

EVENTOS TECTO-METAMÓRFICOS DEL GRUPO CARAPÉ: UN MODELO PARA SU EVOLUCIÓN NEOPROTEROZOICA

TECTO-METAMORPHIC EVENTS IN THE CARAPÉ GROUP: A MODEL FOR ITS NEOPROTEROZOIC EVOLUTION

Carlos Alberto ROSSINI GORI

Consultor Privado. Bvar. A.Saravia 5773, CP 12600, Montevideo - Uruguay
e-mail: crossini@ccc.com.uy

Jean Michel LEGRAND

Departamento de Geología - CCET - UFRN - Campus universitario Lagoa Nova, Natal, Brasil
e-mail: legrand@ccet.ufrn.br

RESUMEN

A partir de estudios detallados de las características geológicas (petrográficas, litoestratigráficas y estructurales) de la faja metamórfica de la porción central del Grupo Carapé es posible distinguir, en orden cronológico relativo, una serie de eventos tecto-metamórficos con magmatismo asociado, que caracterizan la evolución Neoproterozoica de esta unidad litoestructural. Esta evolución se asocia a un ámbito tectónico transcurrente/transpresivo sinistral, involucrando a tres eventos de deformación principales que se vinculan a 3 eventos metamórficos registrados en las rocas supracorticales (dos de carácter regional y un tercero local) y a un magmatismo calcoalcalino que, a juzgar por sus caracteres geoquímicos, presenta poca diferenciación durante gran parte de esta evolución. El modelo geodinámico propuesto a partir de las características geológicas estudiadas, indica que esta zona del Grupo Carapé se conforma inicialmente de porciones de basamento y registros de rocas paraderivadas pre-Brasilianas, afectadas durante el Neoproterozoico por un evento tectónico transcurrente/transpresivo sinistral, que evoluciona a transcurrente sinistral, que produce cabalgamientos y transcurrencias a escala regional, importante aporte magmático calcoalcalino, y eventos de metamorfismo regional y local. La tendencia evolutiva general es de acortamiento crustal en dirección SE-NO con transporte tectónico neto hacia el SSO. A nivel regional, se aportan evidencias que fortalecen la hipótesis sobre el carácter alóctono del Grupo Carapé en relación a las unidades litoestructurales vecinas del Cinturón Cuchilla de Dionisio.

Palabras clave: Uruguay, Grupo Carapé, Neoproterozoico, tectónica, metamorfismo.

ABSTRACT

From detailed studies of them geological characteristic (petrographic, lithostratigraphic and structural) of the metamorphic belt of Carapé Group (central portion) is possible distinguishing, in chronological relative order, a series of tecto-metamorphic events with associated magmatism, that characterise a Neoproterozoic evolution of this lithostructural unit. This evolution associated to a tectonic ambient sinistral transcurrent/transpressive, implicating three events of deformation principal and tree metamorphic events (two regional

and the third local) and to a calc-alkaline magmatism than, to judge by its geochemical character, presents small differentiation during almost the entire evolution. The geodynamic model proposes, as from the studied geological features, show than this zone of Carapé Group it is initially formed by portions of pre-Brazilian basement and supracortical rocks, that are affected, during the Neoproterozoic, for a tectonic event sinistral transcurrent/tranpressive that evolves to sinistral transcurrent registering nappes and shear zones at regional scale, main calc-alkaline magmatic emplacement, and regional to local metamorphic events. The evolutionary general tendency becomes of crustal shortening in direction SE-NW with tectonic net transportation toward the SSO. Proofs contribute themselves at regional scale that they strengthen the hypothesis of allochthonous character of Carapé Group in relation to the lithostructural units nearby Cuchilla de Dionisio Belt.

Key words: Uruguay, Carapé Group, Neoproterozoic, tectonic, metamorphism.

INTRODUCCIÓN

Se exponen en este trabajo algunos de los resultados de la investigación realizada entre 1997-2002 como parte de una tesis de maestría que versó sobre la caracterización petrográfica y la evolución tectónica de la porción central del Grupo Carapé del Cinturón Cuchilla de Dionisio (CCD) (Rossini, 2002).

La región estudiada posee una superficie de 360 km² y se localiza al N del Departamento de Maldonado, en la Cuchilla Grande, englobando parte de la denominada Sierra de Carapé (ver Figura 1 y 2).

Los trabajos de mapeo geológico se basaron en criterios lito-estructurales utilizando conceptos de estratigrafía informal (Rossini & Aubet, 2000), siendo este abordaje novedoso para el sector SO del CCD. Para estos trabajos se relevaron 382 afloramientos y utilizaron 250 muestras litológicas para diferentes estudios, 125 de ellas con láminas delgadas para petrografía microscópica.

Se presentan a continuación datos descriptivos con relación a las litologías y su petrografía (tanto supracorticales como granitoides), a las estructuras tectónicas relevadas, y finalmente una hipótesis de evolución tecto-metamórfica para la región estudiada y extensivamente para Grupo Carapé, considerando a éste como un conjunto de unidades litotectónicas con

una evolución geológica Neoproterozoica común, y tomando sus límites como los definidos en Bossi & Navarro (2001).

La hipótesis evolutiva propuesta se sustenta en una adecuada colección de datos factuales y en los resultados de herramientas analíticas accesibles, como son el análisis estructural y cinemático y la correlación petrográfica detallada. Se intenta así contribuir a la discusión y análisis de un problema más general: la evolución del largo proceso de convergencia orogénica Panafricana - Brasiliana.

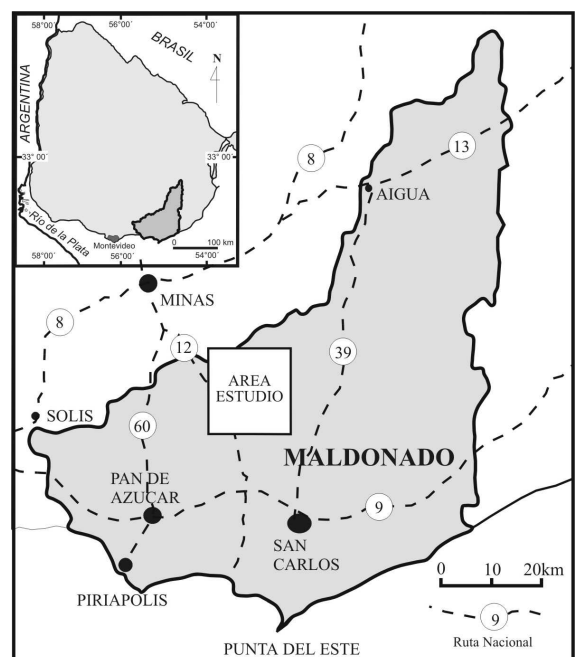


Figura 1- Localización del área estudiada
Figure 1- Work zone localization.

