

Aplicación de un patrón de exploración y explotación en la minería de carbonatos, en el ámbito de la Precordillera Argentina

A. Arroqui Langer⁽¹⁾, O. Bordonaro⁽²⁾ e I. Chávez⁽¹⁾

(1) Instituto de Investigaciones Mineras, Facultad de Ingeniería – UNSJ. Av. San Martín 1109 (O) San Juan. arroqui@unsj.edu.ar

(2) Facultad de Cs. Exactas, Fís. y Nat. UNSJ – CONICET

RESUMEN

En la Precordillera Argentina aflora una potente sucesión de rocas carbonáticas depositadas en los períodos Cámbrico y Ordovícico. Las mismas tienen una extensión de afloramientos de 390 kilómetros de Norte a Sur. La sucesión está integrada por diversos tipos de rocas carbonáticas tales como margas, calizas, calizas dolomíticas y dolomías. Estas rocas son utilizadas para diversos usos industriales como materia prima para la fabricación de cales y cementos para la construcción, industria química, fundentes para siderurgia, para cristalería, etc. En muchas canteras de carbonatos, en especial aquellas relacionadas a la pequeña minería, se realizan explotaciones no supervisadas por profesionales, lo que lleva a una explotación desordenada, y a un mal aprovechamiento de los recursos. Con la aplicación de un patrón de exploración y explotación (generado a partir de datos sedimentológicos, geoquímicos, y litológicos), desarrollado y probado por los autores en muchas localidades de la Precordillera Oriental, es posible identificar en campaña los niveles de mayor pureza. La aplicación de este tipo de estudio, reduce el número de muestras para estudios geoquímicos, el tiempo y los costos generales de exploración. Al mismo tiempo sirve de guía en las tareas de explotación.

Palabras clave: Argentina, carbonatos, exploración, minería, Precordillera Andina

The application of an exploration and exploitation model in the carbonate mining in the Argentinian Precordillera

ABSTRACT

A thick carbonatic Cambro-Ordovician succession, is distributed along the Eastern Argentine Precordillera. Outcroppings from this carbonatic succession are extended by 390 kilometers in the North – South direction. These rocks are mainly marls, limestones, dolomitic limestones and dolostones. Many of these rocks are used for industrial purposes such as cement; lime for building; melter for iron and steel; and limes for chemical uses, etc. In many carbonate quarries, in special those related to the small mining, are very common operations without professional supervision. This situation takes to a disordered exploitation, and the bad profit of the resources. With the application of an exploration pattern (generated from sedimentologic, geochemical, and litologic data), developed and tested by the authors in many localities of Eastern Precordillera; it is possible to identify, in the outcrops, the rocks levels of greater purity. The use of the pattern, reduce the number of samples for geochemistry studies, time and general exploration costs. In the same time is very useful as exploitation guide.

Key words: Andinian Precordillera, Argentina, carbonates, exploration, mining

Introducción

Las calizas y dolomías se encuentran ampliamente representadas en el ámbito de la Precordillera sanjuanina, y relacionadas con cinco unidades formacionales (ver Figura 1). Si bien estas rocas afloran como grandes unidades litológicas; ante un análisis particular de las mismas es posible advertir una importante variedad de litofacies calcáreas, las que se relacionan íntimamente con los procesos genéticos y diagenéticos.

Estas litofacies están caracterizadas por texturas, estructuras, colores, y características físico-químicas particulares.

En este trabajo se proponen las litofacies y características geológicas generales de las rocas calcáreas con mayor aptitud para ser explotadas como materia prima carbonática. Sirviendo como guía de explotación de canteras abiertas o como patrón de exploración de carbonatos de alta calidad en nuevas áreas.

