EVALUACIÓN DEL POTENCIAL MINERAL DE LOS RECURSOS CALCÁREOS DE LA REGIÓN DEL LITORAL OESTE DE URUGUAY (FORMACIÓN QUEGUAY, CUENCA PARANÁ)

EVALUATION OF THE PORTLAND LIMESTONE POTENTIAL OF THE LOWER QUEGUAY RIVER, WESTERN URUGUAY (QUEGUAY FORMATION, PARANÁ SEDIMENTARY BASIN)

Héctor de SANTA ANA [1]; Gerardo VEROSLAVSKY [1]; Mario Lincoln De Carlos ETCHEBEHERE [2]; Antonio Roberto SAAD [2,3]

Resumen: Se realizó un relevamiento geológico de detalle orientado a la prospección y evaluación de rocas calcáreas aptas para la industria del cemento para la región inferior del río Queguay, departamento de Paysandú (Uruguay). Los trabajos realizados permitieron, a su vez, sumar elementos para consolidar el modelo epigenético para estos depósitos calcáreos (calcretas de aguas subterráneas y, subordinadamente, calcretas pedogénicas), verificándose la fuerte incidencia que poseen los controles estructurales en el proceso de calcretización. En particular, los lineamientos NE, y subordinadamente NW, controlaron el desarrollo de los depósitos calcáreos con mayor interés económico, aspecto que define la principal guía exploratoria para estas rocas en la región. Los resultados alcanzados permitieron estimar un volumen de reservas probables de 610 millones de toneladas de rocas calcáreas con altos tenores de carbonato de calcio y bajas proporciones de magnesio. Esos volúmenes de roca, las condiciones de fáciles y bajos costos de extracción y restitución ambiental, sumado a una estratégica posición geográfica con relación a los grandes centros de demanda y consumo regionales y las buenas condiciones de infraestructura física y transporte (plantas cementeras, rutas, vía fluvial y puentes) permiten concluir que el departamento de Paysandú reúne excelentes condiciones para transformarse en uno de los principales polos cementeros de la región.

Palabras-clave: Recursos Calcáreos; Evaluación del Potencial Mineral; Formación Queguay; Cretácico; Litoral Oeste de Uruguay.

Abstract: This contribution presents a detailed geological survey directed to the prospection and evaluation of calcareous rocks suitable to the cement industry of the lower Queguay River region, State of Paysandú, Uruguay. Field work studies conducted allowed the authors to sum up the elements necessary to the consolidation of an epigenetic model for the calcareous deposits represented by groundwater and pedogenetic calcretes. These calcrete formation processes are strongly controlled by structural elements, with emphasis to the NE and NW linements, which prevail in the studied area. These linements controlled the development of the calcareous deposits of greater economic interest, which by its turn, defines the principal guidelines for economic exploration. The results obtained allowed the authors to estimate at 610 million tons the probable volume of rock deposits with high Calcium Carbonate and low Magnesium contents. The exploration in the Paysandu region becomes viable due to the following aspects: low extraction and environmental restitution costs, strategic geographical position in relation to the large centers of regional demand and consumption. In addition, the Paysandu region possesses adequate physical and transportation infrastructures which allow us to conclude that it gathers excellent characteristics to become one the most important centers of cement production in Uruguay.

Keywords: Portland Limestones; Mineral Potential Evaluation; Queguay Formation; Cretaceous; Western Uruguay.

1 - Facultad de Ciencias – Universidad de la República. Iguá 4225, CP 11400, Montevideo, Uruguay. E-mail: hdesantaana@fcien.edu.uy; gerardo@fcien.edu.uy.

2 - Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão - CEPPE – Universidade Guarulhos-UnG. Praça Tereza Cristina 01, Guarulhos, CEP 07023-070, São Paulo - Brasil. E-mail: metchebehere@ung.br.

3 - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista-UNESP, Av,24A 1515, CEP 13506-900, Bairro Bela Vista, Rio Claro – SP, Brasil. E-mail: asaad@prof.ung.br.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de la evaluación del potencial mineral de las rocas calcáreas aptas para la industria del cemento, en la región del río Queguay (departamento de Paysandú - Uruguay). A partir de un relevamiento geológico sistemático a escala de detalle que incluyó mapeo, levantamiento de perfiles, elaboración de cortes, algunas perforaciones y análisis químicos, se ha podido identificar varias áreas con alto potencial mineral de rocas calcáreas para la región. En conjunto, esas áreas todas muy próximas entre sí, poseen reservas probables de 550 millones de toneladas de rocas calcáreas, de las cuales 40 millones deben considerarse en la categoría de reservas probadas.

Esos volúmenes de reservas, sumado a la calidad de los materiales, las ventajas operativas y económicas de la explotación de estos recursos, así como la situación geográfica con relación a los centros de consumo (Mesopotamia, Montevideo, Buenos Aires y el sur del Estado do Rio Grande do Sul), hacen del departamento de Paysandú un polo cementero potencial para esa vasta región (Figura 1).

Las rocas calcáreas estudiadas han sido utilizadas desde hace décadas en diferentes usos (caminería, fabricación de cal y otros usos industriales), pero por sus características químicas constituyen una excelente materia prima para la fabricación de cemento. La explotación a escala mayor de este recurso en el departamento de Paysandú estuvo originalmente ligada al desarrollo de las obras de infraestructura física que emprendieron Uruguay y Argentina sobre el río Uruguay (puentes y represas). Las mismas justificaron, a inicios de la década de 1970, la instalación de una planta de cemento en la ciudad de Paysandú (Figura 1).

ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

Las Calizas del Queguay, unidad definida por Lambert (1939, 1940), afloran en diversas áreas de Uruguay. Sin embargo, la región de mayor desarrollo es el Norte del departamento de Paysandú, a lo largo o próximo al valle inferior y medio del río Queguay (Figuras 2 y 3). Los depósitos calcáreos se presentan en lentes y bancos de potencias métricas y muestran sus atributos litológicos y relaciones espaciales a lo largo de exposiciones naturales así como en pequeños frentes de canteras diseminados en la región (Figura 4). Particularmente, son excelentes las exposiciones que brindan las barrancas, cascadas y el propio lecho del río Queguay.

Estas litologías calcáreas, así como otras subordinadas, integran la Formación Queguay de Goso (1965). Esta unidad posee una marcada identidad y homogeneidad litológica y, por su propia génesis, sus relaciones estratigráficas son complejas y variadas con un vasto conjunto de unidades litoestratigráficas (Goso & Perea, 2003). En particular, en la región que nos ocupa, se verifica que la Formación Queguay está íntimamente asociada al desarrollo de las areniscas neocretácicas que se reúnen en la Formación Mercedes (Goso & Perea, *op. cit.*).

Básicamente, la Formación Queguay consiste en una sucesión rocosa constituida por calizas blancas a blanquecinas, macizas y estratificadas, arenosas y/o brechosas, a las que, y como rasgo distintivo, se asocian niveles y bancos silíceos y calcosilicosos de tonalidades variadas (blancos, rojos, hasta grises muy oscuros). Algunos de estos niveles, siempre hacia el tope, portan fósiles: gastrópodos, semillas y rizolitos. Esa sucesión rocosa se presenta en estratos y lentes de disposición horizontal, los que logran alcanzar potencias de hasta 20 metros (Veroslavsky *et al.*, 1997).

Estas calizas fueron consideradas de origen lacustre desde Lambert (1939). Veroslavsky *et al.* (1996) propusieron una génesis asociada a la actuación de enérgicos procesos epigenéticos de carbonatación y silicificación. Sucesivas contribuciones como las de Veroslavsky *et al.* (1997), Goso (1999), Tófalo *et al.* (2001), Tófalo & Pazos (2002) y Goso & Perea (2003) permitieron conocer mayores detalles sobre la actuación de los procesos de calcretización - silcretización que dieron lugar a estos depósitos.

