclinación obtenidos de los perfiles de buzamiento pueden estar asociadas a diversas disarmonías internas ubicadas en las Formaciones Vaca Muerta y Agrio.

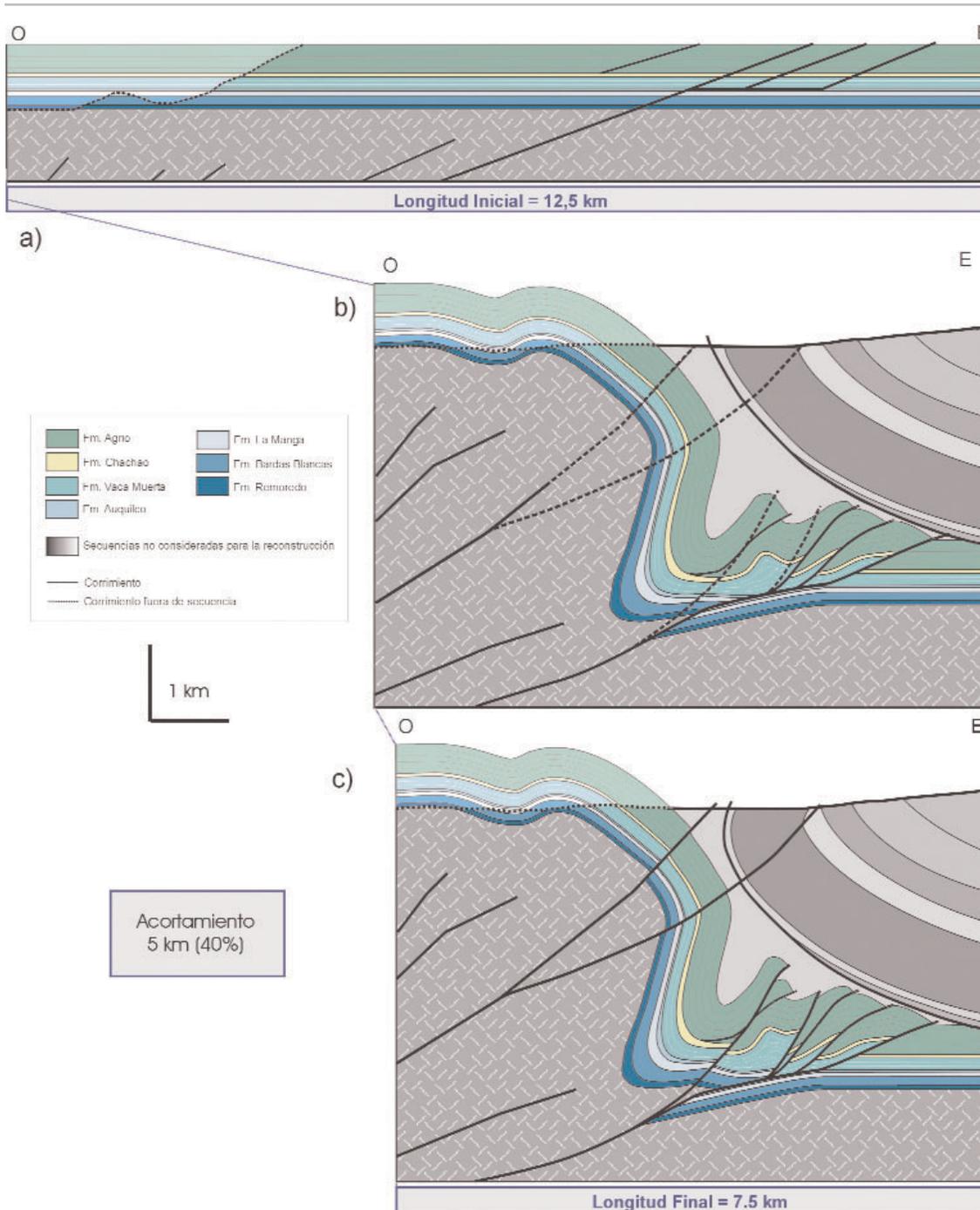
Hacia el este del retrocorrimiento las secuencias cretácicas superiores y terciarias se encuentran desacopladas estructuralmente del Grupo Mendoza y no entran dentro de la deformación principal.

*Reconstrucción palinspástica:* La reconstrucción se realizó para las unidades post- Grupo Choiyoi. El acortamiento calculado (aplicando en forma combinada y en partes los métodos de área y longitud de líneas) fue de 5 km, representando un 40 % con respecto a la configuración previa a la deformación (Fig. 10). El balanceo arrojó un error del 2 %. En la reconstrucción no se tomó en cuenta al Grupo Rayoso por su alto nivel de ductilidad, el cual pudo haber provocado la migración del material hacia otro sector. Tampoco fueron consideradas las secuencias que se encuentran por encima del retrocorrimiento.