Mapa Geológico - Estructural de **SIERRA DE CARAPÉ (URUGUAY)**

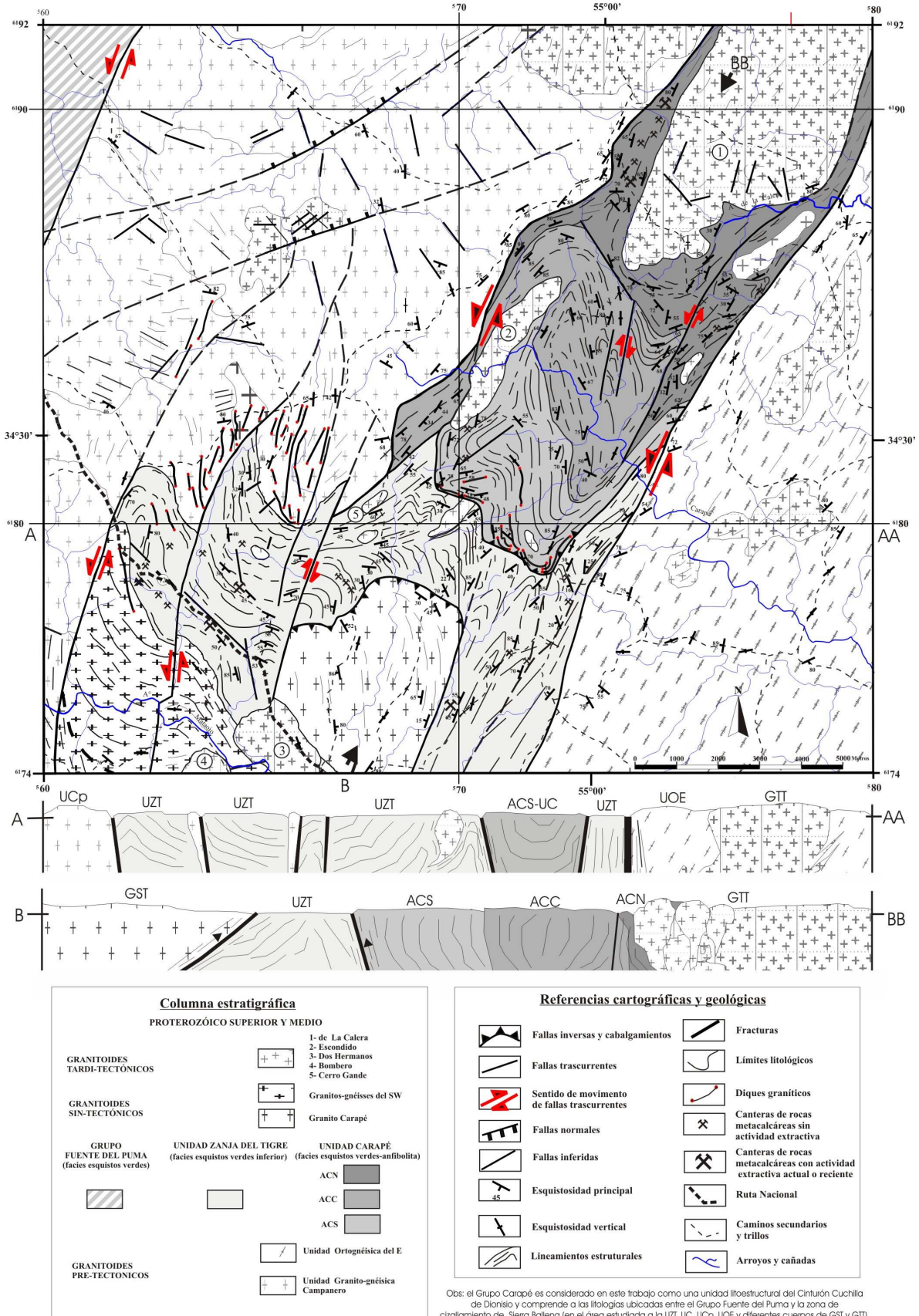


Figura 2- Mapa geológico-estructural de la porción central del Grupo Carapé.
Figure 2- Structural -geological map of the central zone of Carapé Group.

GEOLOGÍA REGIONAL

El análisis geológico de esta porción del CCD se realizó a partir de la definición de unidades litoestratigráficas informales (Sengör, 1990), como ser unidades litotectónicas (conjunto mapeable de litologías, espacialmente asociadas, compatibles y relacionadas en términos petrogenéticos, con una historia tectónica común) y asociaciones (términos de menor jerarquía que las anteriores).

En la región estudiada del Grupo Carapé, con ese abordaje estratigráfico, fue posible distinguir y definir (Figura 2):

- Dos núcleos granitoides complejos muy afectados por la deformación (pre-tectónicos): la Un Campanero (UCp), y la Unidad Ortognésica del Este (UOE).
- Registros metasedimentarios que son divididos en dos unidades litotectónicas, considerando las notorias diferencias en cuanto a sus arreglos estratigráficos, metamorfismo y estilo de deformación: la Unidad Zanja del Tigre (UZT), localizada al SO, y la Unidad Carapé (UC) al NE, separadas por una discontinuidad tectónica de primer orden.
- Granitoides afectados por la deformación (sin-tectónicos) representados principalmente en el área por el granito Carapé y otros cuerpos inmersos en las unidades granitoides anteriores.
- Granitoides poco a no afectados por la deformación (tardi-tectónicos) que se emplazan en las unidades anteriores como cuerpos plutónicos discretos.

Las Unidades supracorticales.

El registro meta-vulcano-sedimentario expuesto en la región fue separado en dos unidades litotectónicas al haberse constatado la existencia de dos secuencias metasedimentarias diferentes desde el punto de vista estratigráfico genético, separadas por discontinuidades tectónicas de primer orden y evidenciando una misma evolución tecto-metamórfica, aunque en

condiciones P-T diferentes: la UZT y la UC.

La UZT esta constituida por un potente paquete metasedimentario correspondiente a un ambiente plataformal mixto silico-carbonático, en situación somera y proximal, con ciclicidad a nivel de registro estratigráfico (existencia cíclica de progradaciones siliciclásticas y de evoluciones hacia condiciones de sedimentación carbonática).

La UC esta representada por un potente paquete meta-vulcano-sedimentario correspondiente a un ambiente plataformal mixto silico-argilo-calcáreo con aporte volcánico predominantemente ácido. Esta unidad es dividida en tres asociaciones litológicas: (i) asociación Carapé Sur (ACS) correspondiente a un arreglo estratigráfico plataformal silico-argilo-calcáreo con tendencia temporal transgresiva (base de la unidad); (ii) asociación Carapé Central (ACC) que agrupa el registro de los episodios vulcano-sedimentarios en la cuenca original y (iii) asociación Carapé Norte (ACN) en donde desaparece la actividad volcánica y se establece una sedimentación mixta que genera alternancia de estratos calcáreos y pelíticos.

Las principales características geológicas de estas unidades litotectónicas se reseñan en la Tabla I.

Los granitoides

UNIDAD CAMPANERO

Esta unidad se define a partir del agrupamiento de un conjunto de granitoides, con intensidad variable de deformación, que poseen una evolución común durante el Neoproterozoico y que presentan, tanto al E como al O, límites tectónicos de importancia regional con las unidades adyacentes. Posee una amplia expresión cartográfica al O del área de estudio, así como fuera de la misma (al NO), y separa los registros metamórficos estudiados de los correspondientes al Grupo Fuente del Puma.

	Unidad Zanja del Tigre (UZT)	Unidad Carapé (UC)
<i>Registro litológico</i>	Metasedimentario	Metavulcano-sedimentario
<i>Ambiente sedimentario</i>	Plataformal silico-carbonático proximal somero, con ciclicidad de progradaciones.	Plataformal silico-carbonático más distal con base transgresiva (ACS), manifestaciones volcánicas piroclásticas (ACC) y tendencia general de somerización (ACN)
<i>Principales litotipos</i>	Dol-mármoles, esquistos calcáreos, filitas, metasedimentos finos, metareniscas y metaconglomerados	Cc-calizas, metamargas, metareniscas calcáreas, Grt-Ms esquistos, metavolcánicas ácidas, rocas calcosilicatadas, Di-cuarcitas
<i>Metamorfismo regional</i>	Orogénico	Orogénico
<i>Facies Metamórfica</i>	Esquistos verdes (inferior)	Esquistos verdes (superior) / Anfibolita
<i>Metamorfismo local</i>	De contacto / Hidrotermal	Hidrotermal / De contacto
<i>Estilo de deformación</i>	Dúctil / Frágil	Dúctil
<i>Estilo de plegamiento</i>	Sub-Isópaco	Anisópaco

Tabla I – Características geológicas de la UZT y la UC
Table I - Geological features of the UZT and UC

La UCp está compuesta por un conjunto heterogéneo de rocas granitoides deformadas, que poseen como característica común los efectos de un proceso general de protomilonitización y de locales de milonitización, ambos ligados al principal evento deformacional, lo cual se expresa con la imposición de una foliación regional entorno a N20/N30E. Las composiciones observadas varían de graníticas a granodioríticas-dioríticas, en tanto que las texturas varían desde ígneas preservadas a gnéisicas y miloníticas. Además de los minerales Qtz y Fs se encuentran en estas rocas Bt, Anf y opacos (minerales ligados a estadios magmáticos de génesis), y Ms, Ep y opacos (minerales ligados a deformación en condiciones de facies esquistos verdes), variando mucho de un litotipo a otro, tanto en sus

porcentajes como en su tipo. De forma subordinada existen cuerpos granitoides, considerados tardi-tectónicos, rocas máficas y ultramáficas alteradas y tectonitas ricas en Qtz-Ms, estas últimas asociadas espacialmente a zonas de cizalla. La existencia de rocas graníticas-granodioríticas preservadas de los eventos de deformación Neoproterozoicos, presentando bordes gradualmente milonitizados, foliaciones discordantes con el sistema regional N20°E (N75E a N110°E) y pliegues tanto en foliaciones como a nivel de venas aplíticas, no relacionados al sistema de deformación regional, apoya la hipótesis de la existencia de núcleos pre-Brasilianos en la unidad.