Martínez *et al.* (1997) propusieron que los procesos epigenéticos que generaron las calcretas pedogénicas y subterráneas ocurrieron durante el Paleoceno, basándose en la edad de los fósiles hallados en los paleosuelos que forman parte de la Formación Queguay. En este trabajo, adicionalmente, se demuestra que los lineamientos regionales (E-W) y locales (NW y NE) controlaron y favorecieron la circulación y acumulación de carbonatos, tal vez con mayor incidencia que las propias características petrofísicas de la roca huésped (porosidad y permeabilidad).

OBJETIVOS DE ESTUDIO: LA PROSPECCIÓN GEOLÓGICA ORIENTADA A LA BÚSQUEDA DE RECURSOS CALCÁREOS PARA LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

El establecimiento de un modelo genético-interpretativo para caracterizar la evolución y estructura geológica de una determinada región es un requisito previo e indispensable para cualquier emprendimiento exploratorio con base científica. Por esa razón, la adopción del modelo de calcretización - silcretización para el origen de las Calizas del Queguay constituyó el elemento básico que guió el trabajo geológico para evaluar el potencial mineral de los recursos calcáreos.

Los principales objetivos de los estudios realizados estaban dirigidos a: i) delimitar las principales áreas de depósitos de rocas calcáreas aptas para ser utilizadas en la industria del cemento, ii) definir las características geológicas, estructurales e industriales de los depósitos calcáreos de las áreas seleccionadas tendiendo a generar pautas para estimar, en forma preliminar, su potencial minero y iii) resumir las

principales características petrológicas y geoquímicas generales de las rocas carbonáticas de cada una de las áreas, con énfasis, en su uso como materia prima de la industria de cemento;

Los relevamientos geológicos comprendieron las hojas topográficas del Servicio Geográfico Militar correspondientes a Barra del Queguay y Lorenzo Geyres (escala 1:50.000). Los resultados alcanzados permitieron verificar el modelo de acumulación de carbonatos a través de enérgicos procesos de calcretización afectando un protolito sedimentario esencialmente siliciclástico. Por otra parte, se desprende del análisis geológico - estructural que la calcretización está íntimamente asociada al fuerte control estructural de dirección E-W que ejerce el Alto del Queguay (de Santa Ana, 1989) (Figura 5). Esta estructura, en el subsuelo de la Cuenca Paraná, reconocida en los relevamientos geofísicos, es responsable del acuñamiento de varias unidades sedimentarias mesozoicas hacia el borde sur de la cuenca (de Santa Ana & Veroslavsky, 2003). Hacia el Oste, en territorio argentino, este alto controla los asomos de derrames basálticos que se explotan como material de caminería (e.g. canteras al norte de Colón, próximas al río Uruguay).

Se postula que el Alto del Queguay, hacia el Terciario, jugó un rol preponderante en los mecanismos de acumulación de carbonatos (Figura 6), tal como lo sugieren Wright & Tucker (1991) para modelos de calcretización controlados por altos de basamento. De una manera general, los altos tienden a favorecer el proceso de precipitación y acumulación de carbonatos al elevar el nivel del freático e incrementar las condiciones de pérdida de CO_2 por desgasificación, los mecanismos de evaporación - evapotranspiración y el efecto ion común (Goudie, 1983). Un valioso antecedente sobre los mecanismos de calcretización asociados a altos internos en la génesis de groundwater calcretes ha sido presentado por Da Silva *et al.* (1994), para la región de Ponte Alta, Minas Gerais - Brasil.

En segundo lugar, para la región del Queguay, se debe sumar otras dos situaciones particulares que incrementaron la eficiencia del proceso de calcretización, en especial, para la generación de acumulaciones con interés económico y que resultan en las principales guías prospectivas del área. Por un lado, se verifica que lineamientos de carácter más local favorecieron la acumulación de carbonatos a lo largo de las direcciones NE (Figura 7 - Barra del Queguay, Figura 8 - Yacimiento Queguay) y, subordinadamente, NW (Figura 9 - Arroyo Araújo y parcial Arroyo Soto). La otra situación está dada por la propia naturaleza y características petrofísicas del protolito tal como lo sugirieron autores anteriores, las que sumadas a los controles estructurales originaron los depósitos calcáreos de mayor interés económico. De esta forma, se señala que los lineamientos NE están directamente asociados a los principales prospectos calcáreos identificados en el área de estudio, aunque en algunos casos particulares se verificó que los lineamientos NW contribuyeron también a generar algunos depósitos de interés exploratorio.

FACIES GEOLÓGICO - INDUSTRIALES DE LA REGIÓN DEL QUEGUAY

Con fines operativos para la prospección mineral se han establecido los siguientes facies: a) facies de calizas macizas, facies de calizas brechoides "laminadas y/o estratificadas", facies de calizas arenosas, facies silíceas y silicosas (Cuadro 1 y Tabla 1). Una caracterización litológica más rigurosa de estos agrupamientos puede encontrarse en Veroslavsky *et al.* (1997) y Goso (1999).

Facies	*Descripción*	*Características químicas*	*Utilización económica*
Calizas macizas	Blancas a crema, micríticas a subesparíticas, poco arenosas, estratos y lentes hasta 15 metros.	Entre 80% a 95% de, sin o muy bajo contenido de Mg, proporciones bajas de material sílice (arena, venas y venillas).	Roca calcárea calcítica (cemento y cales).
Calizas de tipo brechosas "laminadas y/o estratificadas"	Brechosas, blanquecinas a grises, algo silíceas, a veces arenosas a arcillosas, niveles o bancos de 2 a 4 metros de potencia.	Entre 70% a 85% de $CaCO_3$, sin o muy bajo contenido de Mg, proporciones bajas de material síliceo (arena, venas y venillas).	Roca calcárea apta para cemento
Calizas arenosas	Blancas a blanquecinas, con cantidades variables de arena cuarzosa a cuarzo-feldespática, que pasan transicionalmente a areniscas calcáreas.	Entre 70 % a 50% de $CaCO_3$, con media a alta proporción de arena (cuarzo-feldespática) y sílice (venas).	Material para relleno, construcción, etc.
Silíceas y calcosilíceas	Incoloros, rojos, grises, grises oscuros, potencias variables (bancos métricos, decamétricos hasta centimétricos).	Rocas calcáreas silíceas y rocas silíceas, con contenido variable de sílice y carbonatos.	Apta para carreteras y caminos, rellenos, etc.

CUADRO 1: Síntesis sobre las facies geológicos - industriales que se agrupan en las "Calizas de Queguay" (departamento de Paysandú).
TABLE 1: Summary of the geological and industrial facies for the "Calizas del Queguay" (Paysandú departament).

TABLA 1: Análisis químicos para muestras provenientes de las calizas macizas. Muestras obtenidas en el sector Oeste (Prospecto Arroyo Soto, ver Figuras 3 y 8) que corresponden a la facies de calizas micríticas. Laboratorio de la División Portland de ANCAP-Paysandú (determinación de carbonatos totales por valoración de ácido-base; composición química por espectroscopía de rayos X mediante espectrómetro Oxford X3000). No se incluyen datos de pérdida por calcinación ni el cálculo de módulos que lucen en el informe original.
TABLE 1: Chemical analyses for samples taken on massive limestones. Samples were obtained in the West region (Arroyo Soto prospect, see Figures 3 and 8) that correspond to the micritic facies of limestones. Source: Laboratory of the Portland Division of ANCAP-Paysandú (total carbonate determination by valuation of acid-bases; chemical composition by x-rays spectroscopy with an Oxford X3000 spectrometer). Data of loss by calcination are not included nor the calculation of modules in the original report.

