

ANOMALIAS FOSFATICAS EN EL TERRENO NICO PEREZ: CONTRIBUCION DE LA GEOLOGIA EN EL DESARROLLO AGRONOMICO

A. Schipilov; J. Gallero y N. Campal

Recibido: 25 de mayo de 1999. Aceptado: 7 de junio de 1999.

RESUMEN

El proyecto CONICYT 3014 está orientado a la búsqueda de criterios de prospección de fosfatos en la serie marina plataformar de edad Vendiano- Cámbrica Inferior denominada Grupo Arroyo del Soldado (GAUCHER *et al.*, 1996). Durante su desarrollo fueron identificadas, mapeadas y estudiadas dos anomalías fosfáticas en el basamento de esta serie. Las rocas involucradas con la anomalía de fósforo, de grado medio de metamorfismo, pertenecen al Complejo Metamórfico Grenvilliano (CAMPAL y SCHIPILOV, 1999) y están fuertemente transformadas desde el punto de vista mineralógico y textural debido a un intenso y extenso metamorfismo de contacto.

Se discute la naturaleza petrográfica de las litologías portadoras de apatito (hidroxi- flúor fosfato de calcio) en cantidades que llegan al 30% en volumen y los posibles criterios de prospección, entre los cuales dos adquieren especial importancia. Uno de ellos está relacionado con criterios estratigráficos de la serie para- metamórfica que contiene las rocas ricas en fosfatos; este criterio se basa en que la mineralización está estrechamente asociada con metamorfitos ubicados entre potentes paquetes de cuarcitas y calcáreos más o menos impuros. Un segundo criterio, independiente o complementario, plantea la posibilidad de establecer parámetros geobotánicos de prospección de fósforo en la roca madre, a partir de relevamientos detallados de asociaciones de especies vegetales desarrolladas en los suelos formados a expensas de estas litologías ricas en fosfatos.

PALABRAS CLAVE: fosfatos; skarn; Terreno Nico Pérez; Uruguay

SUMMARY

PHOSPHATE ANOMALIES IN THE NICO PEREZ TERRANE: GEOLOGY'S CONTRIBUTION TO AGRONOMY DEVELOPMENT

The CONICYT 3014 project's objective is to achieve prospection criteria for phosphates in the Arroyo del Soldado Group (marine - continental platform sedimentary sequence of Vendian to Cambrian age after GAUCHER *et al.*, 1996). In the basement rocks of this unit two phosphate anomalies were identified, mapped and studied. These anomalies are located into the medium-grade rocks of the Metamorphic Grenvillian Complex (CAMPAL y SCHIPILOV, 1999) and were subsequently transformed by intense and extensive contact metamorphism that overprint mineralogical and textural patterns.

Petrographic features of the apatite bearing rocks (up to 30% of calcium hydroxi-fluor-phosphate) are discussed, and two main prospection criteria are exposed. The first one is related to the spatial position in the sequence, between broad quartzites strata and impure limestones. The other tentative criteria implies the recognition of particular botanic associations which reflect the anomalous concentration of phosphate in soils developed over the mineralized rocks.

KEY WORDS: phosphate; skarn; Nico Pérez Terrane; Uruguay

INTRODUCCION

Este trabajo resume los avances logrados en el proyecto «Análisis de la serie sedimentaria marina plataformar del Vendiano - Cámbrico Inferior del Uruguay orientada a la obtención de criterios de prospección de fosfatos», financiado por el CONICYT (Fondo Clemente Estable #3014). En él se procuran exponer las líneas fundamentales de la investigación desarrollada hasta la fecha, así como las perspectivas que se abren a partir de los resultados obtenidos.

El fósforo es un elemento esencial para las plantas y los animales. Los seres humanos y otros animales necesitan el fósforo para construir dientes y huesos. Todos los organismos vivos lo utilizan para construir sus células y almacenar energía. Por otra parte, el fósforo es ampliamente utilizado en fertilizantes a partir de algunas de las materias primas principales de ese elemento: excremento de aves (guano) o rocas mayoritariamente constituidas por minerales de fósforo (fosforitas). La elaboración de fertilizantes fosforados en el Uruguay implica la importación de materia prima mineral con un costo aproximado de U\$S 1.450.000 por año (según datos del BROU).