UNIDAD ORTOGNÉISICA DEL ESTE

Esta unidad se define como un conjunto de rocas gnéisicas y miloníticas ricas en anfíboles, de composición granítica a granodiorítica, ubicadas entre la faja de rocas metamórficas estudiada y el cizallamiento de Sierra Ballena.

La litología predominante consiste en ortogneises ricos en anfíbol, los cuales presentan bandeamiento composicional de escala centimétrica, generado por deformación y segregación metamórfica, con esquistosidad concordante Sp (correspondiente al evento principal de deformación) entorno a la dirección N30°-N40°E, con buzamientos cerca de la vertical (oblicua a la dirección de la zona de cizalla de Sierra Ballena). La mineralogía es variable en función del bandeo centimétrico; básicamente existen bandas ricas en Qtz + Pl + Kfs, y en Anf + Pl + Qtz y menos frecuentemente bandas con Bt + Ms + Qtz. Localmente también se observan cuerpos discretos de escala métrica de anfibolitas y de esquistos biotíticos y muscovíticos (estos últimos generados durante retromorfosis asociada a deformación) inmersos en los gneises bandeados.

Por otra parte, en esta unidad es posible separar cuerpos de granitoides tardi-tectónicos de dimensiones variables y de granitoides tonalíticos-granodioríticos pre-tectónicos al evento deformacional principal Neoproterozoico (posiblemente pre-Brasilianos), esto último en función de su estructuración, foliaciones y plegamientos discordantes con los predominantes de la región, así como por su pasaje gradual a términos gnéisicos y miloníticos concordantes.

GRANITOIDES SIN-TECTONICOS

Esta denominación incluye un conjunto de cuerpos de rocas graníticas deformadas y gneises cuyas características estructurales y registros de deformación indicarían una génesis sincrónica al evento principal Neoproterozoico que sufrió la región. También incluye a cortejos de diques de

potencias variables, desde métricas a decamétricas, en general concordantes con la fábrica de las encajantes metamórficas. En general, son rocas de composición granítica a granodiorítica, con biotita y/o anfíbol, presentando texturas protomiloníticas, miloníticas y gnéisicas. Espacialmente, presentan expresión cartográfica en el sector SO del área, pudiendo ser distinguido un cuerpo de dimensiones considerables como el granito Carapé, y un sector compuesto por granito-gneises localizado mas al SO (Figura 2).

GRANITOIDES TARDI-TECTONICOS

Con esta denominación se reúne a un conjunto de cuerpos plutónicos graníticos de dimensiones variables que intruyen a la mayoría de las unidades descriptas. Desde el punto de vista petrográfico son rocas monzograníticas, próximas a composiciones granodioríticas, de color blanco a rosado claro, con tamaños de grano variables de fino a medio, generalmente con Bt. Las texturas son equigranulares isótropas a débilmente orientadas, localmente protomiloníticas. La mineralogía está compuesta por Qtz + Or + Pl ± Mic + Bt ± Anf ± Ep.

Los principales cuerpos de este tipo en el área, en función de los volúmenes de magma implicados, son los siguientes: de "La Calera" y "Escondido" al NE, y "Bombero" y "Dos Hermanos" al SO. Existe además un conjunto heterogéneo de pequeños plutones dispersos en la mayoría de las unidades anteriores.

ESTRUCTURACIÓN DE LA REGIÓN

Las principales estructuras tectónicas.

Las principales estructuras tectónicas de la región limitan las unidades descriptas, configurando así contactos de falla entre unidades. Estas son:

- el límite entre la UC/UZT y la UCp está constituido por un sistema de fallas transcurrentes con padrón escalonado en

las direcciones N10-20°E y N40-60°E. El carácter sinistral de esta zona de cizallamiento puede ser comprobado a través de : a) la presencia de estructuras de tipo S-C en los litotipos graníticos afectados en el sector NO de la falla, con S entorno de N50°E y C entorno de N10°E, ambas con fuertes buzamientos en dirección a NO (55-70°); b) la existencia de diques graníticos no deformados dispuestos de forma subparalela en los escalones de dirección N10E y no así en los de dirección N40-60°E (zonas transpresivas de la falla); y c) la estructuración regional de las esquistosidades de las rocas de la UC.

- El límite entre la UC/UZT y la UOE está constituido por una zona de cizallamiento mas profunda de tipo sinistral, que exhibe intenso aplastamiento. Los indicadores cinemáticos a nivel de rocas deformadas de falla (porfiroblastos de Fs con formas de tipo sigma sinestrales y pliegues asimétricos) y la disposición regional de las esquistosidades de los litotipos de la UOE y de los cuerpos litológicos de la UC en las proximidades de la falla, apoyan el carácter sinistral de la misma.

- El limite O de la UCp con el Grupo Fuente del Puma: esta constituido por una gran falla de expresión regional con dirección general N20E, cartografiada como un frente de cabalgamiento con vergencia al NO por algunos autores (p.e. *Sánchez,1998*) o como una falla transcurrente sinistral por otros (*Preciozzi,1989; Viana,1995*). Se infiere a través de fotoanálisis un importante componente transcurrente de tipo sinistral a partir de la existencia de notorios cambios de dirección en los cuerpos de rocas metamórficas del Grupo Fuente del Puma en las proximidades da falla: desde N55-70°E lejos de la falla a N20°E más próximo a la misma.

- la zona de cizallamiento Sierra Ballena separa la UOE de un terreno principalmente magmático poco relacionado con las unidades del Grupo Carapé, debido al gran desplazamiento en

la horizontal que se procesó en esta zona de cizalla.

Análisis estructural de la UZT

La UZT presenta relaciones de contacto tectónicas con las unidades adyacentes (ya reseñadas). En su sector central, tanto al N como hacia el S la UZT es limitada por fallas inversas. Al S un frente de cabalgamiento (buzamiento 30° al SO) coloca al granito Carapé por encima de la unidad, mientras que al N ocurre lo mismo a través de una falla inversa plegada de alto ángulo (75° al NE) colocándose aquí, por encima, la UC.

Este registro litológico (que supera localmente potencias de 2500 m y tiene su base al N) se encuentra volcado con suaves a moderados buzamientos, en general hacia el S y SO, con dirección de capas litológicas variable en torno a EO. Frecuentemente, estas direcciones principales son desviadas por pliegues internos y zonas de cizalla.

El comportamiento deformacional en estas litologías es frágil-dúctil, predominando pliegues sub-isópacos (correspondientes al evento principal de deformación) asociados a fallas y fracturas que afectan a la estratificación original de las rocas de la unidad y también a una foliación continua y concordante (Sp-1) que se asocia a un acortamiento inicial de la secuencia (previo al evento tectónico principal). Este comportamiento presenta desvíos para condiciones más dúctiles en la proximidad de las fallas transcurrentes que disectan la unidad con una dirección aproximada N20E. Este hecho está posiblemente asociado a una mayor presencia de fluidos en dichas zonas durante la deformación. Los desvíos también son bien visibles en el sector E de la unidad, donde, por evidencias petrográficas, se estima que las condiciones de profundización cortical fueron más intensas.