Muestra	Titulación $\%CO_3$	CaO (%)	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	Al_2O_3 (%)	MgO (%)	SO_3 (%)	K_2O (%)
1	88.7	48.49	7.45	0.67	0.68	1.18	0.08	0.03
2	93.9	51.17	4.45	0.44	0.38	0.96	0.08	0.00
3	94.6	51.74	3.90	0.35	0.26	0.95	0.08	0.00
4	88.9	48.55	8.12	0.39	0.52	1.17	0.08	0.03
5	90.7	49.78	6.56	0.37	0.42	1.13	0.08	0.02
6	91.8	50.20	5.86	0.33	0.36	1.09	0.08	0.02
7	92.0	50.25	5.98	0.30	0.34	1.11	0.08	0.01
8	93.6	50.96	4.73	0.27	0.24	1.03	0.08	0.01

PRINCIPALES PROSPECTOS Y EVALUACIÓN DE RESERVAS

Se presentan a continuación algunos de los mapas geológicos que, orientados a la prospección de rocas calcáreas, resultaron de los trabajos realizados en levantamientos a escala 1:20.000 en la región del Queguay. Los trabajos de fotointerpretación fueron acompañados de relevamientos de campo, construcción de cortes geológicos con apoyo de exposiciones naturales y en ocasiones algunas perforaciones prospectivas (5 a 12 metros de profundidad). En el área específica del Prospecto Arroyo Soto y el Yacimiento Queguay (ver Figuras. 2 y 3) se contó con información de subsuelo y el quimismo de las rocas provenientes de la Administración nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP). En aquellas zonas donde los depósitos calcáreos de desarrollan en forma subsuperficial (cubiertos por al menos sedimentos cuaternarios con espesores menores a 2 metros), se separaron cartográficamente y formaron parte del cálculo de las reservas probables.

El cálculo de reservas probables en las áreas que se identifican como prospectos se basó en:

- el área de desarrollo superficial y/o subsuperficial,
- potencias entre 2 y 12 metros establecidas a través de observaciones de campo y/o sondeos rasos,
- identificación de las facies de calizas macizas (= aptas para cemento portland),
- extrapolación del cálculo empírico de reservas probadas para el yacimiento Queguay.

Como resultado se obtuvo un valor para la estimación de reservas probables válido para la región del Queguay que oscila entre 120.000 a 130.000 toneladas por hectárea.

El quadro 2 muestra las reservas de rocas calcáreas para cada uno de estos prospectos.

Yacimientos y/o Prospectos	*toneladas*
Yacimiento Queguay	40 millones *
Prospecto Arroyo Araújo	50 millones
Prospecto Arroyo Soto	340 millones
Prospecto Cascada del Queguay	30 millones
Prospecto Barra del Queguay	150 millones
Total	610 millones

CUADRO 2: Estimación de reservas probables para la región del Queguay (se trata de reservas probadas).*
TABLE 2: Estimation of probables reserves for the Queguay region. (shows proved reserves).*

Los mapas de las figuras 7, 8 y 9 se presentan como ejemplos de los materiales elaborados para la región de Queguay. Los aquí presentados permiten observar la distribución de los cuerpos calcáreos, sus relaciones estratigráficas con otras unidades geológicas así como, en particular, los controles estructurales NE que operan sobre éstos. Asimismo, se puede observar que, en forma subordinada, existe incidencia en el control de la calcretización por los cruzamientos de los lineamientos NW y NE (Figura 9).

PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO DE UN POLO CEMENTERO REGIONAL EN EL DEPARTAMENTO DE PAYSANDÚ

En el mundo se producen anualmente cerca de 2000 millones de toneladas de cemento (fuente: USGS - Mineral Commodity Summaries, 2004). El aumento en el consumo de cemento es sostenido a pesar de las variaciones económicas y financieras que se registran a nivel mundial. Los principales productores y consumidores mundiales son China, Estados Unidos e India siendo la industria de la construcción la principal demandante de este commodity. El consumo de cemento per capita de un país refleja, de buen modo, su desarrollo económico y calidad de vida, indicador que es considerado un índice económico confiable para medir la salud de los países.

En los países desarrollados, aun contando con una infraestructura física moderna, el consumo per capita de cemento está en el orden de los 450 kilogramos por habitante (como ejemplos: Francia 350 kg/hab, Alemania 480 kg/hab y España 500-600 kg/hab). Argentina, Brasil y Uruguay están muy lejos de esos consumos, alcanzando apenas los 250 kg/hab. El consumo de estos tres países cayó o se mantuvo con guarismos similares en los últimos años con motivo de la crisis regional: primero la crisis brasileña y luego la argentina. Ambas situaciones contribuyeron, en forma decisiva, para colocar a Uruguay frente a la mayor crisis económica de sus últimos 50 años. Sin embargo, nuestros países muestran hoy signos alentadores de recuperación y crecimiento económico y sin duda llevará a un aumento en la demanda y el consumo de cemento hasta alcanzar las tasas de crecimiento del consumo de cemento que existía a inicios de la década de 1990.

Por la realidad Argentina y Brasil, se conoce que los crecimientos económicos internos son desiguales. Uruguay está físicamente vinculado con una de las regiones más ricas y de mayor crecimiento económico de Brasil y, por otro lado, la región económica más importante de Argentina. El fuerte Estado de Rio Grande do Sul y los otros estados de la región Sur de Brasil, y la Provincia de Buenos Aires más las provincias que integran la Mesopotamia argentina. En ese marco es que Uruguay tiene una oportunidad para el desarrollo de su industria cementera en virtud de su calidad y cantidad de recursos calcáreos y su estratégica situación geográfica.

Uruguay posee dos grandes regiones en las que se explotan rocas calcáreas con fines cementeros: a) la región del Litoral Oeste donde se desarrollan las calizas aquí tratadas (Formación Queguay) y b), en el sureste del país, asociadas a las "calizas de bajo grado metamórfico" (Grupo Lavalleja, sectores Minas, Carapé y Treinta y Tres) las que proveen la materia prima para el polo cementero de la ciudad de Minas (Figura 10).

La región del Litoral Oeste posee una importancia estratégica para el desarrollo y redimensionamiento de la industria del cemento de Uruguay (de Santa Ana & Veroslavsky, 2000). Es una región que presenta un conjunto de ventajas comparativas desde el punto de vista geológico-minero, ambiental, económico y logístico para el desarrollo de un polo cementero a escala regional. Las perspectivas alentadoras que se visualizan a corto y mediano plazo resultan, al menos, de los siguientes tópicos:

a) las grandes áreas de calizas sedimentarias, pobres en magnesio, con reservas probadas del orden de decenas de millones de toneladas y reservas probables superiores a las seis centenas de millones de toneladas,
b) buenas condiciones geológico-mineras para la explotación, dadas por el carácter "estratiforme" de los depósitos calcáreos, con mediano espesor (5 - 12 metros), buena continuidad lateral, relativamente baja dureza del material y escasa o nula cubierta de estéril y totalmente friable. Este conjunto de características hace que los costos operativos de la minería sean sustancialmente más bajos que los que se conocen para la región sureste de Uruguay, en la explotación de las "calizas metamórficas"de los departamentos de Lavalleja y Treinta y Tres,
c) las condiciones para la restauración ambiental de las áreas explotadas, en función de las características de los yacimientos calcáreos, permiten también minimizar los costos. Además, la actividad minera en los alrededores de los principales prospectos definidos para la región del Queguay muestra una nula, o casi nula, conflictividad con el resto de las actividades económicas de la región. No ocurre así con las áreas de explotación de las "calizas metamórficas" en las canteras de los alrededores de la ciudad de Minas (departamento de Lavalleja),
d) la localización de algunos depósitos calcáreos, susceptibles de ser explotados a gran escala, ofrece además la posibilidad de canalizar el transporte de la piedra caliza, clinker o cemento por vía fluvial (barcazas). El mismo es viable a través de los ríos Queguay y Uruguay, directamente hasta los principales centros de producción y de consumo actual y potencial;
e) la situación geográfica, en virtud del mercado regional (centro-norte de Uruguay, Mesopotamia argentina y la región centro-sur de Rio Grande do Sul) reúne un área de importante crecimiento económico, poblacional y con una infraestructura física relevante.