## DISCUSIÓN

El levantamiento y la estructuración de la faja plegada y corrida de Malargüe, muestra un control ejercido por estructuras extensionales pertenecientes a sistemas de rifts formados durante la apertura de la cuenca en el Jurásico (Manceda y Figueroa 1993, 1995, Dimieri 1997). De esta manera se interpreta a estructuras como las de Pampa Palauco, Cajón de los Caballos, Cajón Molina y los anticlinales de Torrencillas y La Valenciana como hemigrábenes invertidos tectónicamente durante la orogenia andina (Silvestro y Kraemer 2005, Giampaoli *et al.* 2005). Esto se justifica por el espesor de sedimentos jurásicos aflorantes en el núcleo de algunos de estos anticlinales.

Sin embargo, en el anticlinal Bardas Blancas, los espesores de los sedimentos jurási-



**Figura 10:** Reconstrucción palimpástica y porcentaje de acortamiento. a) Geometría original previa a la deformación. b) Restitución del fallamiento fuera de secuencia. c) Sección estructural balanceada.

cos son marcadamente bajos, por lo cual no existen evidencias para considerar a este anticlinal como una estructura originada por inversión tectónica, sino que por el contrario este sector de la cuenca ocupaba una posición elevada durante el Jurásico (Silvestro y Kraemer 2005).

En la sección estructural de la sierra Azul planteada por Fantín (2006) puede observarse en la parte inferior a fallas que afectan

al basamento y que son consideradas parte de los hemigrábenes jurásicos. Dicho autor resaltó que estas estructuras de basamento no se encuentran invertidas. En ese trabajo se planteó la duda de si la falla que levanta a la sierra Azul corresponde a un límite de hemigraben invertido o si es una falla que se generó con el empuje andino.

Desde el punto de vista geométrico, y utilizando el modelo de propagación de falla de

trishear, en este trabajo sólo se ha podido representar la geometría global de la estructura con fallas de bajo ángulo. Se hicieron intentos utilizando fallas de alto ángulo, pero en todos los casos la geometría modelada se alejaba mucho de los datos de control. Basados en esto y en el hecho de que en el anticlinal de Bardas Blancas los espesores del Jurásico sin-extensional (Precucayano) son muy bajos, es que se refuerza la

idea de que las fallas que están levantando estas grandes estructuras no corresponden a la inversión de fallas normales mesozoicas. Sin embargo, con los datos disponibles en la actualidad no se pueden obtener conclusiones definitivas. Futuras investigaciones ayudarán a resolver la disyuntiva.

Por otro lado, se han postulado distintos modelos para resolver la geometría de los flancos empinados y de alta curvatura de estas estructuras. Entre ellos se considera la existencia de retrocorrimientos que los empujan (Dimieri 1997, Sylvestro y Kraemer 2005), fallas de relativo alto ángulo que generan estructuras de propagación con flancos parados (Giampaoli *et al.* 2005) o bien repeticiones del Grupo Choiyoi mediante fallas de bajo ángulo (Ploszkiewicz 1988, Manceda *et al.* 1992, Nocioni 1996, Dicarlo 2005). Esta discrepancia se debe en parte a que el nivel de erosión de estas estructuras impide ver cómo se resuelven tectónicamente los limbos en sus posiciones estructurales inferiores (Kozłowski *et al.* 1993). En este trabajo se aplica el modelo de propagación de falla de cizalla triangular a partir de fallas de bajo ángulo para generar estas estructuras de alta curvatura y limbos parados. Se considera que si bien la reología de un "basamento normal" no permitiría el desarrollo de las curvaturas observadas, el comportamiento del Grupo Choiyoi sí lo permite. Su intenso fracturamiento le otorga un comportamiento mucho menos rígido que el que le corresponde por su litología.

## CONCLUSIONES

La sección estructural y la interpretación de los datos obtenidos en este trabajo constituyen un nuevo aporte para comprender mejor la estructura del área de estudio y los mecanismos de deformación. En primer lugar en la zona de Bardas Blancas se reconoce una estructura braquianticlinal que involucra al basamento en la deformación; esta estructura constituye parte de un tren estructural elongado en sentido norte-sur cuyo desarrollo dio origen a la zona triangular. Tomando como base que el levantamiento del braquianticlinal de Bardas Blancas no estaría originado por inversión tectónica, se planteó una sección estructural, en

base a *trishear*, desarrollada a partir de una serie de corrimientos profundos, con vergencia al este, despegados dentro del basamento con ángulos de corte inferiores a 30°. La deformación dentro de la zona triangular se resuelve a partir del desarrollo de sistemas de duplex de techo pasivo, pliegues por despegue, replegamientos y fallas fuera de secuencia. Los sistemas de duplex se generan a partir de dos niveles de despegue: uno inferior, ubicado entre las evaporitas de la Formación Auquilco y las pelitas de la Formación Vaca Muerta y otro superior que corresponde al retrocorrimiento originado en las evaporitas del Grupo Rayoso.