Desde marzo de 1998 se viene desarrollando en de la Cátedra de Geología el proyecto arriba referido; durante la etapa de cartografía inicial se relevaron dos áreas con posición estratigráfica incierta, que arrojaron resultados positivos a los ensayos cualitativos de campo para presencia de fosfatos. Una vez delimitadas las áreas, trabajos posteriores permitieron identificarlas como pertenecientes al Complejo Metamórfico Grenvilliano descrito originalmente por CAMPAL *et al.* (1995), BOSSI *et al.* (1998) y CAMPAL y

SCHIPILOV (1999).

A continuación se describirán detalladamente las características geológicas de estas áreas, ya que su ubicación estratigráfica y la geología de los procesos actuantes, constituyen una posible guía de prospección, buscando áreas geológicamente similares dentro de la extensa zona de afloramiento del Complejo Metamórfico Grenvilliano.

MATERIALES Y METODOS

Los métodos que llevaron al equipo de trabajo a localizar las anomalías fosfáticas que se describen más adelante, pueden ser clasificados en dos grandes categorías: a) los que se apoyaron en la preselección de áreas a ser mapeadas en detalle, y b) los que permitieron la localización particular de anomalías en cada área y su registro geográfico (figura 1).

Dentro del primer grupo, el principal método empleado es una combinación del razonamiento inductivo y deductivo. La inducción permitió relacionar las características observables relevadas de las rocas predevónicas del Terreno Nico Pérez (en su enorme mayoría publicadas), para conformar un modelo en donde el ambiente de formación surge como consecuencia del análisis global (inductivo) de las características particulares. El modelo sólo puede ser verificado en tanto las inferencias que de él se deriven puedan ser corroboradas.

La principal inferencia contrastada en esta investigación, es que tanto en el CMG como en el Grupo Arroyo del Soldado, las condiciones teóricas de acumulación de fosfato sedimentario previstas por el modelo se corresponden con la existencia real de rocas con alto tenor en ese elemento.

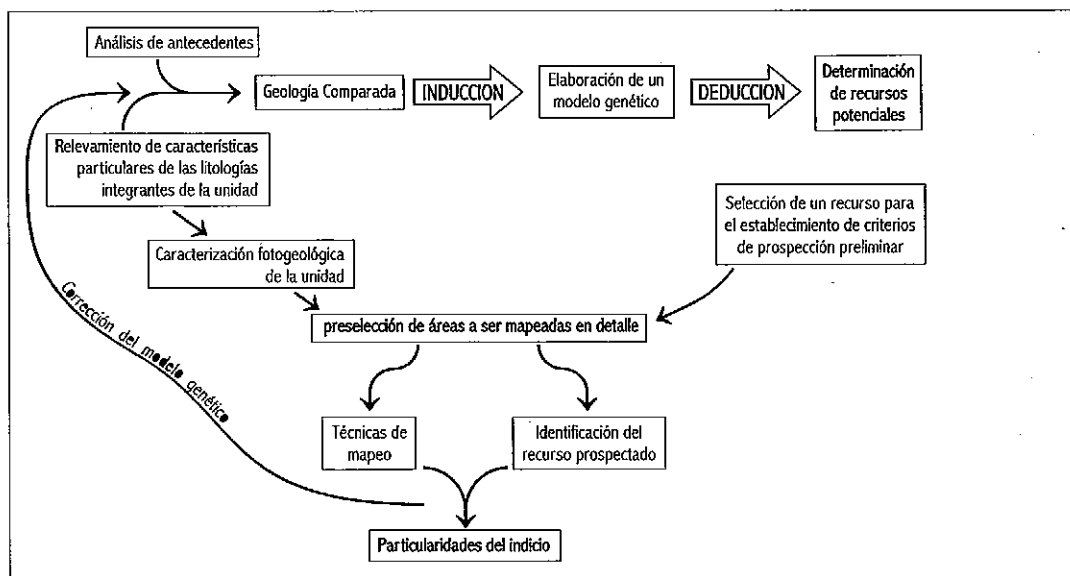


Figura 1. Esquema de los procesos de inducción - deducción en la conceptualización de modelos genéticos aplicados a la prospección de recursos minerales.