AGRADECIMIENTOS

El Vicente Fulfaro con quien hemos disfrutado y aprendido discutiendo el origen de las Calizas del Queguay y la evolución del Cretácico Superior - Terciario de América del Sur. A la Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland - ANCAP por brindarnos importantes datos e informaciones sobre los yacimientos del Departamento de Paysandú.

BIBLIOGRAFÍA

DA SILVA R.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, R.A. 1994. Groundwater calcretes: uma interpretação alternativa para os calcários da Formação Marília no Triângulo Mineiro. SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 3°, *Boletim...*, Unesp, São Pedro, p. 85-89.

DE SANTA ANA, H. 1989. Consideraciones tectónicas y deposicionales de la Cuenca Norte del Uruguay. *Boletín Técnico Arpel*, v. 18, n.4, p. 319-339.

DE SANTA ANA, H.; VEROSLAVSKY, G. 2000. Panorama de la industria del cemento en el MERCOSUR y sus perspectivas en el Uruguay. *Revista GeoUruguay*, v. 4, p. 96-116.

DE SANTA ANA, H.; VEROSLAVSKY, G. 2003. La tectosecuencia volcanosedimentaria de la Cuenca Norte de Uruguay. Edad Jurásico - Cretácico Temprano. En: VEROSLAVSKY, G.; UBILLA, M.; Y MARTÍNEZ, S. (eds.) *Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos minerales-Mesozoico*. Dirac - Facultad de Ciencias, p. 51-74.

GOSO, H. 1965. *El Cenozoico en el Uruguay*. Instituto Geológico del Uruguay (informe interno mecanogsrafiado), Montevideo, 36 pp.

GOSO, C. 1999. *Análise estratigráfica do Grupo Paysandú (Cretáceo) na Bacia do Litoral Uruguayo*. Tese de Doutoramento IGCE - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Brasil, 184 pp.

GOSO, C.; PEREA, D. 2003. El Cretácito post-basáltico de la Cuenca litoral del río Uruguay: geología y paleontología. In: VEROSLAVSKY, G.; UBILLA, M; MARTÍNEZ, S. (eds.). 2003. *Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales - Mesozoico*. DIRAC, Montevideo, p. 141-169.

GOUDIE, A.S. 1983. Calcrete. In: GOUDIE, A.S.; PYE, K. (eds.), *Chemical sediments and geomorphology*. Academic Press, London, p. 93-131.

LAMBERT, R. 1939. Memoria explicativa del mapa geológico de los terrenos sedimentarios y las rocas efusivas del Depto. de Durazno. *Boletín del Instituto Geológico del Uruguay*, v. 25, p. 1-37.

LAMBERT, R. 1940. Memoria explicativa de un mapa geológico de reconocimiento del Depto. de Paysandú y los alrededores de Salto. *Boletín del Instituto Geológico del Uruguay*, v. 27, p. 1-41.

MARTÍNEZ, S.; VEROSLAVSKY, G.; VERDE, M. 1997. Asociaciones fosilíferas paleocenas en paleosuelos calcáreos de la Cuenca de Santa Lucía - Uruguay. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, n. 3, p. 295-302.

TÓFALO, O.R.; PAZOS, P.J.; SÁNCHEZ, L.; DE SANTA ANA, H.; ALONSO, S. 2001. Caracterización micromorfológica de calcretes, Calizas del Queguay, departamento Paysandú, Uruguay. CONGRESO LATINOAMERICANO DE GEOLOGÍA XI Y CONGRESO URUGUAYO DE GEOLOGÍA III, *Actas CD Rom*, SUG - DINAMIGE, Montevideo.

TÓFALO, O.R.; PAZOS, P. 2002. Caracterización de calcretes de la Formación Puerto Yeruá (Cretácico) en base a su micromorfología (Entre Ríos, Argentina). *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, v. 9, n. 2, p. 127-134.

VEROSLAVSKY, G.; MARTÍNEZ, S. 1996. Registros no depositacionales del Paleoceno-Eoceno del Uruguay: nuevo enfoque para viejos problemas. *Revista Universidade Guarulhos, Série Geociências*, v. 1, n. 3, p. 32-41.

VEROSLAVSKY, G.; DE SANTA ANA, H.; GOSO, C.; GONZÁLEZ, S. 1996. Calcretas y silcretas de la región del Queguay - Uruguay (Cretácico Superior-Paleógeno). SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 4º, UNESP - Rio Claro, Brasil: *Boletim ...*, p. 277-281.

VEROSLAVSKY, G.; DE SANTA ANA, H.; GOSO, C.; GONZÁLEZ, S. 1997. Calcretas y silcretas de la región oeste de Uruguay (Queguay): Cuenca de Paraná (Cretácico Superior - Terciario Inferior). *Geociencias*, v. 16, n. 1, p. 58-67.

WRIGHT, V.P.; TUCKER, M.E. 1991: Calcretes: an introduction, en WRIGHT, V.P.; TUCKER, M.E. (eds.): *Calcretes. International Association of Sedimentologists*, Blackwell Scientific Publications Reprint Series, 2, p. 1-22, Oxford.

Argentina

- **Loma Negra**, plantas:
  1-*Sierras Bayas*, cap:1.000.000 ton/año
  2-*Olavarría* cap: 2.300.000 ton/año
  3-*Barker*: cap: 1.575.000 ton/año
  4-*Ramallo:* cap: 300.000 ton/año
  5-*Pipinas* (unidad de molienda): cap: 220.000 ton/año
  6-*Paraná* (unidad de molienda): cap: 250.000 ton/año
- 7-*L'Amali*: cap: 2.000.000 ton/año

- **Cementos Avellaneda**
  8-*San Jacinto*
  cap: sin datos

Uruguay

- **A.N.C.A.P.:**
  9-*Paysandú* cap: 330.000 ton/año
  10-*Lavalleja* cap: 250.000 ton/año
- **C.U.C.P.S.A.:**
  11-*Lavalleja* cap: 470.000 ton/año
- **Cía. Nacional de Cemento**
  12-*Maldonado* (molienda) cap: 35.000 ton/año

Brasil

- **Río Branco** (Votorantim)
  13-*Itajaí* (molienda) cap: 540.000 ton/año*
- **Gaúcho** (Votorantim)
  14-*Esteio* (molienda) cap: 630.000 ton/año *
  15-*Pinheiro Machado* cap: 390.000 ton/año*
- **Serrana** (Cimpor)
  cap total: 650.000 ton/año *
  16-*Candiota*
  17-*Nova Santa Rita*(molienda)

Cap - capacidad de producción anual
* - capacidad de producción anual estimada
- área de desarrollo de las Calizas del Queguay

FIGURA 1: Ubicación de las principales plantas de cemento y su capacidad instalada para el sur de Brasil, centro – oeste de Argentina y Uruguay y área de desarrollo de los recursos calcáreos del norte del Departamento de Paysandú.
FIGURE 1: Location and capacity of the main cement plants installed for the south of Brazil, center and west of Argentina and Uruguay and area of development of calcareous resources of the north of Paysandú Department.