Los pliegues pertenecientes a la fase principal de deformación poseen tendencia a ser abiertos con planos axiales de

dirección NNE, ejes b con inclinación para el SSO y desarrollo de foliaciones de plano axial Sp. En el sector E de la unidad los pliegues se tornan mas cerrados, registrándose además una componente de aplastamiento más importante.

Fallas transcurrentes sinestrales tardías, correspondientes a una fase póstuma de deformación, cortan la UZT conformando varios bloques que presentan dislocaciones evidentes al SSO, muy notorias en el sector O de la unidad.

Los pliegues internos de las litologías de la UZT, su disposición y estas dislocaciones evidencian una cinemática transcurrente transpresiva durante la evolución deformacional.

Diagramas de disposición de las estructuras asociadas a esta unidad y su cronología relativa son presentados en la Figura 3.

Análisis estructural de la UC

La UC presenta relaciones de contacto tectónicas con las unidades adyacentes (ya reseñadas). Una componente de aplastamiento importante con dirección SE-NO queda registrada tanto en sus límites tectónicos con las unidades adyacentes, como en la propia unidad.

En el sector N (ACN) la UC es desagregada tectónicamente, debido al alojamiento de grandes cuerpos graníticos tardi-tectónicos (por ejemplo o granito de La Calera) y al funcionamiento de la tectónica transcurrente tardía en un corredor mas angosto entre los cuerpos granitoides.

En el sector S (ACS) las litologías presentan intensa deformación, con disminución de tamaño de grano por recristalización dinámica, en las proximidades de la zona de cabalgamiento sobre la UZT. Es particularmente notorio en este sector la presencia de filones y diques de microgranitos y granitos a Bt (de tipo sin-tectónico), los cuales son concordantes con las estructuras de la secuencia, existiendo localmente una

densidad tal que el volumen de granitos es igual al volumen de rocas encajantes (por ejemplo en la zona del gran pliegue situado al O de la asociación).

El comportamiento deformacional fue francamente dúctil con predominio de pliegues anisópacos. Este comportamiento, así como las condiciones metamórficas verificadas en la petrografía, apoya la afirmación de que esta unidad se habría situado en un nivel crustal mas profundo que el correspondiente a la UZT.

Los pliegues asociados al evento principal de deformación poseen en general una tendencia a ser cerrados con planos axiales en dirección NNE, subverticales y con ejes b con moderada inmersión tanto al SSO como al NNE. La actitud de los estratos se aproxima generalmente a la vertical. Estos pliegues evidencian el funcionamiento de una tectónica transcurrente sinistral transpresiva durante la deformación progresiva.

Diagramas de disposición de las estructuras asociadas a esta unidad y su cronología relativa son presentados en la Figura 3.

Cronología de eventos Tectónicos

En función de las estructuras micro, meso y macroscópicas presentes en la región, de su cronología relativa y de su vinculación con la blastesis metamórfica, es posible definir tres eventos o fases deformacionales que caracterizan la evolución tectónica Neoproterozoica de la región: D1, D2 y D3. A estas fases deformacionales se asocian tres eventos metamórficos principales registrados fundamentalmente en las rocas supracorticales que se analizan en el ítem siguiente.

El primer evento D1 reconocido en las unidades supracorticales se asocia a un acortamiento tectónico inicial con la consecuente generación de una foliación en general paralela a la estratificación (Sp-1 = S0).

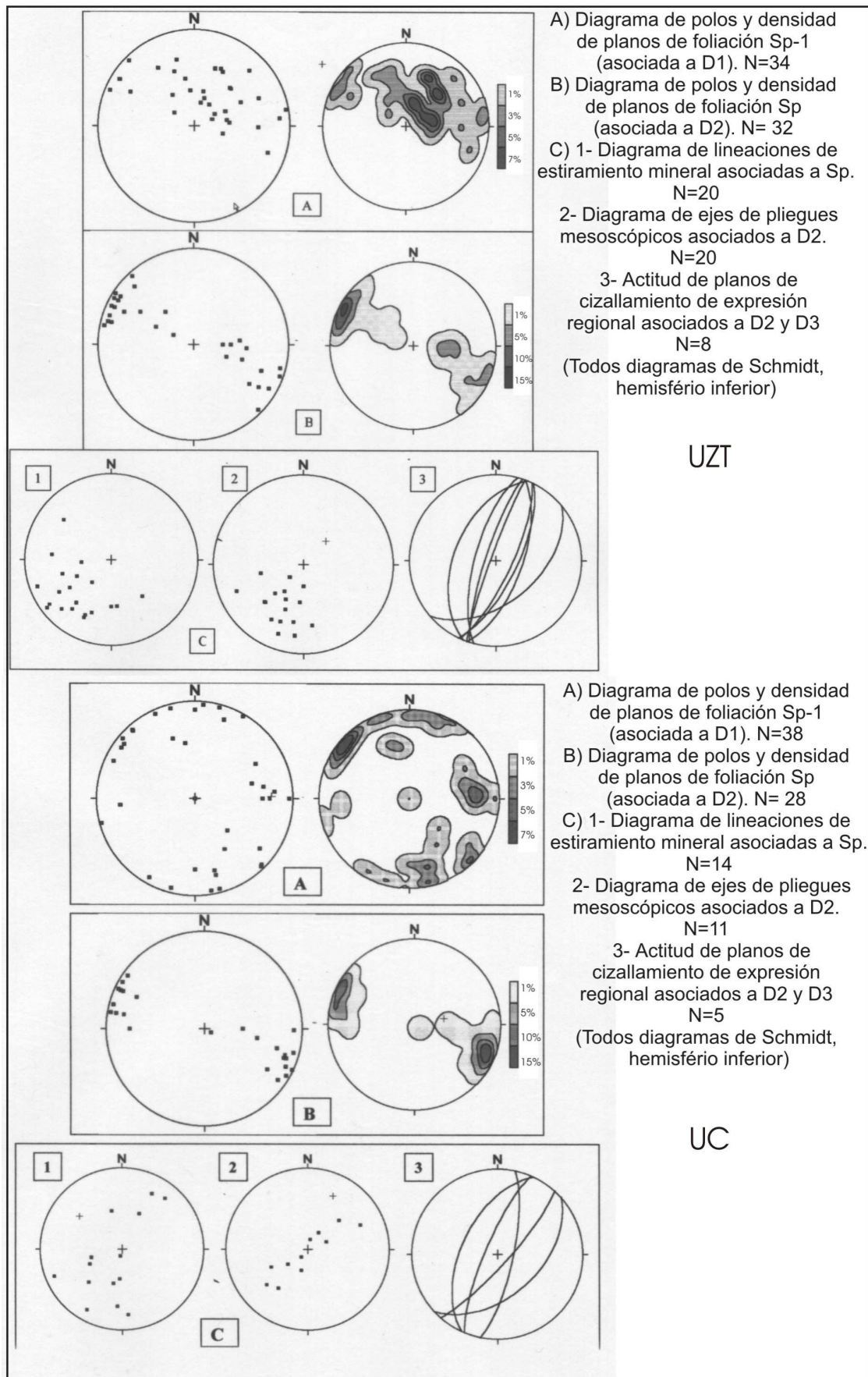


Figura 3 – Disposición de estructuras de la UZT (arriba) y de la UC (abajo).
Figure 3 – Structures disposition of the UZT (upper) and UC (lower).

El segundo evento D2 (el más importante en relación con la estructuración actual del área) corresponde a un acortamiento regional en la dirección SE-NW, en un contexto cinemático transpresivo sinistral, que afectó a todas las unidades de la región generando un plegamiento de pliegues macroscópicos en las unidades supracorticales, con foliaciones de plano axial asociadas, y foliaciones miloníticas en las unidades granitoides (Sp), así como diversos contactos tectónicos regionales de alto y bajo ángulo entre ellas (cabalgamientos y transcurrencias).