El razonamiento ha sido simplificado a sus aspectos modulares, pues numerosos factores entre los cuales se incluye la geología comparada -prestando atención a complejos sedimentarios de edad similar en otras partes del planeta- y las condiciones particulares de cada una de las dos plataformas no han sido discutidos aquí ya que constituyen el cuerpo principal de la investigación.

La aplicación del método puede considerarse altamente exitosa, desde que analizadas a escala 1/20.000 tres áreas del territorio nacional que abarcan poco menos del 0,1 % del mismo, en dos de ellas se determinaron anomalías fosfáticas.

Se ha optado por incluir la mención al proceso de selección de áreas en este capítulo de materiales y métodos, porque de hecho no es ni la única metodología aplicable, ni la que se ha aplicado en otras investigaciones similares en nuestro país. A título de ejemplo, existe una correlación conocida entre el comportamiento geoquímico del fósforo y el del uranio: la detección de anomalías uraníferas es un proceso relativamente sencillo ya que existe un soporte geofísico que lo posibilita (cintilometría). Sin embargo, ello eventualmente podría conducir, como resultó en el caso de SPOTURNO *et al.* (1985) a la detección de rocas con contenido anómalo de fósforo cuyo contexto, geología, naturaleza mineralógica y origen nunca fueron analizados ni investigados. La prospección de cualquier recurso natural sin un modelo que le soporte, es inefectiva y una pérdida de tiempo y dinero, de la cual Uruguay posee numerosos ejemplos.

En cuanto a los métodos particulares hemos creído oportuno mencionar aquí los aspectos más sustanciales en el levantamiento cartográfico de detalle que por su generalidad pueden contribuir al relevamiento de otros recursos naturales no necesariamente geológicos.

RESULTADOS

Entre los resultados del proyecto CONICYT - Fondo Clemente Estable #1040 «Evolución paleogeográfica del nudo tectónico de puntas del arroyo Mansavillagra durante la formación del supercontinente Gondwana (1500 - 500 millones de años)» llevado a cabo por la Cátedra de Geología de la Facultad de Agronomía y el Departamento de Paleontología de la Facultad de Ciencias, se destacan los avances realizados en el conocimiento de la estratigrafía y estructura interna de una amplia zona del país designada como «Terrane» Nico Pérez por BOSSI y CAMPAL (1992).

Estos avances ayudaron a construir un nuevo esquema para la geología del zócalo cristalino uruguayo, el que hoy se concibe como resultado de la superposición de cuando menos tres episodios mayores (ciclos orogénicos) de deformación, metamorfismo y magmatismo. Intercalados entre estos períodos se ubican etapas de estabilidad -similares a la actual- en las que se depositaron sobre las rocas previamente existentes paquetes sedimentarios de naturaleza marina y continental.

De una manera simplificada y esquemática podemos centrar en 2100 - 1900 millones de años (Proterozoico Inferior), 1300 - 1100 Ma (Proterozoico Medio) y 540 - 500 Ma (Cámbrico) los episodios mayores de deformación en el basamento cristalino de nuestro país. Asimismo, quedan definidos dos períodos de tranquilidad tectónica, de los cuales se conserva registro geológico a través de series sedimentarias, hoy plegadas y metamorfizadas.