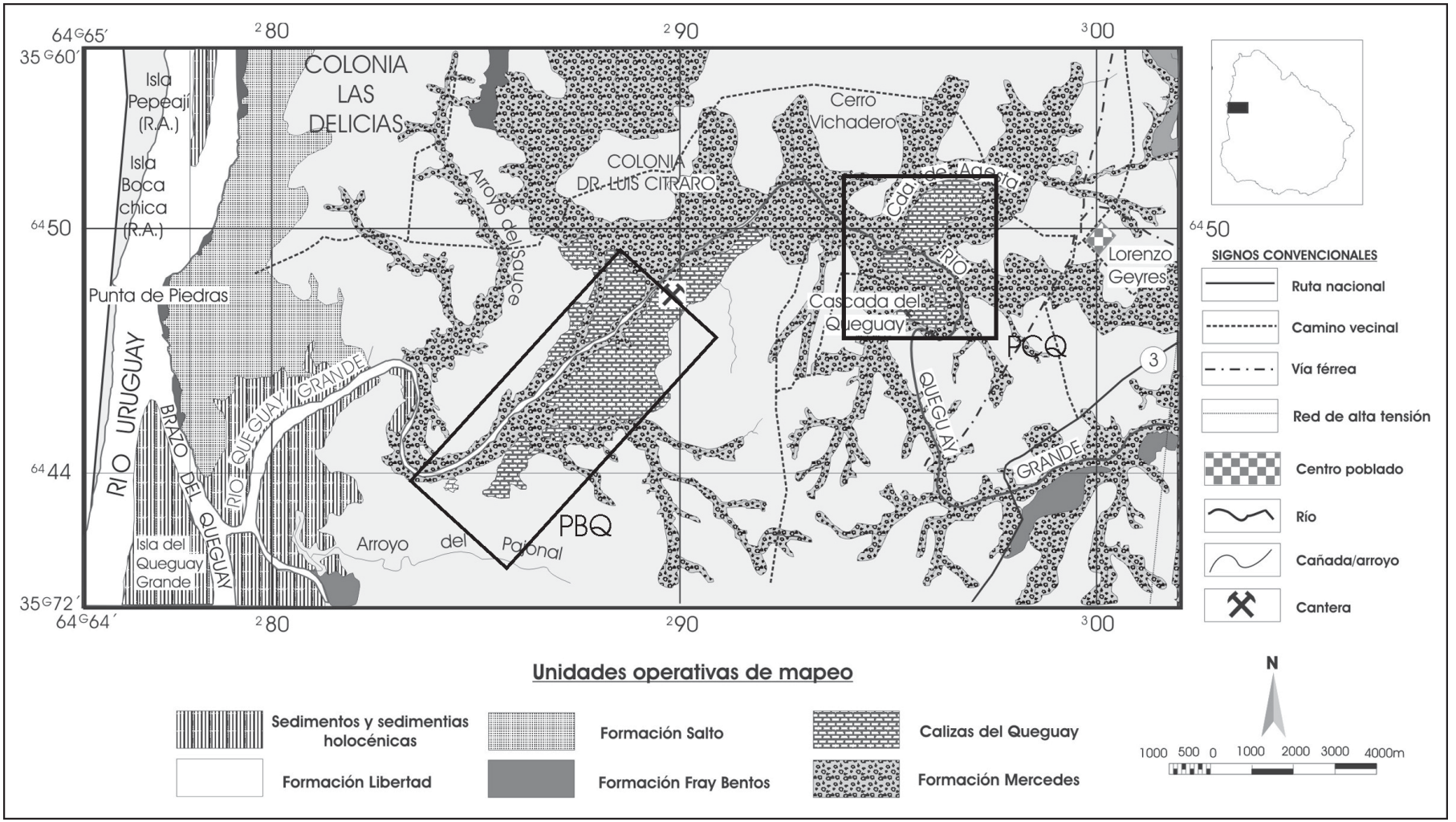


FIGURA 2: Mapa geológico de la región occidental del río Queguay orientado a la exploración de rocas calcáreas (Formación Queguay). Se señala la ubicación de los prospectos y/o yacimientos a los que se hace referencia en el trabajo: PBQ = Prospecto Barra del Queguay y PCQ = Prospecto Cascada del Queguay.

FIGURE 2: Geologic map of the western region of the Queguay river oriented to the calcareous rock exploration (Queguay Formation). It is indicated the plays and/or deposits locations referred in the text: PBQ = Barra del Queguay prospect and PCQ = Cascada del Queguay prospect.

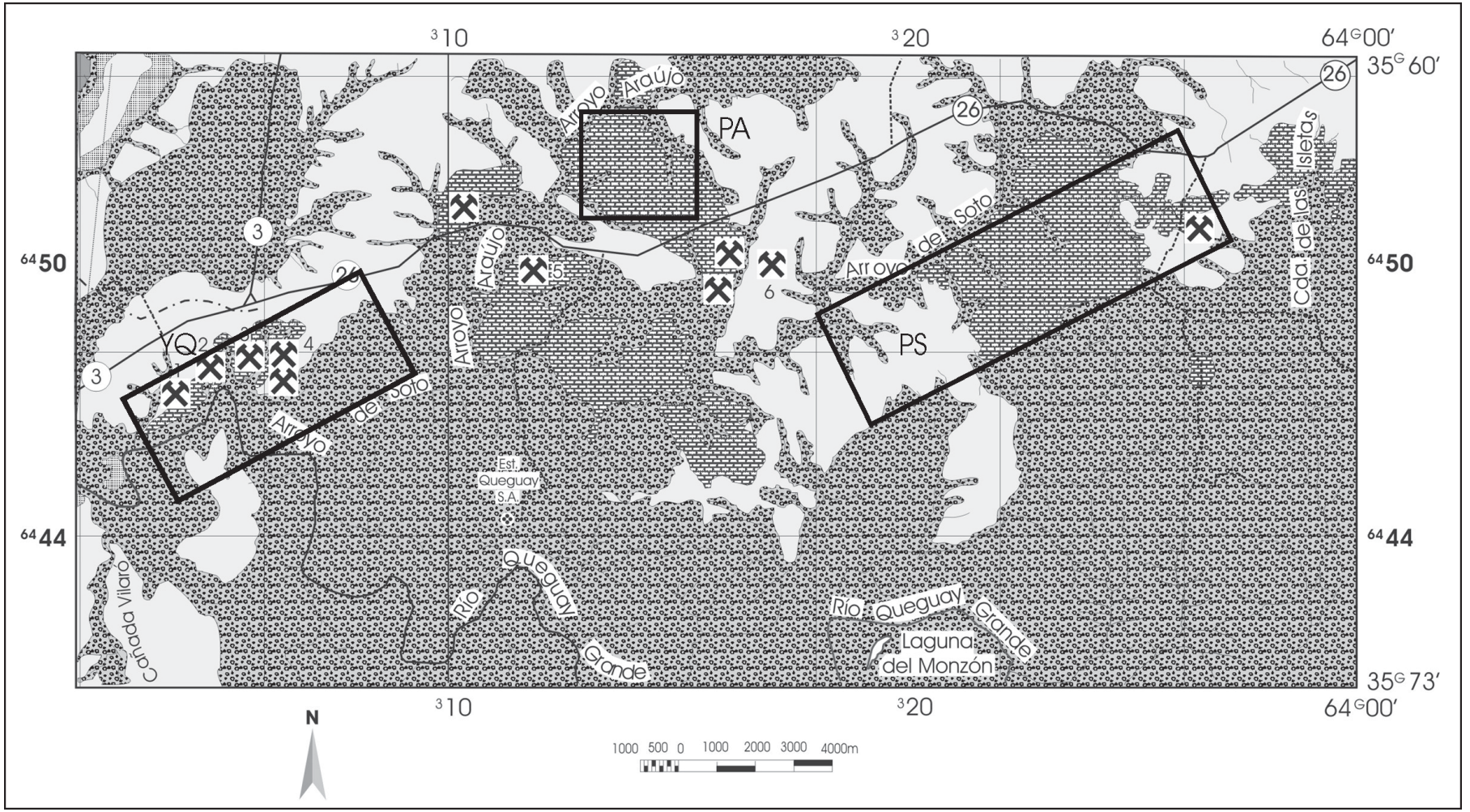


FIGURA 3: Mapa geológico de la región oriental del río Queguay orientado a la prospección de rocas calcáreas (Formación Queguay). Se señala la ubicación de los prospectos y/o yacimientos a los que se hace referencia en el trabajo: YQ = Yacimiento Queguay, PA = Prospecto Arroyo Araujo y PS = Prospecto Arroyo Soto. Referencias geológicas idem figura 2.

FIGURE 3: Geologic map of the eastern region of the Queguay river oriented to the calcareous rocks exploration (Queguay Formation). It is indicated the plays and/or deposits locations referred in the text: YQ = Queguay deposit, PA = Arroyo Araujo play and PS = Arroyo Soto play. Geological references as in figure 2.