El tercer evento D3 corresponde a un acortamiento regional oblícuo, trancurrente sinistral tardío con componente transpresiva, que genera deformación frágil afectando a todas las unidades y estructuras previas.

La tabla II presenta un resumen de estos eventos tecto-metamórficos.

Magmatismo y tectónica

El magmatismo de la región se vincula a la evolución tectónica de la misma. Además de los caracteres petrográficos y de transformación mineral por deformación, se analizaron los caracteres estructurales de diferentes cuerpos magmáticos y se clasificaron a estos en tres categorías de rocas granitoides, en función de su edad relativa al principal evento tectónico de la región (D2): pre, sin y tardi-tectónicos. Los estudios geoquímicos (elementos mayores y menores), efectuados a rocas de estos diferentes grupos granitoides, involucraron a 17 muestras: 9 de granitos tardi-tectónicos de diferentes plutones de la región, 3 de sin-tectónicos y 5 de granitoides pre-tectónicos (afines a los anteriores) de la UCp. Básicamente, la mayoría de los cuerpos granitoides considerados, presentaron similares comportamientos en los diagramas de variación y discriminación. Sin embargo los granitoides pertenecientes a los agrupamientos pre y sin-tectónicos presentan características geoquímicas que

indicarían la existencia de un proceso de metasomatismo potásico que afectó a las plagioclasas y que estuvo relacionado a la actuación de la tectónica.

Del análisis de los datos geoquímicos resulta que el magmatismo de la región se asociaría a un magma parental que sufre pocos cambios y que se aloja antes, durante y después del evento principal trancurrente D2, siendo de carácter peraluminoso, de tipo calcoalcalino a calcoalcalino de alto potasio (probablemente esto como consecuencia de la actuación de metasomatismo potásico vinculado a la deformación), asociado a un ambiente de colisión continental en situación tardi-orogénica a pos-orogénica.

La Tabla III presenta las principales características geoquímicas de los granitoides estudiados.

METAMORFISMO.

Se exponen aquí algunas consideraciones respecto a las condiciones metamórficas sufridas por las unidades de rocas estudiadas.

Es posible definir en la región tres eventos metamórficos separados en el tiempo, dos de ellos de carácter regional y un tercero con características locales (Figura 4).

El primer evento de metamorfismo (M1) estaría vinculado probablemente a un acortamiento, de tipo cizallamiento puro, de los paquetes metasedimentarios y es de difícil estudio y resolución debido a que sus efectos, en cuanto a transformaciones de fases minerales, son retomados por los siguientes. Se verifica la generación de nuevas texturas y estructuras asociadas a este evento, como por ejemplo la foliación de algunos litotipos, paralela a la superficie de estratificación (So) que es retomada en el evento transpresivo posterior (D2). Este hecho es más notorio en la UZT en la cual las superficies de estratificación se preservaron mejor y son fácilmente reconocidas.

	1er evento de deformación D1	2do evento de deformación D2	3er evento de deformación D3
<i>Proceso tectónico vinculado</i>	Acortamiento de paquetes sedimentarios y vulcano-sedimentarios	Sistema de zonas de cizallamiento transcurrente vinculado a transpresión que generan acortamientos SSE-NNO de la faja de supracorticales	Sistema de fallas transcurrentes en condiciones reológicas mas frágiles que acomoda el progresivo acortamiento en sentido SO-NE del Grupo Carapé
<i>Estructuras asociadas</i>	- Foliationes paralelas a las superficies de estratificación (Sp-1)	2) Pliegues meso a macroscópicos de Sp-1 y de la superficie de estratificación So (planos axiales de dirección N-NNE con ejes subverticales tanto al S como al N. 3) Foliationes de plano axial asociadas (Sp) 4) Zonas de cabalgamiento entre la UZT-UC y UZT-granito Carapé. 5) Zonas de cizallamiento de los límites E y O de las unidades supracorticales.	6) Fallas transcurrentes dislocando estructuras de la fase D2. 7) Zonas de cizallamiento tardías afectando el granito Carapé y la Ucp . 8) Dislocamiento en bloques de la UZT y la Ucp en el sector SO del área.
<i>Metamorfismo asociado</i>	Regional M1 Textural: cambios de microtexturas en litotipos metasedimentarios	Regional M2 dinamo-térmico: cambios texturales/mineralógicos en condiciones de facies esquistos verdes (inferior) en la UZT y esquistos verdes (superior)/ anfibolita para la UC	Locales M3: cambios texturales/mineralógicos / de composición química asociados a aureolas de contacto (met. Térmico) y a canalización de fluidos (met. Hidrotermal)
<i>Magmatismo asociado</i>	Granitoides pre-tectónicos (Tonalitas/granodioritas/dioritas/granitos, a Anf y/o Bt, deformadas a muy deformadas)	Granitoides sin-tectónicos (Granodioritas/granitos, a Bt y/o Anf, deformadas)	Granitoides tardi-tectónicos (Monzogranitos a Bt, poco a no deformados)

Tabla II - Modelo de evolución tecto-metamórfica para la región central del Grupo Carapé.
Table II - Tectono-metamorphic evolution model from the mid region of the Carapé Group.

El segundo evento metamórfico regional (M2) incluye al clímax P-T y se asocia al principal evento tectónico (D2). Es por lo tanto el evento mas generalizado y mejor preservado en las litologías estudiadas. El tercer evento (M3) se relaciona a los metamorfismos de contacto e hidrotermal asociados al emplazamiento de cuerpos graníticos tardi-tectónicos y al

funcionamiento tardío de zonas de cizalla transcurrentes.

Metamorfismo de la UZT

La UZT presenta paragénesis asociadas al evento M2 indicando condiciones de metamórficas típicas de facies esquistos verdes inferior (Figura 4).

Con relación a los litotipos metacalcáreos (en general de composición dolomítica) no

	Granitoides sintectónicos (GST) y tarditectónicos (GTT)
Litotipos	GST: Granodioritas y granitos a Hb o Biot deformados GTT : monzogranitos y Qz-monzonitos a Biot no deformados
Diagramas de variación	Buen agrupamiento con baja dispersión de puntos en ambos grupos de granitoides para elementos mayores. Moderada dispersión para elementos trazas
Alcalis	Altos porcentajes: 7,5 a 9,1% en masa
Calcio	Bajo contenido : < 2,0 % en masa
Diagrama Ca-Na-K	Dispersión alineada casi perfecta de puntos de GST denotando metasomatismo K asociado a deformación y buen agrupamiento con baja dispersion para los GTT
Rb	Tenores muy bajos < 100 ppm en general
Relación Ba /Sr	En general baja (< a 3,0 para GTT y entre 3,0 y 5,0 para los GST) (sf. Maniar % Piccoli, 1989)
Clasificación por índice de saturación de Al₂O₃	Claramente peraluminosos en diagrama de Shand
Caracterización serial	Calcoalcalinos con leve tendencia a calcoalcalinos de alto potasio
Ambiente geotectónico	Tardi-orogénicos a pós-orogénicos asociados a colisión continental

Tabla III - Caraterización geoquímica de granitoides sin y tarditectónicos.

Table III - Geochemical characterization of GST and GTT granitic rocks.

se verifica la presencia de Tr a escala regional. Para el evento M2 es común la paragénesis compuesta por Dol + Cal + Qtz ± Tlc ± filosilicato blanco. La presencia de Tr asociada al evento M3 con características de génesis por infiltración de fluidos acuosos en zonas de cizallamiento tardías, indicaría que durante M2 no se traspasó la isógrada de la Tr. No obstante, en el sector E de la unidad, fueron encontrados algunos mármoles con contenidos muy bajos de Tr no asociables a M3. Esto podría indicar cierta gradación metamórfica de O a E, o estar relacionada a la intrusión o al cabalgamiento del granito Carapé.