El retrocorrimiento de Cerro Doña Juana y los Grupos Rayoso y Neuquén se encuentran volcados producto del arrastre originado por el corrimiento de Chenque-co, de vergencia oriental; dicho corrimiento estaría asociado a la reactivación de uno de los corrimientos que habrían actuado en la etapa de formación del anticlinal de Bardas Blancas.

El acortamiento calculado en base a la reconstrucción palimpástica es de 5 km, representando un 40 % con respecto a la configuración previa a la deformación.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la empresa Geopark, por haber facilitado el acceso a la información de la región y por el apoyo económico brindado en la campaña. Además se agradece a la Fundación Antorchas, a la Universidad de Buenos Aires (proyecto 01/X160) al CONICET (PEI 6465/04 and PEI 5758/05) y a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por proporcionar los fondos necesarios para cubrir los gastos de esta investigación. Se agradece especialmente a Víctor A. Ramos y Pablo Leal por la lectura y corrección de la primera versión manuscrita. A Ivanna Penna y Daniel Yagupsky por su colaboración en el campo. Finalmente a los árbitros de esta revista por sus valiosas sugerencias.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Bermúdez, A., Delpino, D., Frey, F. y Saal, A. 1993. Los basaltos de retroarco extraandinos.

En Ramos V.A. (Ed.): Geología y Recursos Naturales de Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas 1(13): 161-172, Mendoza.

Cardozo, N., Allmendinger, R. y Morgan, J. 2005. Influence of mechanical stratigraphy and initial stress state on the formation of two fault propagation folds. *Journal of Structural Geology* 27: 1954-1972.

Cazau, L. y Uliana, M. 1973. El Cretácico Superior continental de la Cuenca Neuquina. 5° Congreso Geológico Argentino. Actas 3: 131-163, Buenos Aires

Cruz, C.E., Condat, P., Kozłowski, E. y Manceda, R. 1989. Análisis estratigráfico secuencial del Grupo Neuquén (Cretácico Superior) En el Valle del Río Grande, Provincia de Mendoza. 1° Congreso Nacional de Exploración de Hidrocarburos, Actas 2: 689-714, Mar del Plata.

Dessanti, R.N. 1973. Descripción geológica de la Hoja 29b Bardas Blancas (Provincia de Mendoza). Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 139: 1-70.

Dicarlo, D.J. 2005. Geología en la margen norte del río Grande, Bardas Blancas, provincia de Mendoza. Universidad de Buenos Aires, Trabajo Final de Licenciatura (inédito), 121 p., Buenos Aires.

Dimieli, L.V. 1997. Tectonic wedge geometry at Bardas Blancas, southern Andes (36°S), Argentina. *Journal of Structural Geology* 19: 1419-1422

Dimitri, L.V. y Nullo, F.E. 1993. Estructura del frente montañoso de la Cordillera Principal (36° Latitud Sur), Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas 3: 160-167.

Erslev, E.A. 1991. Trishear fault-propagation folding. *Geology* 19, 617-620.

Fantin, J. 2006. Geología y estructura del flanco oriental de la Sierra Azul y del Sinclinal de Quechivil, provincia de Mendoza. Universidad de Buenos Aires, Trabajo Final de Licenciatura (inédito), 124 p., Buenos Aires.

Giampaoli, P., Ramirez, J.L. y Gait, M.A. 2005. Estilo de entrampamiento en la Faja Plegada y Fallada de Malargüe. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Simposio Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuenas Productivas de Argentina: 121-140, Mar del Plata

