

Fallas horizontales como potenciales acuíferos en el departamento de Florida

Primera parte: cabalgadura paleoproterozoica del arroyo Castro

Bossi Jorge¹; Caggiano Raquel¹, Piñeyro Daniel¹

¹*Departamento de Suelos y Aguas, Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Garzón 780, C.P: 12900, Montevideo, Uruguay. Correo electrónico: rcaggiano@fagro.edu.uy*

Recibido: 29/10/09 Aceptado: 9/5/11

Resumen

Desde 1996 Bossi y Piñeyro plantearon la posibilidad de contactos subhorizontales entre las unidades geológicas del Terreno Piedra Alta, de grado metamórfico y asociaciones litológicas muy diferentes. En un taller itinerante se descartó la idea por falta de milonitas horizontales en los planos propuestos, que contenían pegmatitas y/o microgranitos laminares a muscovita, de muy bajo buzamiento. La posibilidad de que ese magma peraluminoso actuara como lubricante y permitiera desplazamientos significativos sin grandes esfuerzos hizo que el tema se retomara, aprovechando 850 observaciones del «Proyecto Vulcanitas Arqueanas» y 750 observaciones del «Proyecto Terreno Piedra Alta». Las observaciones georeferenciadas fueron ubicadas sobre cartas topográficas 1/50.000 y las zonas con mayor densidad de datos fueron aerofotointerpretadas a escala 1/40.000 y relevadas geológicamente a diferentes escalas. Quedó confirmada la cabalgadura de la faja granítica Florida sobre el cinturón San José y se descubrió la cabalgadura del Arroyo Castro con un buzamiento al norte de 2 %.

Palabras clave: cabalgaduras, pegmatitas, Proterozoico, laminación horizontal

Summary

Horizontal Faults as Potential Aquifers in the Department of Florida Part One: Thrust-fault Paleoproterozoic Castro Creek

Since 1996 Bossi and Piñeyro proposed the possibility of subhorizontal contacts between Piedra Alta geological units with very different metamorphic grade and lithological associations. The idea was discarded in an itinerant workshop because of lacking of mylonites in the proposed planes containing pegmatites and/or muscovite granites of very low dipping. The possibility that peraluminous magma acted as a lubricant and allow significant movements without great efforts led to rework the topic, utilizing 850 observations of the «Vulcanitas Arqueanas Project» and 750 observations of the «Terreno Piedra Alta Project». Georeferenced observations were located on 1:50,000 topographic maps and areas with higher density were aerophotointerpreted at 1:40,000 scale and geologically surveyed at different scales. The thrust-fault of Florida «granite belt» over San Jose belt was confirmed, and a new thrust-fault was found in the Arroyo Castro valley with 2% dipping to the north

Key words: thrust-faults, pegmatites, Proterozoic, horizontal lamination

Introducción

El departamento de Florida es la zona geográfica hacia donde se va a extender la producción lechera en su probable crecimiento. Esta producción exige el uso de abundante agua potable entre sus insumos. En este departamento los acuíferos conocidos son preferentemente los fisurados de caudales pequeños (menores a 5.000 l/h) y dificultad de ubicación, con riesgo de pozos secos.

La existencia de cabalgaduras (fallas subhorizontales) de varios metros de espesor y decenas de km² de extensión sugiere la posibilidad de poseer fracturas conectadas rellenas de agua, y comportarse como acuíferos porosos con mínimo riesgo de error en su hallazgo. Una experiencia semi cuantitativa en los alrededores del SUL en la localidad de Alejandro Gallinal (ex Cerro Colorado) mostró ocho perforaciones con caudal similar y niveles de contribución a la misma cota. El conocimiento de filones pegmatíticos (Figura 1) y zonas de laminación tectónica subhorizontales con una frecuencia elevada, motivó priorizar académicamente este proyecto, para reunir la documentación necesaria hasta definir el verdadero proceso. No todos los autores aceptan las cabalgaduras. Según Masquelín (2006) la megaestructura del terreno Piedra Alta (Dionisio Occidental) fue considerada por Bossi *et al.* (1998) como el resultado de una imbricación tectónica alternando rocas supracrustales con lascas de los macizos graníticos. Considera que la documentación existente es



Figura 1. Fotografía de afloramiento de filón pegmatítico horizontal.

insuficiente para apoyar ese modelo y propone uno similar al de Bossi y Navarro (1991) con fallas verticales.

Este trabajo tiene por objetivo determinar la existencia y ubicación de planos subhorizontales donde se produjeran desplazamientos de bloques corticales con generación de intensa fracturación. Eso aprovecharía la particularidad de que las cabalgaduras se produjeron sin desarrollo de milonitas porque los esfuerzos fueron minimizados por la inyección de un magma peraluminoso que actuó como lubricante. Ese magma cristalizó como microgranito o pegmatita muscovítica con buena definición de la estructura subhorizontal.