El proyecto CONICYT #3014 centró inicialmente su objetivo en el conjunto de sedimentos depositados durante el período Vendiano (640 - 545 millones de años), justamente antes de los intensos fenómenos de deformación acaecidos en el período inmediatamente posterior. La razón de esta selección se fundamenta en el conocimiento adquirido durante el proyecto anterior, mostrando que buena parte de este paquete sedimentario correspondía a una plataforma marina parcialmente carbonática y altamente fosilífera (GAUCHER *et al.*, 1996, 1998) sin rocas volcánicas intercaladas, en la que las condiciones teóricas de acumulación de fosfatos marinos eran óptimas. Esto además se ve sustentado por los depósitos de fosfatos marinos distribuidos alrededor del planeta sedimentados en el límite Vendiano - Cámbrico, edad idéntica a la de los sedimentos del Grupo Arroyo del Soldado.

A consecuencia de ello se seleccionaron un conjunto de áreas a ser relevadas a escala de detalle (1/20.000), donde se presumía la existencia de litologías pertenecientes al Grupo Arroyo del Soldado. En estas áreas, se procedió a realizar perfiles transversales a la traza del plano de estratificación de la serie sedimentaria, débilmente plegada y basculada hacia el NE, y comenzó a aplicarse sistemáticamente un ensayo cualitativo de presencia de fosfatos a aquellas litologías que por su mineralogía pudieran resultar favorables.

Las tareas de relevamiento realizadas durante 1998 mostraron una compleja relación entre los metasedimentos del Grupo Arroyo del Soldado y su basamento de edad Mesoproterozoica, al punto que en muchas áreas debió mapearse detalladamente el basamento para poder distinguirlo de las supracrustales vendianas. La razón de la dificultad de mapeo radica en que ambos grupos de rocas, aunque de edad diferente, poseen litologías muy similares y dispuestas en sucesiones casi idénticas. Los criterios seleccionados y empleados tanto en el trabajo de campo como de gabinete y laboratorio, para separar las litologías observadas en ambos grupos (CMG y GAS), fueron los que se exponen en la tabla 1.

Fue justamente durante estos relevamientos de detalle en que se localizaron dos zonas con rocas originalmente sido asignadas al Vendiano, y que hoy se sabe que pertenecen a su basamento, en las cuales se obtuvieron ensayos positivos de presencia de fosfato.

Analizadas bajo el microscopio las rocas mostraron un grado metamórfico y una complejidad mineralógica que no correspondía con la conocida para los metasedimentos del Grupo Arroyo del Soldado -generalmente de muy bajo

Cuadro 1. Principales diferencias entre el Complejo Metamórfico Grenvilliano y el Grupo Arroyo del Soldado según los criterios utilizados para definirlos.

Complejo Metamórfico Grenvilliano (CMG)	Grupo Arroyo del Soldado (GAS)
Metamorfismo de grado medio, definido por la sistemática aparición de muscovita, granate y estauroлита (en los metasedimentos cuya composición química lo permite).	Secuencia sedimentaria de muy bajo grado metamórfico, o bien diagénesis avanzada (menos de 150°), salvo en zonas de metamorfismo de contacto y áreas externas de la antigua plataforma.
Deformación localmente intensa, pero con conservación de S ₀ en la mayoría de los metamorfitos.	Deformaciones que pueden llegar a ser intensas, pero con la consecuente persistencia de estructuras internas de sedimentación (ripples, hummocky, etc.).
Existencia de dos o más fases de deformación (crenulaciones, etc.).	Presencia de al menos una fase (claramente expuesta) de deformación.
Constituye el piso (basamento) del GAS, corroborado además por la aparición de clastos pertenecientes a este grupo en los conglomerados de la Unidad Yermal (base del GAS).	Se apoya discordantemente sobre el CMG (el contacto se logra observar en algunas zonas: A° Yermal Grande y Chico, C° del Cura, etc.
Los únicos fósiles encontrados son estromatolitos de amplio radio basal, que por sus características geométricas fueron asignados al Proterozoico Medio por SPRECHMANN et al. (1994).	Sistemática ocurrencia de microfósiles índices del período Vendiano en calizas, cherts y pizarras del Grupo. Han aparecido además fósiles de pared fosfática e icnofósiles que pueden pertenecer al período Cámbrico.
Criterios tectono estratigráficos: El CMG es recortado por numerosos filones o diques, consecuencia de fenómenos magmáticos (intrusiones, p. ej: Batolito de Illescas) reconocidamente posteriores a su depositación; Del mismo modo, el CMG es afectado directamente a través del metamorfismo de contacto (skarns) por estas intrusiones	El GAS se deposita sobre estos cuerpos (los que metamorfizaron al CMG), y a su vez éste es recortado por filones de intrusiones más recientes (Cámbricos) como el Granito de Polanco. A su vez estas intrusiones generan metamorfismo de contacto sobre las rocas de la serie.