- Grober, P. 1947 b. Hoja Bardas Blancas y Los Molles en Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70°. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 2 (4): 409-433.
- Grober, P., Stipanovic, P.N. y Mingramm, A. 1953. Mesozoico. En *Geografía de la República Argentina*, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, 2 Primera Parte, 541 p., Buenos Aires.
- Gulisano C.A. 1981. El Ciclo Cuyano en el norte de Neuquén y sur de Mendoza. 8° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 579-592, Buenos Aires
- Gulisano, C.A., Gutiérrez Pleimling, A.R. y Digregorio R.E. 1984. Esquema estratigráfico de la secuencia jurásica del oeste de la provincia del Neuquén. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 236-259, Bariloche.
- Kozlowski, E., Cruz, C., Condat, P.P y Manceda, R. 1990. Modelo estructural para el zócalo de la Cuenca Neuquina. Mendoza. Argentina. 11° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 27-30, San Juan.
- Kozlowski, E., Manceda, R. y Ramos V.A. 1993. Estructura. En Ramos, V.A. (ed.) *Geología y recursos naturales de la provincia de Mendoza*. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1(18): 235-256, Mendoza.
- Leanza, H.A., Marchese, H.G. y Riggi, J.C. 1978. Estratigrafía de Grupo Mendoza con especial referencia a la formación Vaca Muerta entre los paralelos 35° y 40° ls., Cuenca neuquina mendocina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 32(3): 190-208.
- Legarreta, L. 1985. Análisis estratigráfico de la Formación Huitrín (Cretácico inferior), Provincia de Mendoza. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Tesis Doctoral (inédita), 1-197, Buenos Aires.
- Legarreta, L. y Gulisano, C.A. 1989. Análisis estratigráfico de la Cuenca Neuquina (triásico superior-Terciario inferior), Argentina. Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica, 6: 221-543, Tucumán.
- Legarreta, L. y Uliana, M. A. 1991. Jurassic - Cretaceous marine oscillations and geometry of back arc basin fill, central Argentine Andes. *Association of Sedimentology* 12: 429-450.
- Manceda, R. y Figueroa, D. 1993. La inversión del rift mesozoico en la faja fallada y plegada de Malargüe. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 3: 179-187, Mendoza.
- 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., Suárez S.R. y Welsink H.J. (eds.) *Petroleum basins of South American*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 369-382.
- Manceda, R., Bolatti, N.D. y Manoni, R. 1992. Modelo estructural para la zona de Bardas Blancas. *Boletín de información Petrolera*. Tercera Época, 9(31): 32-103, Buenos Aires.
- Nocioni, A.D. 1996. Estudio estructural de la Faja Plegada y Corrida de la Cuenca Neuquina-Surmendocina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 2: 353-372, Buenos Aires.
- Poblet, J.M. y McClay, K. 1996. Geometry and kinematics of single layer detachment folds. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin* 80: 1085-1109.
- Ploszkiewicz, J.V. 1988. Propuesta de perforación del pozo YPF. MdN.C°DJx-1 (Cerro Doña Juana). YPF (informe interno inédito), Buenos Aires.
- Ploszkiewicz, J.V. y Gorroño, R. 1988. Tectónica de inyección salina en la faja fallada y plegada del Sur de Mendoza. *Boletín de Informaciones Petroleras*, Tercera Época, 5: (30): 29-34.
- Silvestro, J. y Kraemer, P. 2005. Evolución tectosedimentaria de la Cordillera Principal en el sector surmendocino a los 35° 30's. Faja plegada de Malargüe. República Argentina. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Actas, publicadas en CD-ROM. Artículo 25, 18 p., Mar del Plata.
- Sanci, R. 2005. Evaluación ambiental y bioestratigráfica de las Formaciones Bardas Blancas y Tres Esquinas (Grupo Cuyo), Cuenca Neuquina, Mendoza. Universidad de Buenos Aires, Trabajo Final de Licenciatura (inédito), Buenos Aires.
- Stipanovic, P.N. 1965. El Jurásico en Vega de la Veranda (Neuquén), el Oxfordense y el diastrofismo diversiano (Agassiz-Yaila) en la Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 20(4): 403-478.
- Stipanovic, P.N. 1969. El avance en los conocimientos del jurásico argentino a partir del esquema de Groeber. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 14(4): 367-388.
- Uliana, M.A., Dellapé S.A. y Pando, G.A. 1975. Estratigrafía de las sedimentitas rayosianas (Cretácico inferior de las provincias de Neuquén y Mendoza). 2° Congreso Ibero-Americano de Geología Económica, Actas 1: 177-196, Buenos Aires.
- Yrigoyen, M. 1972. Cordillera Principal. En Leanza, A. (ed.) *Geología Regional Argentina*, Academia Nacional de Ciencias, 651-693, Córdoba.
- Yrigoyen, M.R. 1993. Los depósitos sinorogénicos terciarios. En Ramos, V.A. (ed.) *Geología y recursos naturales de la provincia de Mendoza*. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1(11): 123-148, Mendoza.
- Yrigoyen, M.R. 1994. Estudio Ambiental de las Áreas de Cerro Doña Juana y Loma Cortaderal. Informe inédito Geopark.
- Zamora, G. y Zapata, T. 2005. Estilo estructural del frente de la faja plegada neuquina a los 37°S. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas CD-ROM. 16 p., Mar del Plata.
- Zapata, T., Córscico, S., Dzelalija, F. y Zamora, G. 2002. La faja plegada y corrida del Agrio: análisis estructural y su relación con los estratos terciarios de la Cuenca Neuquina, Argentina. 5° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas electrónicas, 10 p., Buenos Aires.

Recibido: 8 de junio, 2006

Aceptado: 1 de enero, 2007