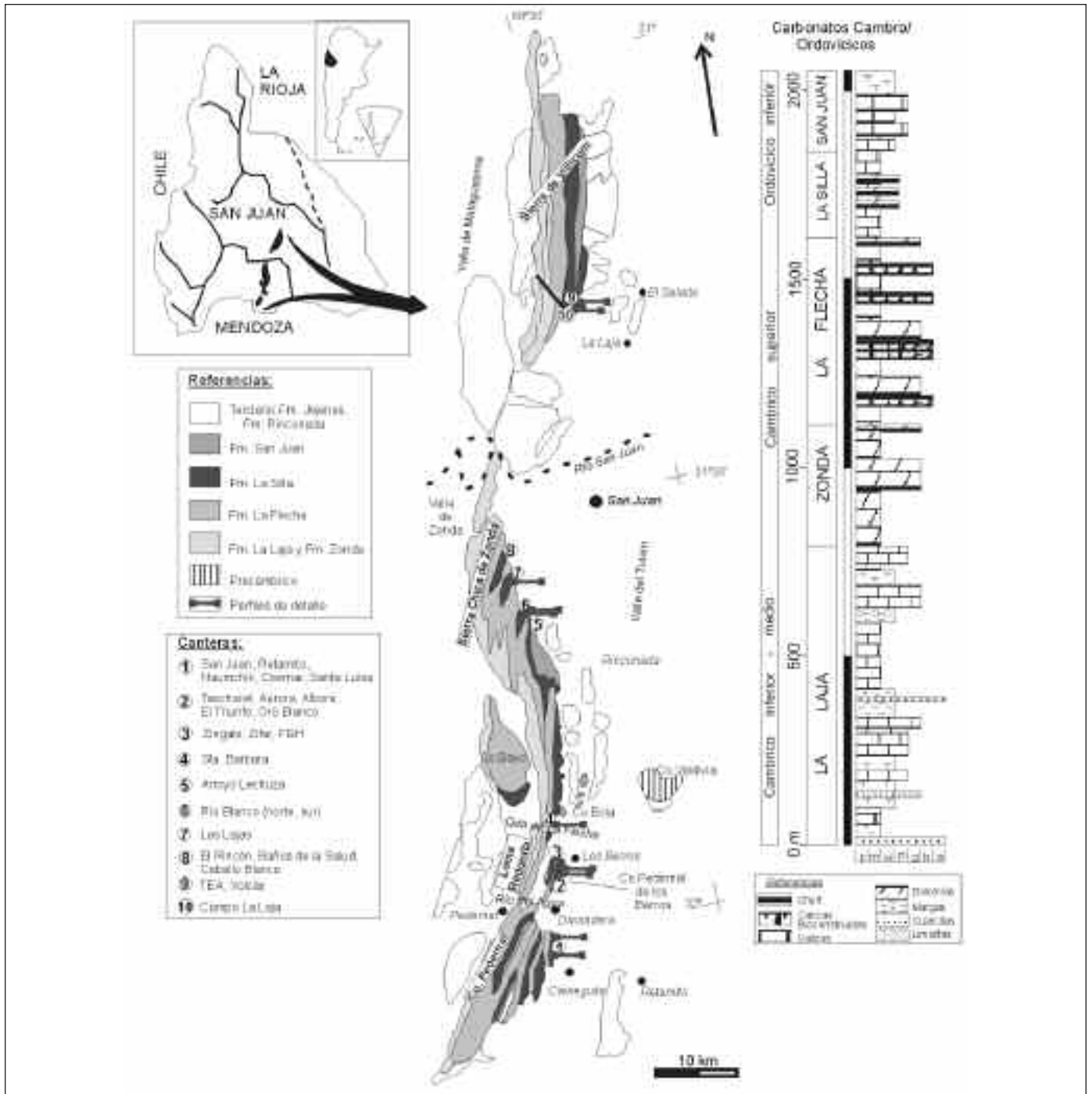


Fig. 1- Esquema geológico de la precordillera sanjuanina
 Fig. 1- Geological map of Precordillera of San Juan