grado de metamorfismo- que ha permitido preservar las delicadas estructuras de sus microfósiles característicos.

Se describirán a continuación cada una de las dos áreas, identificadas como anomalías fosfáticas "Arroyo del Soldado" y "Barriga Negra", ubicadas respectivamente en las hojas topográficas G25 - "Arroyo del Soldado" y F25 - "Mariscal" del Plan Cartográfico Nacional (figura 2).

Anomalía Barriga Negra: esta área inicialmente considerada como conteniendo metasedimentos del Grupo Arroyo del Soldado posee afloramientos que fotogeológicamente resultan muy similares a aquéllos. La cartografía de detalle mostró ya desde el inicio algunas características que hicieron dudar sobre la asignación original, entre ellas cabe mencionar la ausencia de estructuras sedimentarias en las cuarcitas típicas del Grupo Arroyo del Soldado tales como ondulitas, estratificación hummocky, flaser, etc.

Contrariamente, las muy abundantes cuarcitas del área, son masivas, compactas y se fracturan normalmente por planos que no coinciden con el plano de estratificación original. Las rocas con contenido anómalo de fosfato se ubican en esta secuencia entre las cuarcitas y los calcáreos, marmorizados en las cercanías del granito. Las litologías fosfáticas son de grano fino y color verde claro, bandeadas en capas de medio metro de espesor y sin orientación mineral (foliación) definida (figura 3A).

Anomalía Arroyo del Soldado: en esta área se encuentran presentes rocas del Grupo Arroyo del Soldado apoyadas sobre metamorfitos del Complejo Metamórfico Grenvilliano, que han sido intruidos por un cuerpo granítico de enormes dimensiones que se extiende por

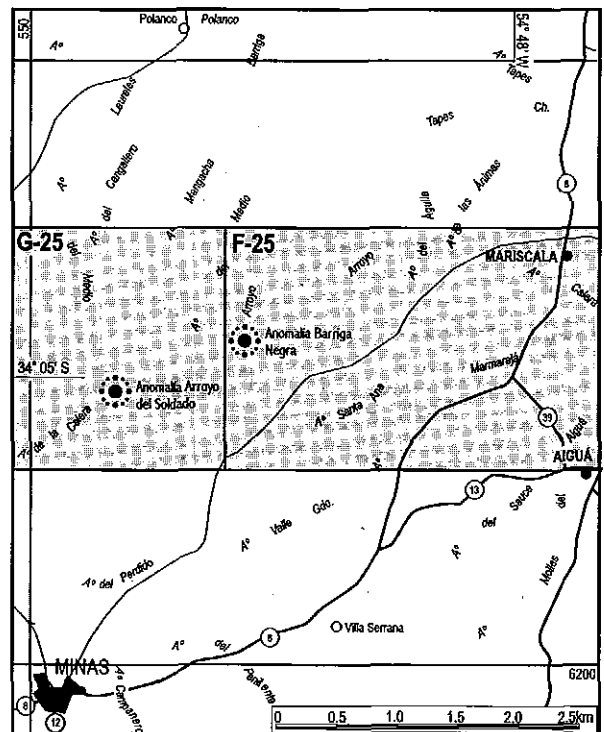


Figura 2. Ubicación geográfica de las anomalías fosfáticas estudiadas. Base reducida de la Carte Géologique del Uruguay a escala 1/500.000.

más de 30 kilómetros hacia el Norte. En la zona analizada (figura 3B), de unas 1600 has, el granito adquiere características mineralógicas y químicas particulares



Figura 3. A: Carta geológica de la anomalía Barriga Negra. Las líneas entrecortadas representan la traza de la foliación del Complejo Metamórfico Grenvilliano. B: Idém de la anomalía Arroyo del Soldado.

mostrando abundante anfíbol como accesorio, disminución del tenor de cuarzo y aumento relativo del porcentaje de plagioclasa, lo que permite clasificarlo como un monzogranito.