Con relación a los litotipos metapelíticos las paragénesis estudiadas se sitúan debajo de la isógrada de la Bt, con algunas excepciones en las cercanías del granito Carapé. Esta situación, inversa con relación a la polaridad estratigráfica de la unidad, podría estar relacionada a este granito, así como fue expresado para la problemática de la Tr en los metacalcáreos. Los litotipos siliciclásticos presentan recristalización de Qtz, aunque en general

no pierden los caracteres de la textura clástica original.

Con relación al evento M3, se encuentra Bt en cuarcitas en el sector NO de la unidad, Bt-Grt en filitas localizadas en aureolas de contacto generadas por granitoides tardi-tectónicos, y Tr en mármoles dolomíticos asociada claramente a zonas de cizalla.

El primer caso (cuarcitas con Bt) se localiza en el límite N con la UCp donde se verifica la coalescencia de numerosos y potentes diques graníticos tardi-tectónicos. El emplazamiento de los mismos es cogenético con el desplazamiento de ambas unidades a través de fallas sinestrales tardías (evento D3). La recristalización de Qtz y de Bt se relaciona a los efectos térmicos del alojamiento de estos diques sobre las rocas caja.

Un ejemplo del segundo caso (Bt-Grt filitas) muestra una clara aureola de contacto asociada al emplazamiento del granito de Cerro Grande, donde se verifica a presencia de Bt y Grt en las rocas encajantes metapelíticas, así como de Bt-Scp en otras de química calcosilicatada.

Un ejemplo para el tercer caso (Tr en mármoles) lo representa el mármol dolomítico cuarzoso de la cantera LOWER

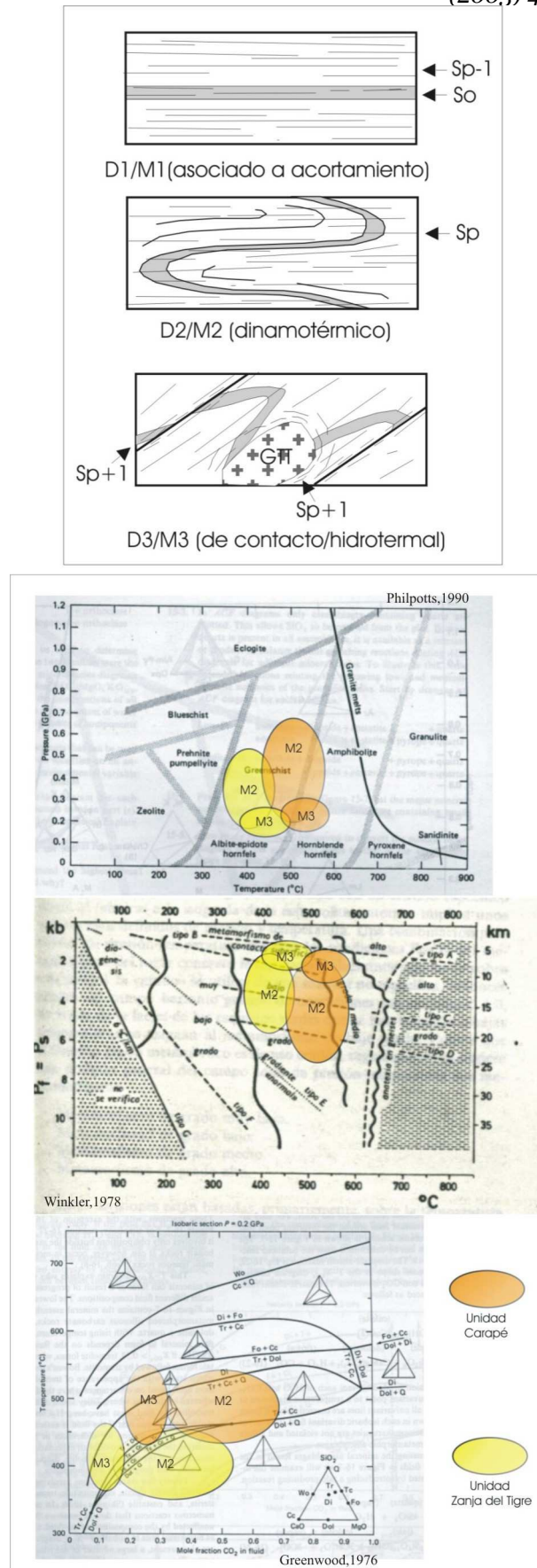


Figura 4 – Desarrollo progresivo de la foliación metamórfica (arriba) y campos

PT de metamorfismo M2 y M3 (abajo) para la UZT y UC.

Figure 4 - Progressive development of metamorphic foliation (upper) and metamorphic PT fields M2 and M3 (lower) from the UZT and UC.

(zona central de la UZT), el cual presenta cristales de Qz de origen claramente hidrotermal (formas irregulares con abundantes inclusiones fluidas mixtas) con coronas de reacción con la Dol del mármol, compuestas de finos agregados de cristales de Tr. La génesis de estos minerales se vincularía a infiltración de fluidos ricos en SiO_2 en un metacalcáreo dolomítico puro y se asocia a una zona de cizalla.

Las condiciones de presión para ambos eventos M2 y M3 se estimaron a partir de las paragénesis estudiadas, y representan campos bastante amplios debido a que no se encontraron asociaciones minerales que limitarían con precisión esa variable.

Metamorfismo de la UC

La UC presenta paragénesis asociadas al evento M2 que indican condiciones de metamorfismo típicas de facies esquistos verdes superior / anfibolita (Figura 4).

Con relación a sus litotipos metacalcáreos (en general de composición impura) se verifica la presencia regional de Tr-Act y Pho-Bt más filosilicatos blancos.

La existencia en la ACN de extensos paquetes de Di-cuarcitas con filosilicatos blancos, con continuidad de varios km. y que podrían ser interpretadas como protolitos calco-areniscos, indica que se sobrepasó la isógrada del Di a nivel regional en este sector de la unidad. La ausencia de este mineral en las metacalcáreas de la ACS, con composición química favorable, podría indicar una gradación de la intensidad de metamorfismo de SO a NE, pero también esta diferencia podría asociarse a una mayor disponibilidad de fluidos acuosos,

debido a la proximidad de las litologías con Di a la zona de transcurrencia que separa a UC de la UCp.

En los litotipos metapelíticos y metavolcánicos las paragénesis estudiadas se sitúan por encima de la isógrada de la Bt y del Grt en toda su extensión, con aparición de este último mineral dependiendo de la composición de la roca original.

Las rocas calcosilicatadas presentan paragénesis con Act (Hbl) + Qtz $\pm$ Cc $\pm$ Dol $\pm$ Ep $\pm$ Bt, típicas de condiciones de facies esquistos verdes superior / anfibolita. La identificación de la Hbl y su separación de la Act se realizó solo utilizando métodos de microscopía óptica (principalmente a partir de diferencias a nivel de pleocroísmo y de ángulos de extinción), por lo que subsiste razonables dudas respecto a la ubicación de estas paragénesis calcosilicatadas en el facies anfibolita.

Los efectos de metamorfismo de contacto asociados al evento M3 están menos desarrollados en esta unidad, si bien los volúmenes de magmas intrusivos fueron mucho más importantes. Esto sería consecuencia del menor contraste térmico de los magmas con relación a las rocas encajantes. La actividad hidrotermal asociada generó abundantes hidrotermalitas ricas en Qz y Turm verde y podría además estar asociada a la generación de las paragénesis con Di en la ACN.

El estilo de la deformación francamente dúctil, dominante en esta unidad y relacionado al evento D2, estaría en concordancia con las condiciones metamórficas estimadas.

Metamorfismo de las unidades granitoides

El metamorfismo de las unidades granitoides presenta diferencias substanciales con relación a las condiciones dinamo-térmicas a que fueran

sometidas las mismas en el evento principal M2.