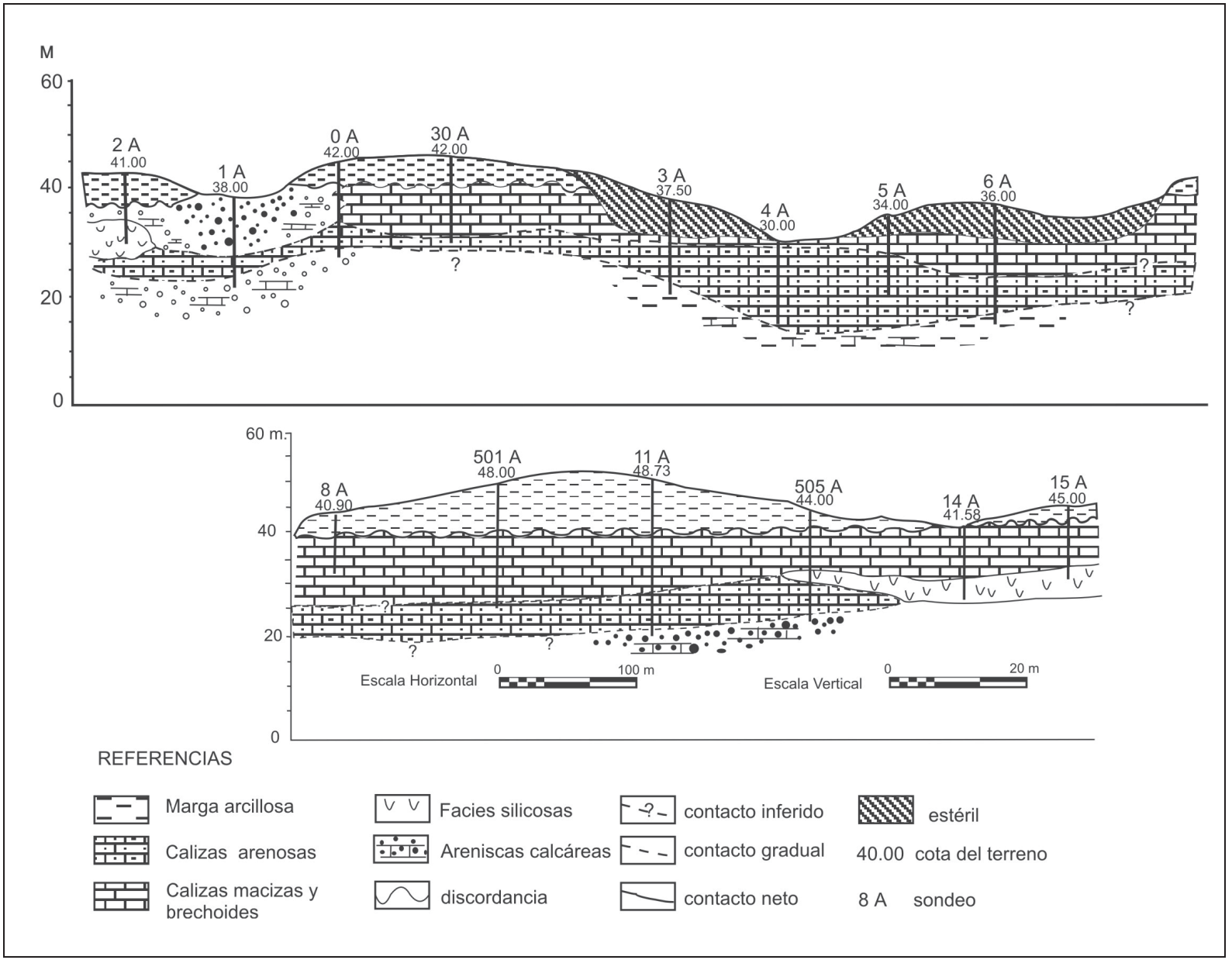


FIGURA 4: Cortes geológicos de la cantera Vichadero – Yacimiento Queguay (puntos 3-4, Figura 3) que ilustran la disposición en bancos / lentes de las litologías que integran las "Calizas del Queguay" así como las relaciones con los diferentes litofacies del área (modificado de Veroslavsky et al., 1997).

FIGURE 4: Geologic sections of the Vichadero quarry - Queguay deposit (points 3-4, Figure 3) that illustrate the disposition in banks/lenses of the "Calizas del Queguay", as well as the relationship with the different facies from the area (modified from Veroslavsky et al., 1997).

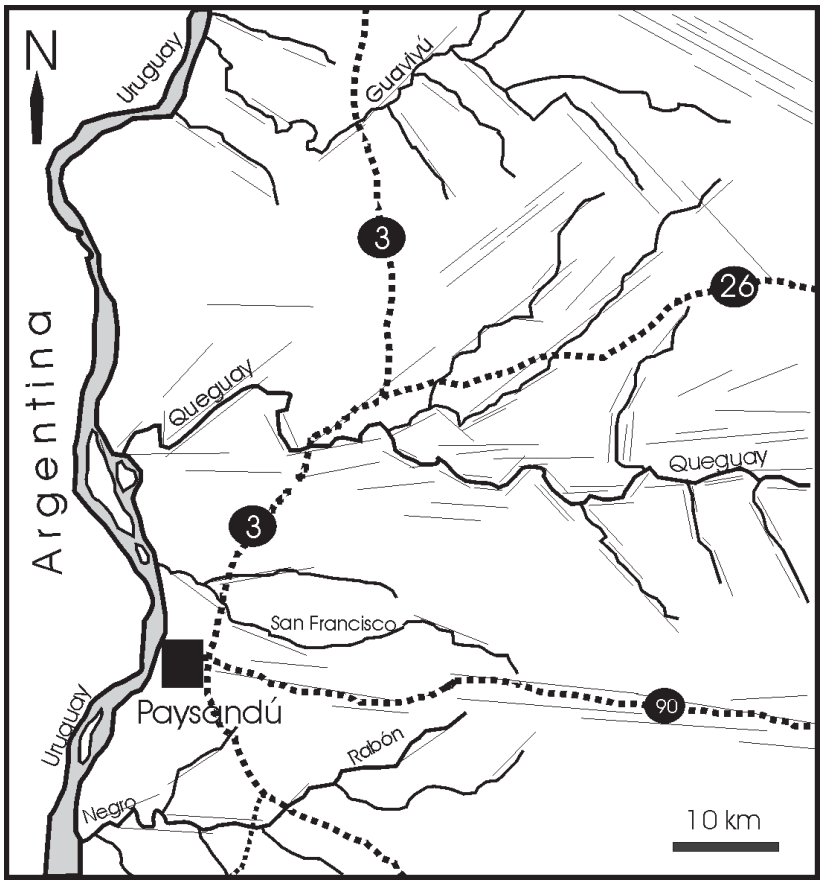


FIGURA 5: Mapa de rasgos estructurales de la región de Queguay. La cuenca es dominada por lineamientos que se orientan en tres direcciones principales: E-W, NE y NW.
FIGURE 5: Map showing structural framework of Queguay area. The basin is dominated by lineaments oriented in three main direcciones: E-W, NE and NW.