Metodología

Desde 1996 se plantea la existencia de cabalgaduras en el Terreno Piedra Alta sensu Bossi *et al.* (1993) pero no son aceptadas en talleres itinerantes por la no existencia de milonitas en los planos de fallas. Fernandes y Porcher (1994) demuestran que los granitos peraluminosos inyectados durante el deslizamiento de una falla transcurrente de escala continental, permiten que el fenómeno opere con mínimo esfuerzo. Esa idea es aplicada a las fallas horizontales de Florida, ya que sistemáticamente contienen microgranitos y/o pegmatitas peraluminosas en el plano de falla.

El área a estudiar había sido objeto de tres programas: Granito Negro durante 1988-1991; Vulcanitas Arqueanas durante 1995-1997 con 830 observaciones y laboratorio y Terreno Piedra Alta durante 1998-2001 con 750 observaciones de campo. Existían entonces abundantes antecedentes georeferenciados, que constituyen el aporte fundamental para elegir la zona de trabajo.

El primer paso fue cartografiar todos los afloramientos que tuvieran pegmatitas horizontales o laminación tectónica horizontal a escala 1/1.000.000 utilizando los valores de coordenadas planas referidas en las descripciones o extraídas de los puntos ubicados en las cartas topográficas escala 1/50.000 del SGM. Eso dio una distribución caótica no directamente interpretable pero con una densidad de puntos de observación que pronosticaba el hallazgo de resultados positivos. (Figura 2).

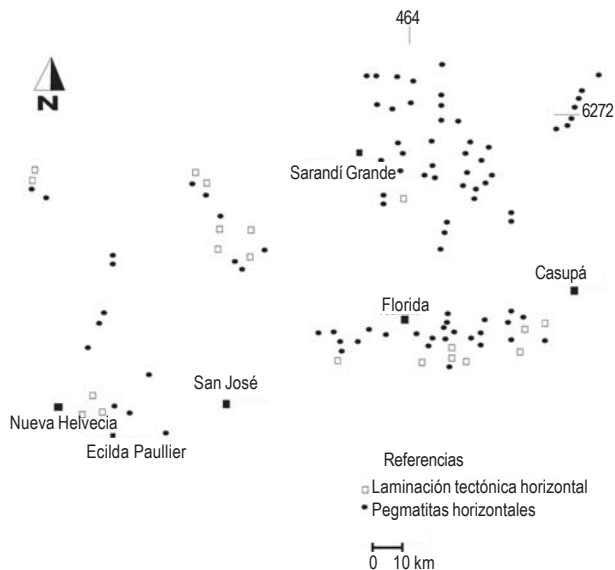


Figura 2. Afloramientos de pegmatitas y laminaciones tectónicas horizontales.

Las pegmatitas horizontales con muscovita y las zonas con laminación tectónica horizontal fueron resaltadas para su posterior tratamiento.

El paso siguiente fue unir los afloramientos de pegmatitas utilizando la base topográfica de modo que se diferenciaron por pendiente homogénea las que pertenecían al mismo plano.

Identificadas las posibles zonas con planos de falla de baja pendiente se realizaron estudios fotogeológicos a escala 1/40.000 y 1/20.000 para trazar fallas verticales y confirmar algunas estructuras horizontales con litologías diferentes por encima y debajo de la falla.

A continuación se hizo el relevamiento geológico a escala 1/50.000 en la Cabalgadura del Arroyo Castro, único lugar donde la estructura quedó correctamente definida. Después de confirmar que debajo del plano de falla las rocas eran de la suite Isla Mala *sensu* Bossi *et al.* (1998) y los que quedaban encima pertenecían a la Faja Granitizada Florida, se demostró la existencia de una cabalgadura y se entendió que era necesaria su comunicación.

Antecedentes

El volumen de antecedentes puede ser dividido en tres categorías: litológicos, geotectónicos y cabalgaduras locales confirmadas.

Los *antecedentes litológicos* se refieren a la cita de abundantes pegmatitas subhorizontales (0-10° de buzamiento), aprovechados para extraer cuarzo de gran pureza. Ya Bossi y Navarro (1991) plantean que una de las características más salientes del zócalo cristalino uruguayo (hoy Terreno Piedra Alta) era la abundancia de pegmatitas subhorizontales. La descripción de estos cuerpos se hizo siempre con bastante detalle por ser la única fuente de cuarzo y feldespato de alta pureza. Los referidos autores citan 22 afloramientos con predominio de feldespato K⁺.

Desde el primer relevamiento fotogeológico regional presentado por Ferrando y Fernández (1971), se reconocen tres cinturones metamórficos separados por fajas granito-migmáticas. Los cinturones metamórficos fueron caracterizados como volcano-sedimentarios por Bossi *et al.* (1975) y de norte a sur se denominan Andresito, San José y Pando (Bossi *et al.*, 1993). La faja granito-migmática se denomina Florida, usando la terminología de Bossi y Navarro (1991). Trabajos posteriores (Bossi, comunicación personal) demuestran que el Cinturón Pando no pertenece al Terreno Piedra Alta, sino al nuevo Terreno, denominado Tandilia (Bossi, comunicación personal).