La serie metamórfica de edad Mesoproterozoica intruida por el granito incluye abundantes calizas, cuarcitas, metamargas y micaesquistos. En torno al granito, muchas de estas rocas han sido total o parcialmente transformadas por efecto del metamorfismo de contacto -generándose verdaderas zonas de skarn- cuyo espesor aflorante alcanza los 800 metros.

La mineralogía de estas rocas de skarn es extremadamente particular, desarrollándose tipos litológicos singulares, muy poco frecuentes en nuestro país, entre los que se destacan: rocas piroxénicas, piroxénico-apatíticas, piroxénico-anfibólicas, rocas a flogopita + piroxeno + feldespato potásico + epidoto (zoisita), epidotitas macizas y mármoles forsteríticos. La mineralogía de estas rocas está controlada en proporciones variables por la naturaleza del metamorfito original (protolito) y por el quimismo de los fluidos aportados o removilizados por el cuerpo granítico intrusivo.

Las rocas más sensibles a las transformaciones operadas durante el metamorfismo de contacto son los calcáreos impuros y las metamargas, generalmente con alto contenido de magnesio; por el contrario las cuarcitas y los calcáreos no

magnesianos recrystalizan sin transformación mineral evidente.

De esta manera, las nuevas rocas conservan en cierta medida la estructura heredada de los metamorfitos, disponiéndose en bandas subparalelas al contacto, que incluyen conjuntos de rocas con diferente grado de transformación y aporte. Todas las rocas del área del skarn muestran un contenido anómalo de apatito: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH},\text{F},\text{Cl})$.

Entre las rocas analizadas se destaca una roca piroxénica de aspecto masivo y color verde seco en muestra de mano, dispuesta en bandas de espesor métrico en el campo, con variación del tamaño de grano y de porcentaje del accesorio principal (apatito) que alcanza el 20%, siendo normalmente superior al 8-10%. Este tipo litológico, no clasificado específicamente en la bibliografía especializada, se nombró provisoriamente como "piroxapita", apócope de roca a piroxeno y apatito.

DISCUSION

Las características comunes a ambas ocurrencias de fosfatos son: a) su pertenencia a la serie metamórfica de edad Grenvilliana de protolito sedimentario; y b) que las rocas fosfatadas se encuentran en metamargas más o menos trans-

formadas por metamorfismo de contacto, ubicadas estratigráficamente entre un paquete de cuarcitas y un paquete calcáreo.

Las características diferenciales son que en la anomalía Arroyo del Soldado el apatito está presente en cantidades anormalmente altas en un número mucho mayor de litologías, y en la piroxapita alcanza porcentajes no observados en el área de Barriga Negra.

Estas observaciones permiten esbozar una hipótesis de trabajo en la que el enriquecimiento de fósforo estaría asociado primariamente al proceso sedimentario (de allí su geometría en bandas), con grado variable de removilización y enriquecimiento promovido por los granitos, que deberá ser cuantificado a medida que progrese la investigación.

Esta hipótesis define un criterio geológico de prospección previsional, consistente en la ubicación de áreas con subsuelo perteneciente al Complejo Metamórfico Grenvilliano en que el par cuarcita - caliza sea aflorante, debiendo centrarse la búsqueda en el pasaje gradual entre ambas litologías.