Descripción geoquímica-estratigráfica de las rocas calcáreas

Numerosos estudios estratigráficos, geológico-económicos, y geoquímicos, relacionados con las dolo-

mías y las calizas de alta calidad, se han llevado a cabo en el ámbito de la Precordillera sanjuanina (Arroqui Langer, 1998 y 1999; Bordonaro, 1983). Dichos estudios incluyen perfiles estratigráficos de detalle, correlaciones estratigráficas y cerca de mil

análisis químicos de tipo sistemático y/o selectivos. La correlación de resultados ha permitido vincular las características actuales de la roca con el ambiente paleoecológico y la química litofacial. Así, las condiciones genéticas y diagenéticas reflejadas fundamentalmente en la mineralogía de la roca (textura, color, forma, tamaño de los cristales, porosidad, etc.) condicionan la calidad general de la roca como materia prima industrial. Revisten importancia de igual forma las perturbaciones de la roca de tipo físico y/o químico relacionadas a la actividad tectónica.

Las calizas y/o dolomías de Precordillera poseen una variedad litofacial y química determinada que les confieren aptitud para diversos usos industriales (Bordonaro, 1997).

Analizando la columna estratigráfica desde las rocas más viejas a las más nuevas se observan las siguientes características formacionales:

Formación La Laja (Cámbrico inferior-medio)

(Borrello, 1963)

Esta formación posee un espesor de alrededor de 450 metros y aflora en todo el flanco occidental de las Sierras Chica de Zonda y de Villicum. Integran la formación calizas gris oscuras a negras, calizas lajosas y calizas gris claras arcillosas. En menor grado margas, lutitas calcáreas, y cuarcitas. Esta formación está dividida en cuatro miembros (Bordonaro, 1980). El miembro Rivadavia, está caracterizado por calizas masivas y posee contenidos de CO_3Ca superiores al 80%, el contenido de CO_3Mg es inferior al 5% y no tiene sílice libre. Los miembros Soldano y Juan Pobre contienen abundante residuo insoluble con óxidos de hierro, alúmina y silicatos. Explotando estos tres miembros superiores en forma conjunta se obtiene el Ca y aditivos necesarios para la elaboración del clinker del cemento Portland y natural. Estos mismos niveles son aptos para elaborar cales hidráulicas. El miembro Rivadavia también es útil para la elaboración de cales aéreas. El miembro inferior no tiene aplicación industrial.

Formación Zonda (Cámbrico superior)

(Bordonaro, 1980)

Está representada por dolomías y dolomías cálcicas que alcanzan un espesor total que varía entre 200 a 350 metros. Las litofacies reconocidas en la formación se las interpreta como de ambiente intermareal a supramareal, desarrolladas en condiciones de una cuenca restringida, con características de sabkha. La formación está dividida en cuatro miembros, con notables diferencias geoquímicas y litológicas. El miembro inferior posee dolomías micríticas y laminadas, con porcentajes de hasta 44% de CO_3Mg , residuo

insoluble de hasta 2% y bajo contenido de Fe, P y S. Continúa un miembro de dolomías masivas, microesparíticas a esparíticas, con colores gris claros, que contiene niveles con 44% de CO_3Mg , residuo insoluble menor al 1% y sin impurezas (Arroqui Langer, 1998). Ambos miembros son utilizados en la elaboración de cales dolomíticas y magnesianas. Los elevados contenidos de Mg y ausencia de impurezas las hace potencialmente aptas para la elaboración de magnesia cáustica (Bordonaro y Arroqui Langer, 1995). Los dos miembros superiores poseen menores contenidos de Mg (hasta 40% de CO_3Mg) y mayores impurezas de chert. Sólo el miembro superior puede ser útil para elaborar cales magnesianas.