El cinturón Andresito está compuesto por la Formación (Fm) Arroyo Grande y el complejo magmático Marincho; el cinturón San José por la Fm Paso Severino y la suite Isla Mala. A continuación se expone una breve descripción de la Faja Granitizada Florida. Fm Paso Severino y de la suite Isla Mala, que son las tres unidades litológicas involucradas.

Faja Granitizada Florida: constituye el subsuelo del norte del departamento de Colonia, al este del de Soriano y los departamentos de Flores y Florida y el oeste del departamento de Lavalleja (Bossi y Navarro, 1991). Una de las características más notables es la abundancia de áreas graníticas con porfiroblastos de microclina y biotita como accesorio dominante. Estas rocas son petrográficamente granodioritas o granitos calco alcalinos con presencia de plagioclasas, microclina y cuarzo. El accesorio dominante es la biotita.

Fm Paso Severino: unidad definida inicialmente en la zona de los alrededores del Paso Severino del Río Santa Lucía Chico, al sur y sureste de la locali-

dad de 25 de Mayo en el departamento de Florida. (Bossi y Navarro, 1991). La asociación litológica está integrada por supracrustales de bajo grado metamórfico. Las rocas dominantes son metapelitas, filitas, prasinitas y metariolitas.

Suite Isla Mala: las características de esta suite se han basado en la memoria explicativa de la Carta Geológica del Uruguay (Bossi y Ferrando, 2001). Presenta un predominio de granodioritas y tonalitas, con menores proporciones de granitos y gabros. Se puede reconocer un complejo intrusivo de tipo TTG post-tectónico y un complejo gabro-granito posterior, emplazado a profundidades menores. Según Preciozzi y Bourne (1991), las rocas que lo integran son granodioritas con biotita y hornblenda, de grano medio a grueso, con ocurrencia de dioritas y granitos.

Los *antecedentes tectónicos* se refieren a la existencia de una laminación tectónica horizontal planteada por Campal y Piñeyro (comunicación personal) que estudiaron la naturaleza de las rocas de caja de un haz de filones básicos compuesto por 7000 individuos de aproximadamente 1000 m de longitud y 20 m de espesor medio. Una de las conclusiones extraídas fue que las rocas encajantes fueran de la naturaleza que fueran habían sido objeto de una laminación tectónica horizontal. Bossi y Campal (1991) describen esta laminación en base a seis características dominantes: buzamiento entre 0 y 15°, penetratividad variable de milimétrica a decimétrica; afecta a todas las litologías; no genera desplazamientos importantes; se pasa transicionalmente de áreas muy afectadas a zonas donde son inexistentes; el fenómeno se hace especialmente visible en rocas meteorizadas. Estas características son similares a las descritas en la bibliografía para los fenómenos de decompresión, pero hay ciertos elementos que lo tipifican como fenómeno tectónico:

- la misma roca en la misma posición topográfica presenta o no el fenómeno de laminación
- se ha observado roca sana en superficie y laminada en profundidad.

Se clasifican los afloramientos en tres categorías, dependiendo del grado de penetratividad de la superficie:

- a) Alta penetratividad con laminación centimétrica.
- b) Intermedia con diaclasas cada 10 cm.
- c) Litologías afectadas solamente por fajas de laminación discontinuas.

El mejor ejemplo de laminación tectónica se presenta en los alrededores de Sarandí Grande (departamento de Florida), (Figura 3).



Figura 3. Desmonte sobre ruta 42 al W de Sarandí Grande para mostrar laminación tectónica horizontal en granito.

Allí faltan los afloramientos y la zona es típicamente agrícola. Las áreas no afectadas presentan abundantes afloramientos y topografía ondulada fuerte con marcado control tectónico en la red de drenaje: cursos rectilíneos y asimétricos.

Las *cabalgaduras* o fallas inversas representan ambientes geotectónicos compresivos actuando sobre cuerpos rígidos y constituyen una de las pruebas para el apoyo de tectónica de placas. El estudio que permitió descubrir el fenómeno que se describe fue realizado en el límite entre el borde sur de la faja granitizada Florida y el borde norte del Cinturón San José.

Las primeras referencias de cabalgaduras en el Uruguay están asociadas a la posibilidad de manejo de fotografías aéreas (1966-67) cuando se encontraron pegmatitas muscovíticas horizontales en

Sarandí de Yaguarón con cristales de mica de hasta 20 cm de diámetro.

La referencia siguiente es de Campal *et al.* (1988) para explicar las pegmatitas de los cerros Mosquitos que facilita la cabalgadura de un complejo migmatítico sobre la Fm Montevideo en el cinturón Pando, hoy integrante del terreno Tandilia.

Bossi y Ferrando (2001) trazan la cabalgadura de contacto entre la faja Florida y el cinturón San José prácticamente en toda la extensión conocida y señalan dos tramos de cabalgaduras a la altura del km 130 de la ruta 5 como se expone gráficamente en la Figura 4.

El tema sin embargo quedó sin resolver en forma definitiva especialmente por falta de procesos de milonitización que deberían asociarse a cabalgaduras de dimensión considerable.