Las consideraciones precedentes han permitido definir dos líneas de trabajo. La primera es el mapeo detallado de las áreas que cumplen el criterio de prospección previsional definido. La segunda línea tiene en cuenta un objetivo largamente perseguido e imprescindible para desarrollar la geología en un país como Uruguay, que combina una baja densidad de afloramientos con extensas zonas de suelos que parecen reflejar fielmente la geoquímica de la roca madre. En este sentido se plantea la búsqueda de criterios de prospección geobotánica que permita a través del relevamiento detallado de particularidades de la flora, detectar la presencia de rocas específicas de interés agronómico.

Siguiendo esta idea se pretende realizar trabajos de detalle en cartografía de suelos e inventario botánico, a fin de analizar el grado de correlación que existe entre: a) el contenido de fósforo en la roca madre y el contenido de fósforo lábil ("fósforo bray") en los horizontes "B" y "C" de los suelos desarrollados a sus expensas; y b) determinar asociaciones vegetales características o típicas que reflejen enriquecimiento de fosfatos en el suelo. Este estudio tendrá en cuenta parámetros determinantes en el desarrollo del suelo vegetal como áreas de similar topografía y drenaje en suelos sin historia de fertilización anterior.

Los resultados obtenidos tendrán validez puntual, pero serán las primeras labores de prospección geobotánica de minerales de interés agronómico en el Uruguay. Los criterios derivados del proyecto en curso podrán ser los antecedentes en el país de la utilización de una o varias especies

vegetales asociadas, que indiquen anomalías minerales en el suelo que a su vez estén relacionadas con indicios o yacimientos en el subsuelo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el CONICYT (Fondo Clemente Estable #3014), proyecto «Análisis de la serie sedimentaria marina plataformal del Vendiano - Cámbrico Inferior del Uruguay orientada a la obtención de criterios de prospección de fosfatos».

BIBLIOGRAFIA

- BOSSI J. y CAMPAL N. 1992. Magmatismo y tectónica transcurriente durante el Paleozoico Inferior en Uruguay. In: Gutierrez Marco J. C., Saavedra J. y Rabano I. (Eds.): Paleozoico Inferior en Iberoamérica. Universidad de Extremadura. España.
- BOSSI J., FERRANDO L., MONTAÑA J., CAMPAL N., MORALES H., GANCIO F., SCHIPILOV A., PIÑEYRO D., SPRECHMAN P. Carta Geológica del Uruguay 1/500.000. Geoditores. 1998.
- CAMPAL N., GAUCHER C., SCHIPILOV A. y BOSSI J. 1995. El Uruçuano en Uruguay: evidencias geológicas, radimétricas y paleontológicas. Boletín de Resumos Expandidos, 6º Simpósio Sul-Brasileiro de Geología; 1º Encuentro de Geología del cono sur, Porto Alegre.
- CAMPAL N. and SCHIPILOV A. 1999. The Eastern edge of the Plata Craton: A history of tangential collisions. In: A. K. Sinha (ed.), Basement Tectonics 13: 33-48. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- GAUCHER C., SPRECHMANN P. and SCHIPILOV A. 1996. Upper and Middle Proterozoic fossiliferous sedimentary sequences of the Nico Pérez Terrane of Uruguay: Lithostratigraphic units, depositional environments and correlations.- N. Jb. Geol. Paläont., Abh., 199: 339-367; Stuttgart.
- GAUCHER C. y SPRECHMANN P. 1998. Grupo Arroyo del Soldado: paleontología, edad y correlaciones (Vendiano - Cámbrico Inferior, Uruguay). Actas II Congreso Uruguayo de Geología. 183 - 187 pp. Punta del Este, Uruguay.
- SPOTURNO J., CORONEL N. y DA SILVA J. 1985. Geología y prospección fosfático-uránifera "Área La Calera". Ed. DINAMIGE, Bol. 39: 10-30, Montevideo.
- SPRECHMANN P., GAUCHER C., MONTAÑA J. y SCHIPILOV A. 1994. Fósiles del Precámbrico del Uruguay: unidades litoestratigráficas, edades, correlaciones y ambientes de deposición.- *Paleociencias del Uruguay* (serie didáctica) 2: 6-9.