Formación La Flecha (Cámbrico superior)

(Baldís y Bordonaro, 1981)

Esta formación está caracterizada por una alternancia cíclica de calizas, dolomías y chert con una gran variedad de algas estromatolíticas y trombolíticas y estructuras asociadas con un espesor de alrededor de 400 metros. El ambiente que origina estas acumulaciones es el de una plataforma mareal extensa y parcialmente restringida, con características subsidentes en pulsos biocíclicos de tipo somerizante con tendencia transgresiva y con una brusca regresión en la culminación de cada ciclo (Armella, 1989). Keller *et al.* (1989) interpretan que estos ciclos somerizantes hacia arriba representan un antiguo sistema de sabkha desarrollado en una plataforma estable.

La constante alternancia en bancos de pocos metros de espesor hace imposible la explotación individual de cada banco. Sólo se utilizan algunos paquetes dolomíticos de mayor potencia (hasta 25 m) con leyes que no superan el 40% de CO_3Mg , hasta un 3% de residuo insoluble, pero frecuentemente están contaminadas con chert. Estos se destinan a la elaboración de cales magnesianas o en cristalería.

Formación La Silla (Ordovícico inferior)

(Keller *et al.*, 1994)

Esta formación está compuesta por calizas masivas con eventuales intercalaciones de dolomías y chert. El ambiente de formación a sido interpretado como intermareal con zona de barrera.

Se caracteriza por tener calizas con el mayor contenido de calcio de toda la secuencia, alcanzando valores del 99% de CO_3Ca , además tiene muy poco OMg, residuo insoluble menor al 1%, ausencia de sílice libre y valores de S y P inferiores al 0,03% y 0,01% respectivamente. Posee una excelente calidad como materia prima para elaborar cales altamente cálcicas usadas en la industria siderúrgica, cales y cemento

para la construcción, OCa y carburo de Ca para la industria química. De hecho la mayor actividad minera de la Precordillera se debe a la explotación de esta formación que a su vez constituye la mayor reserva del país en esta aplicación.

Formación San Juan (Ordovícico inferior)

(Kobayashi, 1937; Keller *et al.*, 1994)

Constituida en los términos basales y medio por calizas lajosas y margas y en el término superior por calizas y dolomías con chert. La formación es interpretada relacionada a un ambiente de aguas someras de plataforma calcárea, con fluctuaciones entre las zonas intermareal y submareal, donde se presentan condiciones adecuadas para el desarrollo de la vida.

Estas calizas presentan valores entre 60% y 80% de CO₃Ca, residuo insoluble mayor del 10% y frecuentes intercalaciones de chert. Estos niveles son muy utilizados en la fabricación de cales industriales que no requieren tanto OCa pero precisan abundante Si, Al y Fe.

Modelización de la exploración y explotación de calizas y dolomías de alta pureza

La calidad de las rocas carbonáticas como materia prima industrial está condicionada básicamente por la calidad química y el estado del macizo rocoso.

Dentro de la calidad química debemos tener en cuenta que la calidad de la roca es el resultado de la química genética original + química aportada por la diagénesis temprana + química aportada por la diagénesis tardía.

La calidad del macizo rocoso influye en la mayor o menor producción de materiales finos, en las tareas de explotación. La generación de estos materiales implica un descarte de materia prima, ya que su utilización produciría problemas de circulación de gases en el horno. A su vez es de tener en cuenta que la mayor fracturación de un macizo rocoso contribuye en la generación de canales abiertos para la circulación de aguas meteóricas con compuestos químicos solubilizados de las rocas circundantes y la inclusión de materiales terrígenos insolubles, relacionados generalmente con las cubiertas sedimentarias modernas. Por lo tanto, la calidad del macizo rocoso posee también una estrecha relación con la calidad química de la roca.

El reconocimiento de las litofacies más óptimas, así como los macizos rocosos en mejor estado de preservación deberán ser identificados en el campo, a fin de asegurar alta pureza carbonática, con mínima participación de residuos insolubles (Arroqui Langer

y Bordonaro, 1997). La identificación a priori de estos niveles, beneficiará en ahorro de tiempo, esfuerzo, y la realización de un menor número de análisis químicos y costos.