Por otro lado, Fernandes y Porcher (1994) demuestran la posibilidad de que las pegmatitas y microgranitos peraluminosos se generen en el interior de la corteza, y actúen como lubricantes en el desplazamiento de bloques bajo condiciones geotectónicas de intensa compresión. Este criterio a su vez es un argumento muy sólido para explicar la ausencia de milonitización en el límite entre escamas tectónicas, donde el magma pegmatítico peraluminoso serviría de lubricante.

Sin embargo, la estructura subhorizontal no se asociaba a posibles cabalgaduras hasta 1996 cuando se visitaron en un taller itinerante con geólogos argentinos y uruguayos¹. Allí se descubre una falla horizontal en los alrededores de Berrondo en una cantera abandonada al borde de un camino, donde Bossi y Piñeyro obtienen la carta geológica de la Figura 5.

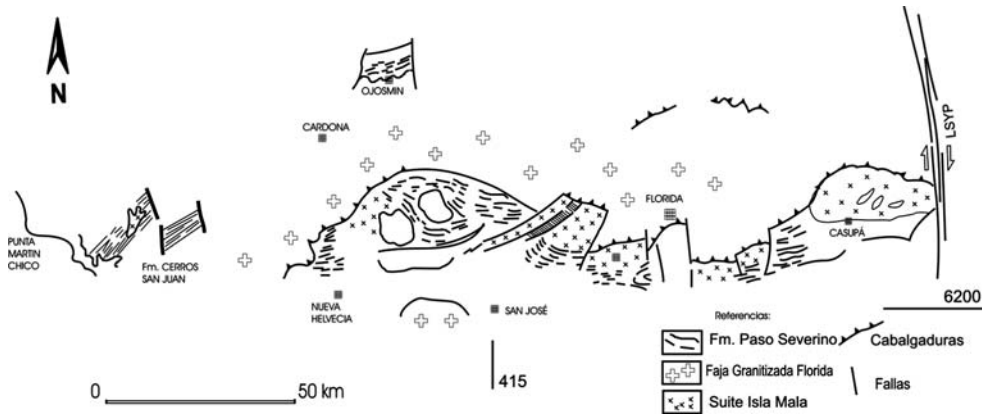


Figura 4. Carta geológica regional de la cabalgadura de contacto de la Faja Florida sobre el Cinturón San José (fm Paso Severino+suite Isla Mala+ Gabros).

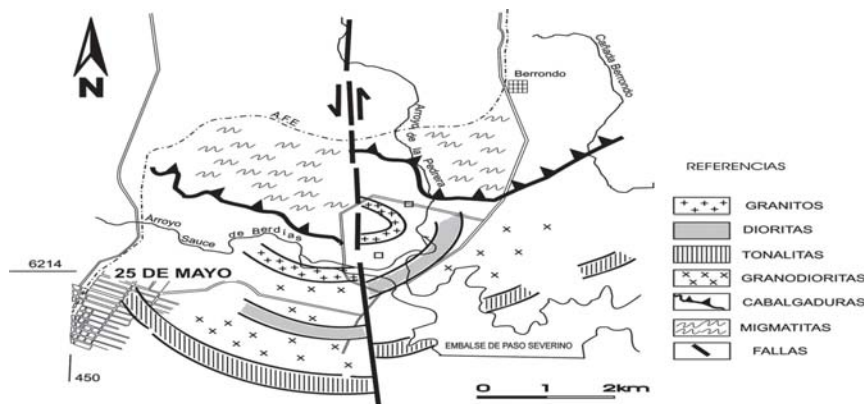


Figura 5. Carta de detalle de la cabalgadura Berrondo al NE de la ciudad 25 de Mayo.

¹Taller Itinerante: Correlación Piedra Alta-Tandilia. 1996-1999 Uruguay.

El gran problema de la zona era la aparición de una estructura en arco con bandas alternadas de granodioritas y tonalitas donde las interpretaciones fueron las más controvertidas, incluyendo la posibilidad de magmatismo pre-orogénico a tardi-orogénico suponiendo que las estructuras curvas eran pliegues concordantes con la estructura de la Fm Paso Severino (Bossi *et al.*, 1993). Estos nuevos estudios de campo y fotogeología determinaron la ausencia de cualquier tipo de lineación y como corolario, una intrusión posterior a los esfuerzos tectónicos del plegamiento en los metamorfos.

El estudio en detalle permitió reconocer un cuerpo magmático intrusivo en la Fm Paso Severino (metapelitas y metalavas de grado bajo) con desarrollo de cornubianitas y abundantes xenolitos. Este cuerpo magmático es principalmente granodiorítico con frecuentes estructuras de mezcla con un magma más básico, generalmente diorítico. Esas estructuras son tan sistemáticas que constituyen una rúbrica de este magmatismo. Sin embargo en una zona cuspidal del cuerpo intrusivo -xenolitos, «roof-pendants»- se desarrolló una estructura en bóveda con alternancia de capas de granodiorita, diorita y tonalita,

que cortada por la superficie topográfica simulaba un gran pliegue anticlinal con plano axial vertical N80W e inclinación del eje «b» de 50-70° hacia el S80E. Esa estructura es abruptamente cortada en su borde norte por pegmatitas y granitos ricos en muscovita y granate con plano de contacto subhorizontal, buzando entre 5 y 15° al NE. La región al norte de estos cuerpos graníticos peraluminosos presenta escasos y alterados pero inconfundibles afloramientos de las migmatitas típicas que evolucionan a los granitoides Florida que se ubican a pocos kilómetros al NNE del área cartografiada.