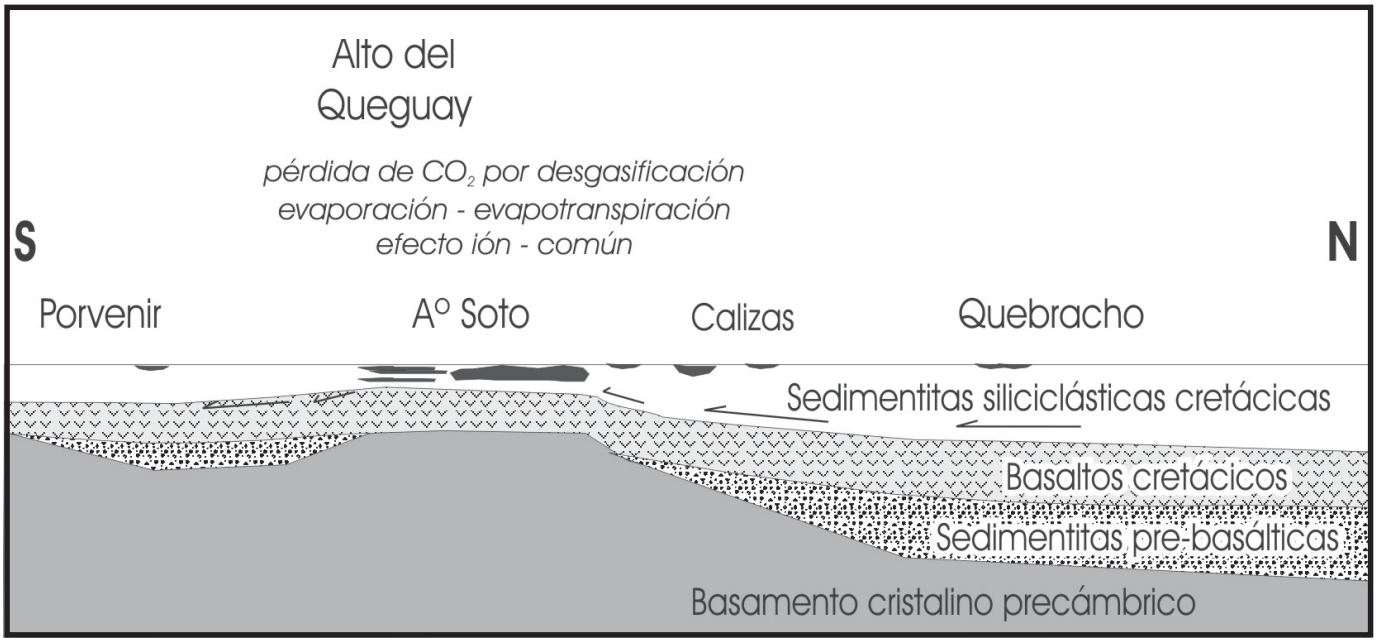
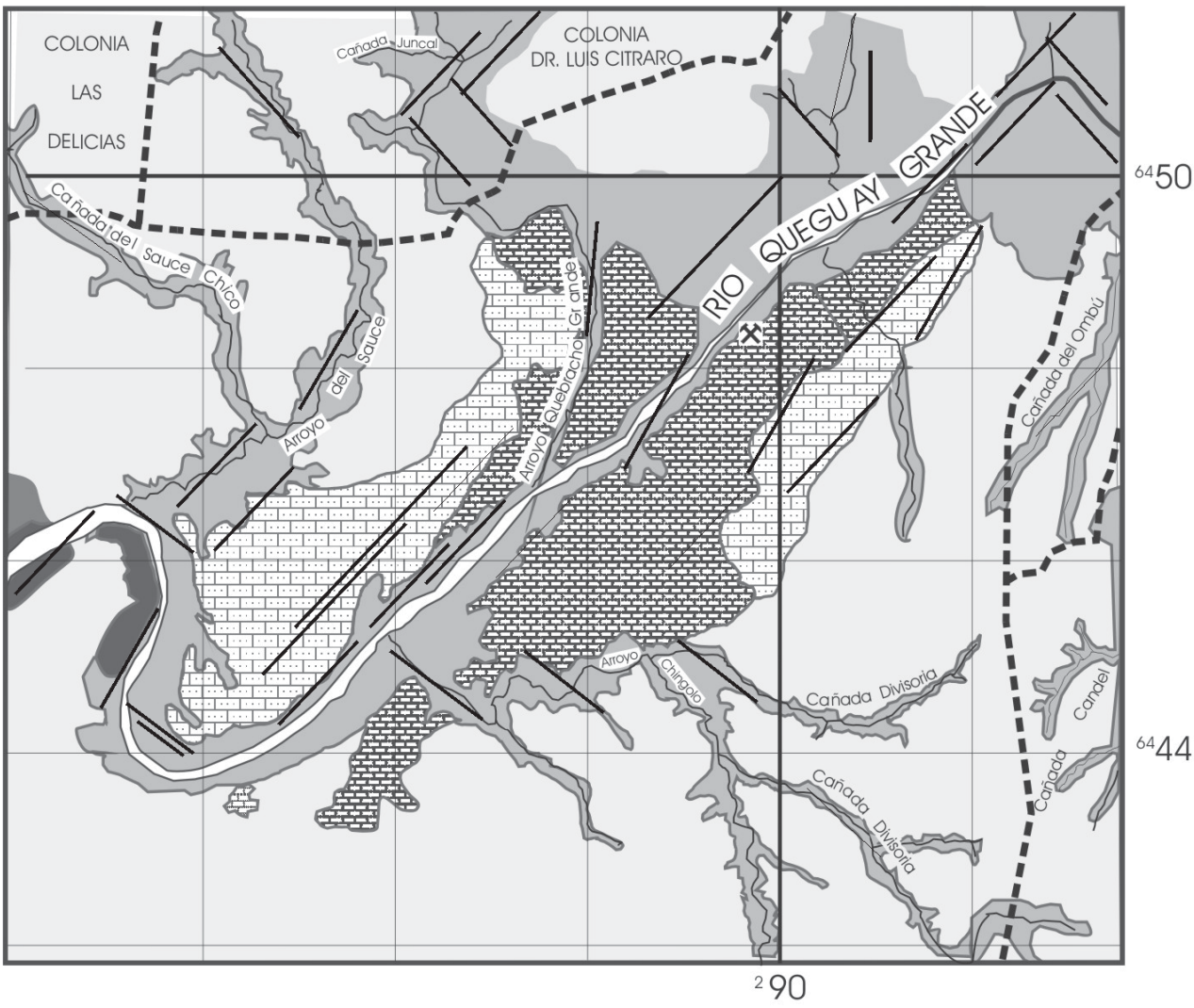


FIGURA 6: Modelo esquemático de funcionamiento del Alto del Queguay en el mecanismo de formación de las calcretas (basado en Da Silva et al., 1994).
FIGURE 6: Schematic model of the Queguay High incidence in the formation mechanism of the calcretes (based on Da Silva et al., 1994).



REFERENCIAS

- SEDIMENTOS FINOS ACTUALES
- SEDIMENTITAS MARRONES CUATERNARIAS
- CALIZAS SUBSUPERFICIALES
- CALIZAS MACIZAS - CALIZAS ARENOSAS
- SEDIMENTITAS CRETÁCICAS
- LINEAMIENTOS
- CAMINO VECINAL
- CAÑADA / ARROYO
- CANTERA

N

1000 500 0 1000 2000 3000 4000m

FIGURA 7: Mapa geológico del prospecto Barra del Queguay. Se observa el fuerte control NE de los depósitos calcáreos.
FIGURE 7: Geologic map of Barra del Queguay play. The strong NE control of the calcareous deposits can be observed.