La UCp registra condiciones de deformación y metamorfismo típicas de facies esquistos verdes: presencia regional de foliaciones protomiloníticas, localmente miloníticas, y transformaciones en los litotipos deformados, de Anfíboles a Ep + Bt y de Fs a Ms + Qtz. El mineral mas extendido en las fajas de cizallamiento es la Ms.

La UOE presenta condiciones de deformación y metamorfismo típicas de facies anfibolita: deformación francamente dúctil con segregación metamórfica extrema, y existencia de cuerpos discretos y concordantes de anfibolitas con paragénesis Pl + Qtz + Hbl + Sph.

Estas notorias diferencias estarían apoyando la hipótesis, ya manejada para las unidades supracorticales, de que el registro litológico actual de esta porción del Grupo Carapé tendería a profundizarse de O a E.

EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA REGIÓN.

De forma esquemática, se expone a continuación el modelo de evolución geológica y tectónica que mejor ajusta las características petro-estructurales relevadas para el área estudiada (Figura 5). Las edades relativas del magmatismo asociado a los diferentes eventos tecto-metamórficos se incluyen tentativamente y están en concordancia con numerosas publicaciones de datos geocronológicos y revisiones de los mismos para este sector del CCD (entre otros: Bossi, 1983; Preciozzi *et al.*, 1993; Bossi & Navarro, 1988; Sánchez, 1998; Campal & Schipilov, 1999; Preciozzi *et al.*, 1999; Basei *et al.*, 2000).

El modelo que se propone en este trabajo es:

A) Conformación de potentes paquetes sedimentarios y vulcano-sedimentarios en cuencas plataformales. Existen notables diferencias, entre las condiciones de

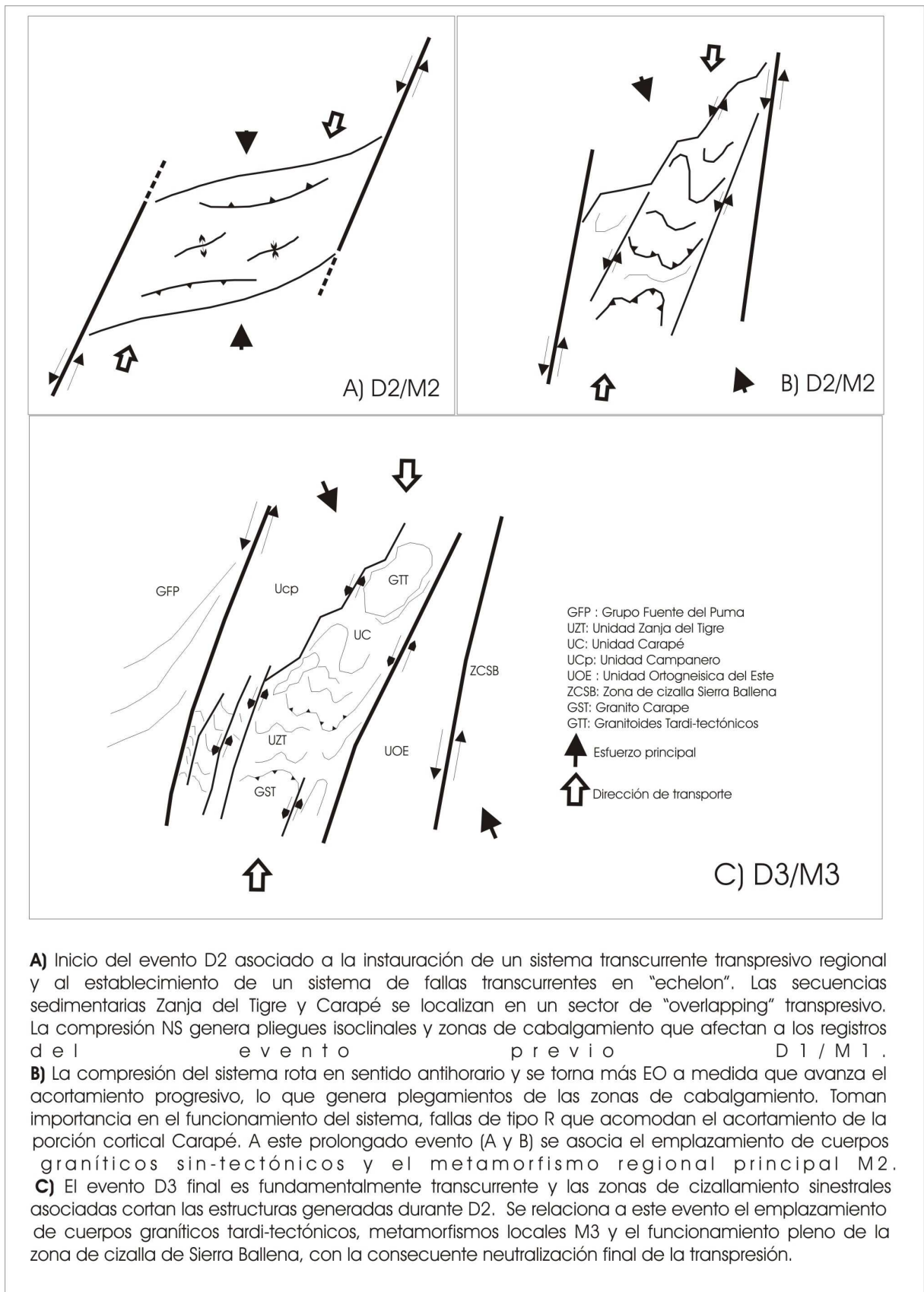


Figura 5 – Esquema de evolución tectónica progresiva Neoproterozoica propuesta para el área Carapé.

Figure 5 – Neoproterozoic progressive tectonic evolution proposed from the Carapé zone.

deposición que generaron los registros de las unidades UZT y UC. Esto se denota por los litotipos que las conforman y sus arreglos estratigráficos. Si bien no sea posible discernir si se trata de registros litológicos generados en un mismo sistema depocéntrico o si correspondieron inicialmente a diferentes ámbitos geográficos, en cualquier caso se trata de registros pertenecientes, desde el punto de vista estratigráfico, a dos secuencias sedimentarias diferentes. Estos registros sedimentarios se habrían generado en el Mesoproterozoico, considerando una edad probable para su sedimentación la estimada para el Grupo Fuente del Puma que varía según los autores entre 900 Ma (Sánchez, 1998) y 1200 Ma (Bossi & Campal, 2002)

B) Soterramiento de estos registros y primer evento dinamo-térmico regional D1/M1 (recristalización mineral y aparición de foliaciones en general paralelas a los planos de estratificación, Sp-1), asociado probablemente a acortamientos iniciales de los paquetes en los inicios de la evolución transcurrente. Asociado a este evento ocurren emplazamientos de granitoides pre-tectónicos en el basamento pre-Brasiliano (del cual existirían restos preservados en las UCp y UOE), y en las unidades metamórficas teniendo como entorno cronológico más probable para este magmatismo el de 770-850 Ma.

C) Instauración de una cinemática transcurrente transpresiva sinistral asociada al establecimiento de un sistema de fallas de cizallamiento sinestrales en "echelon". Las secuencias sedimentarias Zanja del Tigre y Carapé se localizan inicialmente en un sector o sectores de "overlapping" transpresivo. Relacionado a este prolongado evento tecto-metamórfico (D2/M2) se tiene:

c.1) Generación de magmas sin-tectónicos y su emplazamiento a nivel cortical medio y superior (conformación de cuerpos plutónicos sin-tectónicos con edades probables entorno de 700-650 Ma).

c.2) El segundo evento metamórfico regional M2 se relaciona a este evento tectónico, y a él se asocian los cambios mineralógicos en condiciones de facies esquistos verdes inferior para la UZT, en condiciones de facies esquistos verdes superior / anfibolita para la UC y la aparición, en todas las unidades, de nuevas fábricas y estructuras tectónicas mesoscópicas asociadas a estructuras mayores cogenéticas.

c.3) Importante acortamiento progresivo a partir del funcionamiento del sistema transcurrente transpresivo en echelon, generándose los cabalgamientos asociados de la UC y del granito Carapé sobre la UZT, plegamientos de las superficies de estratificación y de foliación (correspondiente a M1) de los registros metasedimentarios y posteriormente de las superficies generadas de cabalgamiento.

c.4) Los conjuntos graníticos sufren durante este evento progresivo una intensa cataclasis y milonitización heterogénea. Estos núcleos conforman desde el inicio de la deformación los contrafuertes del sistema, determinando que la misma sea concentrada preferentemente por la faja de supracorticales.