La estructura y tectono-estratigrafía de esta zona en los alrededores de la villa 25 de Mayo en el departamento de Florida, mostraba la posibilidad de existencia de una enorme cabalgadura de migmatitas y granitoides de edad transamazoniana (2000±100 Ma) sobre un complejo ígneo-metamórfico constituido por una suite granodiorito-tonalítica (cuya edad es 2054 Ma), inyectada en una serie volcano-sedimentaria de grado bajo (pizarras, prasinitas) (Figura 6).

Las características generales coincidían con una importante cabalgadura regional: a) granitos y pegmatitas peraluminosas, tipo «S» de Chappell y White (1974) con estructura subhorizontal; b) naturaleza geológica completamente diferente de las unidades ubicadas por debajo y por encima del cuerpo granítico laminar.

En el área de Casupá quedó demostrada la cabalgadura de la Faja Florida sobre granitos de tipo TTG (Trondhjemita Tonalita Granodiorita) con megaclastos de la Fm Paso Severino (Figura 7) y se pudo trazar el contacto así como observar en el Arroyo Chamizo una pegmatita horizontal que presenta las estructuras mejor definidas, mostrando alternancias métricas de granitos finos, gruesos y pegmatoides, todos ricos en muscovita y/o biotita, con buzamiento de 10-15° al NE y con un indicador cinemático indiscutible de vergencia al SW (Figura 8).

Nuevamente en este caso, la mezcla de magmas granodiorítico y diorítico se encuentra por debajo de la lámina granítica, mientras que por encima de ella las rocas son migmatíticas, metamorfos de grado medio y pequeños núcleos graníticos de anatexis.

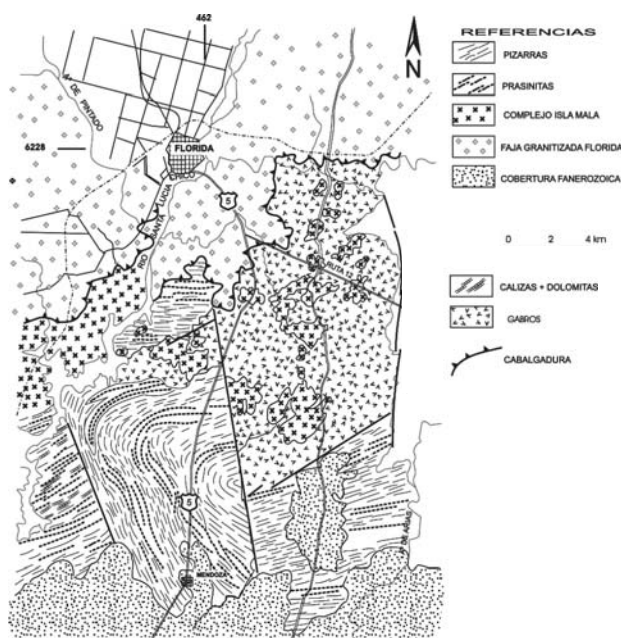


Figura 6. Gabro de Rospide cabalgado por granodioritas de la faja Florida.

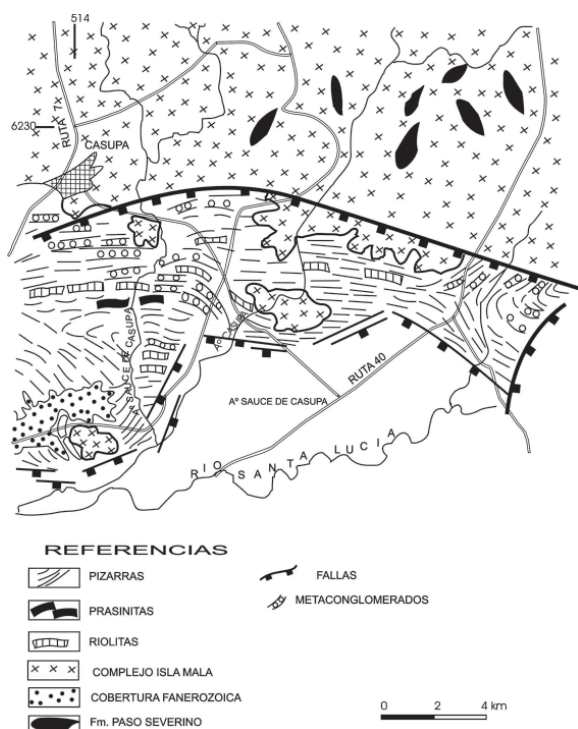


Figura 7. Carta geológica de los alrededores de Casupá mostrando megaenclaves de la Fm Paso Severino en el complejo Isla Mala