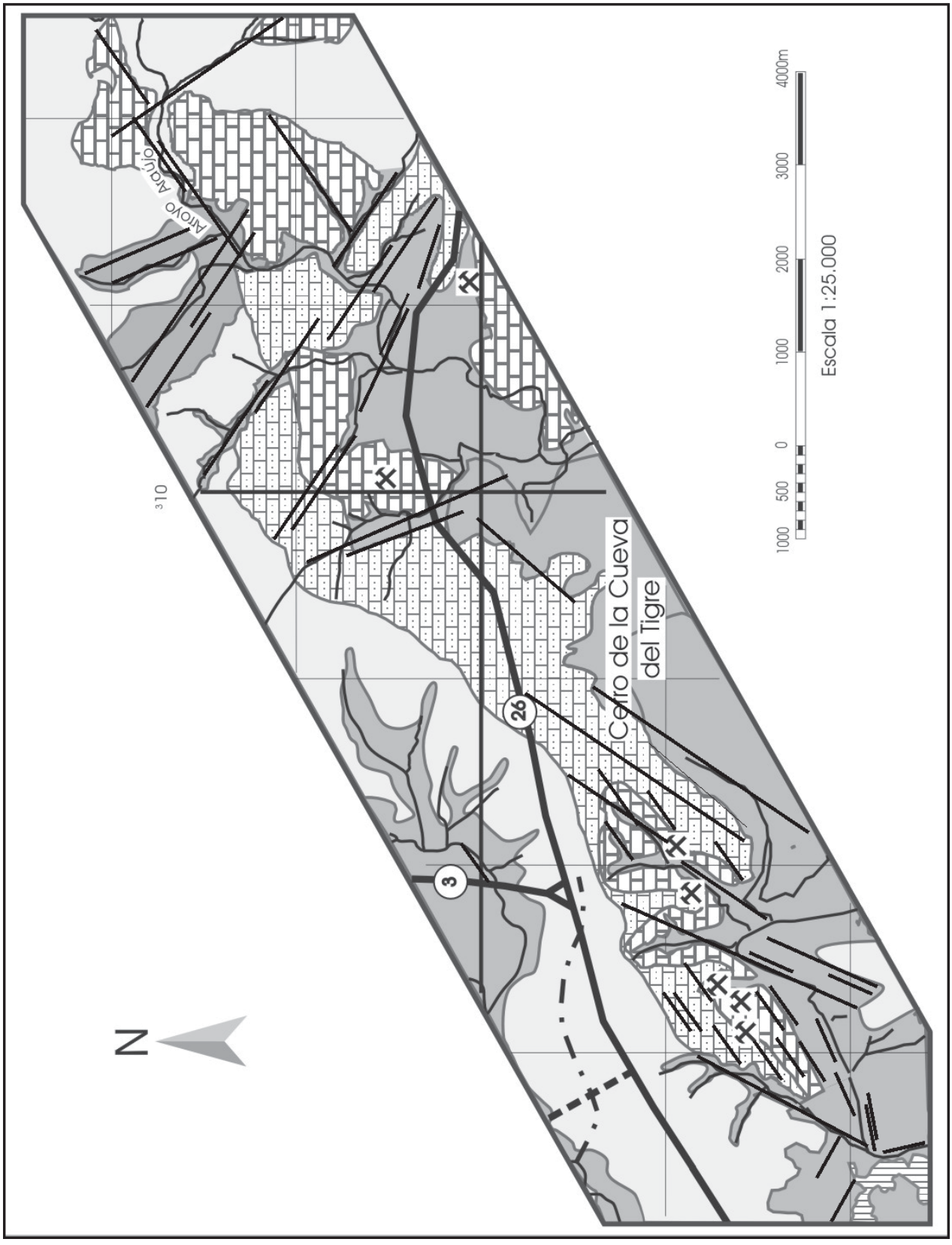


FIGURA 8: Mapa geológico del yacimiento Queguay y su extensión hacia el Este. Referencias: idem Figura 6. Nótese el control NE en el desarrollo de los cuerpos calcáreos.
FIGURE 8: Geologic map of the Queguay deposit and their extension towards the East. References as in Figure 6. Observe the NE control in the development of the calcareous bodies.

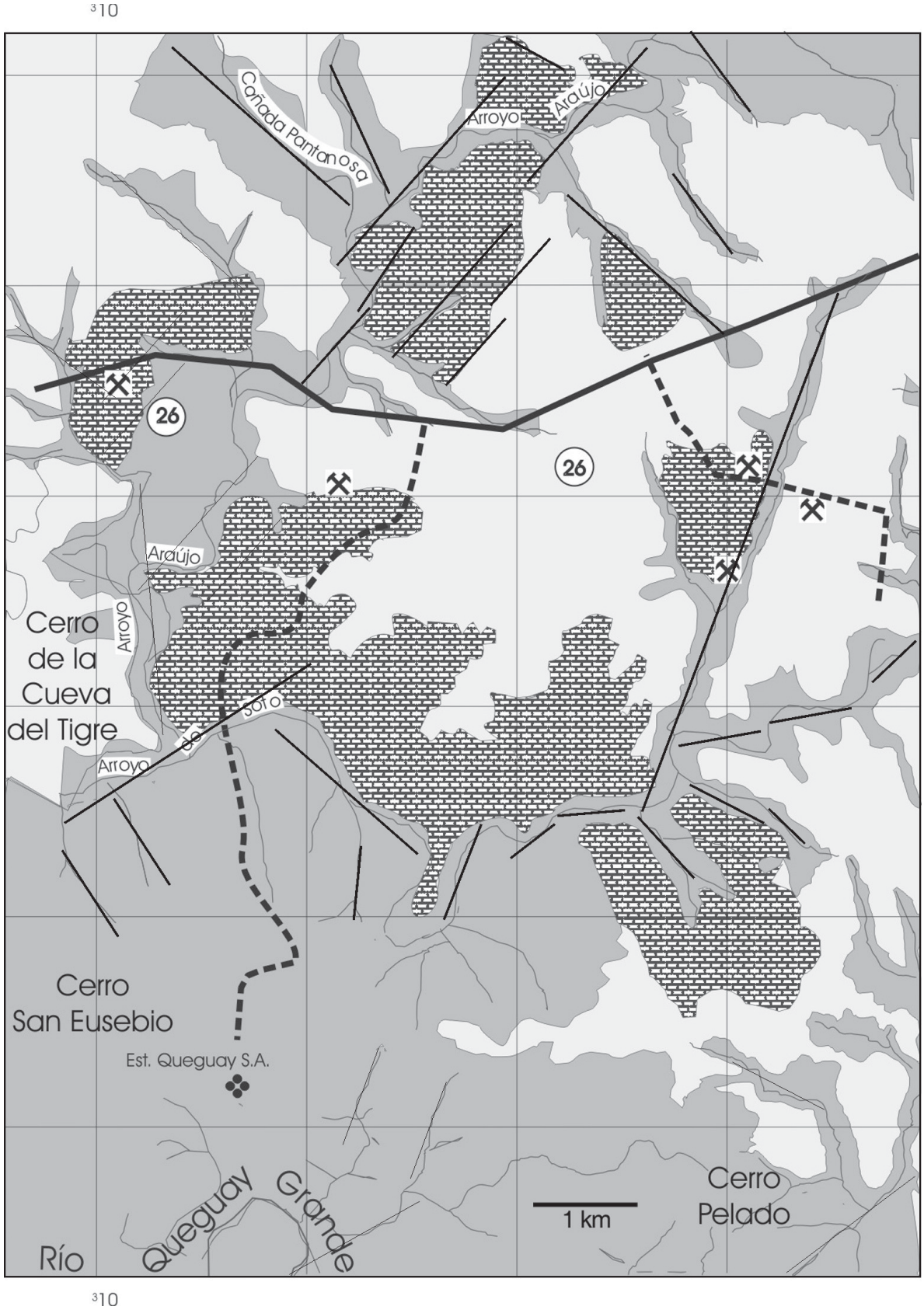


FIGURA 9: Mapa geológico que abarca el Prospecto Araújo y, en forma parcial, el extremo occidental del Prospecto Arroyo Soto (ver extensión total en la Figura 3). Referencias: idem figura 6.

FIGURE 9: Geologic map including Araujo play area and western region of the Arroyo Soto play (for total extension see Figure 3). References as in figure 6.

FIGURA 10: Áreas con mayor potencial mineral para la explotación de rocas calcáreas destinadas a la industria del cemento en Uruguay: 1= Región de Queguay; 2= Región de Minas; 3= Región de Carapé; 4 = Región de Treinta y Tres.
FIGURE 10: Areas with greater mineral potential for the exploitation of calcareous rocks with destiny to the cement industry in Uruguay: 1 = Queguay region; 2 = Minas region; 3 = Carapé region; 4 = Treinta y Tres region.