A esta evolución transpresiva se pueden vincular estructuras del Grupo Carapé externas al área estudiada, como ser el gran pliegue de Cabral al S, el cabalgamiento SO del granito Pan de Azúcar y la transcurrencia sinistral con el Grupo Fuente del Puma, lo cual también apoyaría la hipótesis de un transporte tectónico NE-SO para todo el conjunto durante el Neoproterozoico. Las zonas de cizallamiento ubicadas al E, conformando

parte de la zona de cizalla de Sierra Ballena, jugarían un rol importante en las etapas finales de este evento transpresivo principal.

D) Intrusión de granitoides tardi-tectónicos (edades probables entorno a 630-580Ma), concomitante con la evolución del sistema transpresivo a condiciones tardías transcurrentes. Asociado a este magmatismo tardío se verifica:

d.1) Metamorfismo local de contacto en encajantes metasedimentarias (M3).

d.2) Metamorfismo local hidrotermal asociado a la circulación de fluidos en estructuras tectónicas activas transcurrentes y zonas asociadas a direcciones de extensión del sistema transcurrente. Esto ocurre en todas las unidades supracorticales con asociación espacial estrecha a estructuras tectónicas.

d.3) Funcionamiento transcurrente tardío de las principales estructuras tectónicas dispuestas en dirección SO-NE de la región, lo que produce cortes locales de estructuras anteriormente generadas y la conformación geométrica actual del registro estructural preservado y ahora expuesto.

d.4) Evento transcurrente final de la zona de cizallamiento sinistral de Sierra Ballena (515 ± 20 Ma, Gómez Rifas, 1989), localizada al E de la UOE.

CONCLUSIONES

A partir del análisis y la interpretación de las características geológicas de la faja metamórfica principal del Grupo Carapé se estableció un modelo evolutivo compuesto por tres eventos tecto-metamórficos con magmatismo asociado (calcoalcalino), caracterizando una historia Neoproterozoica fundamentalmente asociada a una tectónica transcurrente

sinistral transpresiva. El modelo geodinámico propuesto inicia a partir de la existencia de núcleos granitoides y registros meta-vulcano-sedimentarios pre-Brasilianos sometidos a un progresivo acortamiento SE-NO y a transurrencias NE, con transporte tectónico neto hacia el SSO. Durante este evento transpresivo se producen inyecciones de magmas calcoalcalinos que son emplazados, deformados y metamorizados junto a los registros supracorticales. Estos registros fueron exhumados desde diferentes profundidades corticales durante el metamorfismo regional y paulatinamente se colocaron a similar nivel a través de fallas inversas durante el progreso del transporte tectónico y la deformación. Ese evento tectónico culminó con características cinemáticas principalmente transcurrentes sinistral, acomodándose así el último acortamiento SE-NO. Ese final se registra en condiciones corticales menos profundas, con un estilo de deformación más frágil.

El magmatismo asociado en estas últimas etapas es geoquímicamente similar al del evento principal transpresivo. Se expresa como intrusiones discretas que propician fenómenos locales de metamorfismo.

Este modelo de evolución tecto-metamórfica puede extenderse a todo el Grupo Carapé (considerándolo como una unidad litoestructural del CCD) al analizar las estructuras tectónicas existentes fuera del área estudiada (pliegue de Cabral al S, cabalgamiento SO del granito Pan de Azúcar, transurrencia sinistral con el Grupo Fuente del Puma al W y zona de cizallamiento de Sierra Ballena al E) lo que apoya la siguiente hipótesis de trabajo para futuras investigaciones: el Grupo Carapé es una unidad litoestructural alóctona, con relación a sus vecinas del CCD que sufrió un importante transporte tectónico NNE-SSO durante la evolución Neoproterozoica de este cinturón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Basei, M.; Siga J.R.; Masquelin, H.; Harara, O.; Reis Neto, J.; Preciozzi, F.(2000) - "The Dom Feliciano Belt of Brazil and Uruguay and its foreland domain, the Rio de la Plata craton" in "Tectonic evolution of South America" Editores: Cordani,D.; Milani, E.; Thomaz Filho, A.; Campos, D. Rio de Janeiro, Brasil: 311-334.
- Bossi, J. (1983) - " Breve reseña del conocimiento geológico del Escudo Predevoniano en Uruguay (Sud America)". Zbt. Geol. Paläont. . Vol. 1, 3 - 4 : 417 - 429 . Stuttgart .
- Bossi, J ; Navarro, R. (1988) - " Geología del Uruguay" . Tomo 1. Departamento de publicaciones de la Universidad de la República, Montevideo. 453 p.
- Bossi, J. & Navarro, R. (2001)- "Grupo Carapé: su reivindicación". Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología, III época, N°8, pag 2-12
- Bossi, J. & Campal, N. (2002)- "Hacia un modelo del Precámbrico del Uruguay: consideraciones metodológicas". II Taller sobre la estratigrafía del Precámbrico del Uruguay. Facultad de Ciencias, Montevideo. Resúmenes ampliados. pág 5-10.
- Campal, N. ; Schipilov, (1999)- "The eastern edge of the Rio de la Plata craton : a history of tangencial collisions". In: A.K. Sinha (Ed), Basement tectonics. 13:33-48.
- Gomez Rifas, C. (1995) - " A zona de cisalhamento sinistral "Sierra Ballena" no Uruguay". Tesis de doctorado. Universidade de São Paulo, 243 p.
- Greenwood, H.J.(1975) - "Buffering of pore fluids by metamorphic reactions". American Journal of Science, 275, 573-593.
- Maniar , P-O. & Piccoli, P.M. (1989) - "Tectonic discrimination of granitoids". Geol. Society of America Bulletin, 101, p.635-643.
- Philpotts, A.R. (1990)- " Principles of igneous and metamorphic petrology". Prentice Hall, New Jersey. 458 pag.
- Preciozzi, F ; Masquelin , H.& Basei, M.A.S. (1999) -" Tectonic domains of the Uruguayan Precambrian Shield". Actas II simpósio Sudamericano de Geología Isotópica. Córdoba, p.344-345.
- Rossini , C.& Aubet, N. (2000) – "La región Zanja del Tigre-Carapé (Maldonado-Uruguay) y sus rocas metacalcáreas. Estudio geológico e implicancias estratigráficas y económicas" Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología. III época, N°7, 36-47.
- Rossini. C. (2002) – "Caracterização Petrográfica e Evolução Tectônica da Faixa Metamórfica de Serra de Carapé (Cinturão Dom Feliciano-Uruguaí)". Tesis de Maestría. Universidad Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociencias y Ciencias Exactas, Departamento de Metalogénia y Petrogénesis. Rio Claro, San Pablo. 137 pág.
- Sánchez, L (1998) - " Evolución tectónica del Cinturón Dom Feliciano en la región Minas-Pirapolis, república Oriental del Uruguay". Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas . 344 pág.
- Sengör, A.M.C. (1990) - "Plate tectonics and orogenic research after 25 years: synopsis of a Tethyan perspective". Earth Science Reviews, 27:1-201.
- Viana, N. & Ramos, G. (1995) - " Memoria geológica y carta geológica a escala 1:20.000 del sector NE del

Fotoplano Fuente del Puma. Universidad
de la República, Depto de Geología.
Inédito. 61 pag.

Winkler, H.F.G. (1978) - “ Petrogénesis de
rocas metamórficas ”. H. Blume Ediciones
. Madrid. 347 p.