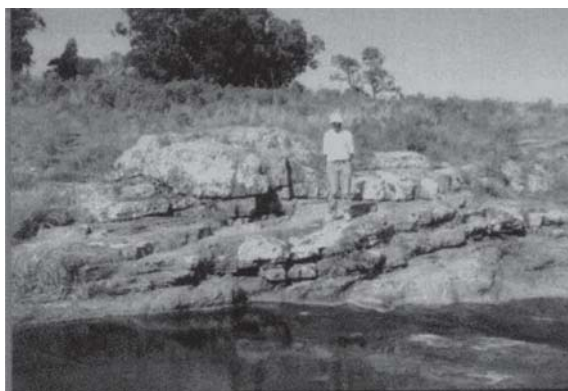


Figura 8. Fotografía de pegmatita y granitos horizontales a orillas del Arroyo Chamizo.

Dado que el cuerpo rocoso cabalgado hacia el SW posee edad de 2000 ± 100 Ma, la edad más probable de la inyección de la lámina de granitos y pegmatitas peraluminosas es de 1900 ± 50 Ma porque no afecta los filones de microgabro de 1785 ± 5 Ma (Halls *et al.*, 2001).

Ambas observaciones (Berrondo y Casupá) son las más significativas pero hay más de 20 puntos que describen pegmatitas horizontales y rocas de la Faja Florida apoyada sobre integrantes del cinturón San José.

Resultados

Cabalgadura Castro

En los antecedentes disponibles aparecen afloramientos de pegmatitas muscovíticas subhorizontales definiendo planos de cabalgadura pero sin tener la totalidad de las mismas.

La posibilidad de poder manejar un número muy importante de afloramientos georeferenciados en coordenadas planas y altura, sugirió la posibilidad de intentar establecer un contacto completo entre dos escamas tectónicamente afectadas.

Este sería el único mecanismo capaz de definir el ángulo de buzamiento porque con cifras tan bajas el valor de ningún afloramiento aislado refleja el comportamiento regional.

Donde mayor densidad de afloramientos se disponía era en la cuenca del Arroyo Castro y entonces se intentó establecer con precisión la distribución espacial del plano de contacto.

De todos los ensayos realizados en las cartas topográficas, fotos aéreas y giras de campo, se logró obtener resultados consistentes y sin lugar a dudas en la cuenca del arroyo Castro, al este de la localidad de Sarandí Grande.

En esta zona se dispuso de 40 afloramientos bien identificados y con estructuración tectónica indudable.

Uniendo los afloramientos se obtiene un plano inclinado con débil buzamiento al N ($30 \text{ m}/15 \text{ km}$) 2% y sugiriendo una vergencia al sur. El valle del Arroyo Castro tiene un subsuelo constituido por granitos de grano fino a medio (suite Isla Mala) por debajo de las pegmatitas muscovíticas y anfibolitas, gneisses, migmatitas y granito de grano grueso (faja Florida) por encima de las pegmatitas horizontales.

En la Figura 9 se señalan las cotas y lugares de afloramientos de las pegmatitas y laminaciones horizontales y se traza el borde respetando las cotas, con lo que se consigue una carta geológica con pre-

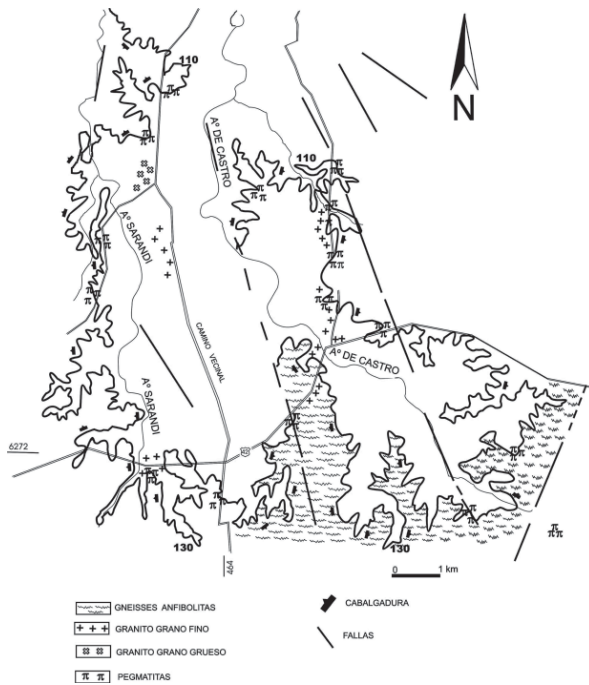


Figura 9. Carta geológica de la Cabalgadura del Arroyo Castro; en el valle Suite Isla Mala, en las divisorias de agua, Faja Florida.

cisión superior a 1/100.000 aunque inferior a 1/50.000.

Obtenida esta carta se hicieron varias giras de campo para confirmar que las rocas de la Faja Flo-

rida estaban sobre rocas del Cinturón San José y se logró en todos los casos verificar la situación, aunque siempre fue en la suite Isla Mala y nunca con la Fm. Paso Severino. La suite Isla Mala quedó bien identificada por enclaves de metamorfitos de la Fm Paso Severino y resulta lógico que aflore por su mayor resistencia a la fricción y meteorización que las prasinitas y metapelitas. De hecho, en todos los casos de cabalgamiento seguro en el límite del cinturón San José (Berrondo, Casupá, Rospide), las rocas de la Faja Florida muestran granitoides de la suite Isla Mala.

Otras cabalgaduras

Las observaciones de posibles cabalgaduras son numerosas dentro del TPA pero no se ha conseguido resolver estructuras indiscutibles al unir los puntos, aún teniendo en cuenta las fallas que se detectaron en fotos aéreas a escala 1/20.000. En la Figura 10 se expone un esquema que muestra el estado actual de los conocimientos con cabalgaduras seguras y probables. Hay que tener presente que se están cartografiando planos casi horizontales y que pequeñas fallas de 10-20 m de rechazo cambian radicalmente la distribución espacial y la geometría cartográfica.

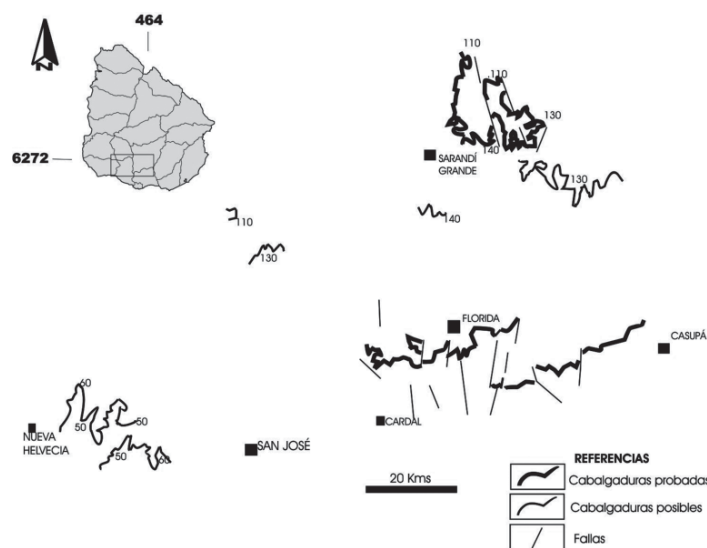


Figura 10. Esquema de distribución de cabalgaduras en el Terreno Piedra Alta con las correspondientes cotas.

Bossi y Piñeyro (2004) publicaron la geología de los alrededores del Cerro Ojosmín detectando que el borde sur del área estaba constituido por una extensa faja subhorizontal de microgranitos y pegmatitas peraluminosas. El área estudiada fue relativamente limitada por la existencia de dos fallas de rumbo NNW y en consecuencia quedó desconectado del resto de lo conocido. Un caso similar sucede con la Fm Cerros de San Juan de Preciozzi *et al.* (1985) que aflora como dos bandas metamórficas de bajo grado de rumbo N60E, limitadas por fallas también NNW (Figura 3).

Conclusiones

El hallazgo de una estructura que define con precisión la existencia de una cabalgadura en la cuenca del Arroyo Castro representa la verificación de un fenómeno que se trataba con reservas por falta de datos que soportaran el fenómeno compresivo de manera indiscutible. El gran obstáculo era la ausencia de milonitización en el plano de corrimiento.

La presencia de pegmatitas o microgranitos peraluminosos formados en la corteza y asociados a laminación tectónica horizontal sugiere su actuación como lubricantes del proceso y permiten el deslizamiento sin esfuerzos tectónicos tan importantes que no generan milonitización.

Se logra ahora confirmar parte de la cabalgadura de Berrondo entre la ruta 3 en el W y el lineamiento Sarandí del Yí-Piriápolis en el E, y totalmente la cabalgadura Castro.

La estructura actualmente observada, apoyada en datos geocronológicos, petrológicos, litológicos y estructurales, sugiere que la orogénesis que tuvo lugar en el Paleoproterozoico generó el conjunto de litologías asociadas por los fenómenos recién descritos. La orogénesis produjo metamorfitos de diferentes grados y comenzó a construir un supercontinente hacia los 2000 Ma. Según Gurnis (1988) en esa época existen también muy frecuentes colisiones, que en Uruguay ha sido posible datar como posteriores al fenómeno de aglutinación.

Hacia 2000 Ma la formación de un Supercontinente permite fusiones parciales en áreas de composición química adecuada en la base de la corteza,

mientras las rocas que están desde la superficie hasta unos pocos kilómetros de profundidad, quedan totalmente inafectadas, excepto algunas pequeñas inyecciones magmáticas que lograron escapar y ascender desde los focos ígneos infracrustales. La tectono-estratigrafía señala la siguiente secuencia de fenómenos:

- 1800±100 Ma terminan los esfuerzos compresivos y aparecen condiciones de ascensos mantélicos por el sobrecalentamiento debajo de un enorme continente que produce esfuerzos distensivos e inyección de un enorme haz de filones de microgabro (7000 filones de 1000 m de longitud promedio, 20 m de espesor más frecuente, separados 700 m entre sí).
- 1900±100 Ma colisión generando desplazamiento hacia el sur de bloques de edad transamazónica según un plano débilmente inclinado hacia el NE; esta cabalgadura fue lubricada por magmas graníticos peraluminosos generados a partir de metasedimentos en la base de la corteza que terminaron cristalizando como granitos y pegmatitas a muscovita, granate y turmalina.
- 2000±100 Ma migmatización y generación de granodioritas/granitos de anatexis en la zona profunda de la corteza; inyección de leucogranitos, aplitas y complejos estratificados gabro-granito en los niveles supracrustales.
- Ca 2500 ma sedimentación y metamorfismo: Fm Paso Severino en grado bajo; anfibolitas, gneises, micaesquistos en grado medio.

Esta secuencia deducida para el borde norte del cinturón San José obliga a concluir que esta es la mejor hipótesis, sino la única, geológicamente admisible para explicar la alternancia de cinturas metamórficas de grado bajo de rumbo general EW con plutones asociados y extensas fajas de granodioritas, granitos, migmatitas y metamorfitos profundos, a la luz de los actuales conocimientos geocronológicos, litológicos, estructurales y petrológicos.

Las cabalgaduras generando laminaciones de muy bajo ángulo, cuando experimentan un recorrido prolongado, fueron capaces de colocar hoy a un mismo nivel topográfico, a asociaciones litológicas que se formaron a profundidades muy diferentes.

La necesidad de cabalgaduras de bajo ángulo y largo recorrido con esfuerzos relativamente poco pronunciados, triturar las rocas sin fusión ni recristalización, y pueden contener poros interconectados, favoreciendo así la formación de acuíferos fisurados.

Bibliografía

- Bossi J, Piñeyro D. 2004. Homblenditas porfiroblásticas: guía litológica de plutonismo de raíz de arco en el Terreno Piedra Alta (Paleoproterozoico, Uruguay). *Revista Sociedad Uruguaya de Geología, III época*, 11: 28 - 39.
- Bossi J, Ferrando L. 2001. Carta Geológica del Uruguay: Escala 1/500.000: Versión 2.0. (CD-ROM). Montevideo : Facultad de Agronomía.
- Bossi J, Ferrando L, Montaña J, Campal N, Morales H, Gancio F, Schipilov A, Piñeyro D, Sprechmann P. 1998. Carta Geológica del Uruguay: Escala 1/500.000: Versión 1.0 (CD-ROM). Montevideo : Facultad de Agronomía.
- Bossi J, Preciozzi F, Campal N. 1993. Predevoniano del Uruguay: Parte I : Terreno Piedra Alta. Montevideo : Dirección Nacional de Minería y Geología. 50p.
- Bossi J, Campal N. 1991. Granitos negros filonianos del Uruguay: Resultados de las Investigaciones. Montevideo : CIID, Facultad de Agronomía. 72p.
- Bossi J, Navarro R. 1991. Geología del Uruguay. 2 vol. Montevideo : Universidad de la República. 948p.
- Bossi J, Ferrando L, Fernández A, Elizalde G, Morales H, Ledesma J, Carballo E, Medina E, Ford I, Montaña J. 1975. Carta geológica del Uruguay: Escala 1/1.000.000. Montevideo : MAP. 32p.
- Campal N, Oyantçabal P, Bachmann I. 1988. Hoja H-28 Mosquitos. En: Carta Geológica del Uruguay a escala 1/100.000. Montevideo : DINAMIGE, Facultad de Agronomía, Facultad de Ciencias. pp. 101 - 103.
- Chapell BH, White AJ. 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8: 173 - 174.
- Fernandes LA, Porcher C. 1994. Magma-assisted strain localization in a origen-parallel transcurrent shear zone of southern Brazil. *Tectonics*, 13: 421 - 437.
- Ferrando L, Fernández A. 1971. Esquema tectónico cronoestratigráfico del Predevoniano en Uruguay. En: Anais do XXV Congresso. Sao Paulo : Sociedade Brasileira de Geología. pp. 199 - 210.
- Gurnis M. 1988. Large-scale mantle convection and the aggregation and dispersal of supercontinents. *Nature*, 332: 695 - 699.
- Halls HC, Campal N, Davis DW, Bossi J. 2001. Magnetic studies and U-Pb geochronology of the Uruguayan dike swarm, Uruguay : paleomagnetic and economic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 14: 349 - 361.
- Masquelín H. 2006. El escudo uruguayo. En: Veroslavsky G, Ubilla M, Martínez S. [Eds.] Cuencas Sedimentarias del Uruguay. Vol. III : Paleozoico. Montevideo : Facultad de Ciencias. pp. 37 - 106.
- Preciozzi F, Bourne N. 1991. Petrography and geochemistry of the A^o de la Virgen and Isla Mala plutons, southern Uruguay: Early Proterozoic tectonic implications. *Journal South American Earth Sciences*, 6(2): 169 - 181.
- Preciozzi F, Spoturno J, Heinzen W, Rossi P. 1985. Carta Geológica del Uruguay a escala 1/500.000. Montevideo : DINAMIGE.