Modelo

La correlación de la información acumulada, ha permitido formalizar una guía/patrón de exploración y explotación de carbonatos de alta pureza, la que ha sido aplicada con éxito en numerosas localidades de la Precordillera. En resumen podemos decir lo siguiente:

A fin de obtener calizas de alta pureza se recomienda la explotación de los niveles calcáreos del sector medio de Formación La Silla, caracterizados por calizas de textura fina, micríticas, de color gris claro y potentes estratificaciones.

Las dolomías más ricas en Mg, se asocian a la porción basal y media de la Formación Zonda. La base de la misma se relaciona con niveles dolomíticos laminados, de texturas finas de tipo criptoalgal con cristales entre 10 y 50 μ . La porción media se caracteriza por dolomías de textura gruesa, masiva, con cristales de hasta 700 μ . Estas últimas poseen el menor contenido de residuo insoluble de la sucesión dolomítica.

Tomando como base los dos puntos anteriores, a fin de contar con una óptima materia prima, se debe seleccionar aquellos sectores en los cuales el macizo rocoso se encuentre con la menor cantidad posible de perturbaciones relacionadas a la tectónica local o regional.

Se sugiere una vez comenzadas las tareas de explotación, realizar un análisis estadístico discriminador de las litofacies, que debido a sus características texturales y estructurales, independiente de la tectónica, tienden a generar en las voladuras y proceso de molienda una mayor cantidad de finos.

Conclusiones

Las características litofaciales poseen estrecha correlación con la geoquímica. El conocimiento litofacial resulta de fundamental importancia, por lo que el modelo descrito constituye una herramienta práctica para la optimización de las tareas de exploración y explotación de carbonatos de alta calidad.

El conocimiento de la estratigrafía vinculado con la utilidad industrial, muestra que la Formación La Laja es útil para fabricar cementos y cales para construcción, la Formación Zonda, es útil para fabricar cales industriales, químicas y siderúrgicas; a su vez niveles de la misma son aptos para la fabricación de compuestos como magnesia cáustica y magnesio

metálico, en función de la alta pureza de los mismos. La Formación La Flecha es poco útil y las Formaciones La Silla y San Juan se utilizan en la industria química, siderúrgica, calera y cementera.

El buen estado de preservación del macizo rocoso reduce la generación de materiales finos en los procesos de explotación y previene la contaminación de la roca con materiales externos a través de fisuras y grietas.

Referencias

- Armella, C. 1989. *Serie de Correlación Geológica*, 5, 45- 52, Tucumán.
- Arroqui Langer, A. y Bordonaro, O. 1997. El chert en las dolomías de la Formación Zonda: Su influencia en la calidad como materia prima. *II Jornadas de Geología de Precordillera*. San Juan.
- Arroqui Langer, A. 1998. Estudio genético y del potencial de magnesio de las dolomías de la Formación Zonda, en la Sierra de Villicum, San Juan. *Tesis Doctoral. Biblioteca de la facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNSJ*. Inédito.
- Arroqui Langer, A. 1999. Exploración de calizas de alta calidad en la Provincia de San Juan para la Empresa Barrick Exploraciones Argentina S.A. *Inédito*.
- Baldis, B. y Bordonaro, O. 1981. *VIII Congreso Geológico Argentino*, 2, 385-397, San Luis.
- Bordonaro, O. 1980. El cámbrico en la Quebrada de Zonda. Provincia de San Juan. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 35 (1), 20-40.
- Bordonaro, O. 1983. El factor estratigráfico como control en la prospección de las calizas y dolomías de la Sierra Chica de Zonda, San Juan. *II Congreso Argentino de Geología Económica*, 1, 193-203. San Juan.
- Bordonaro, O. 1997. Los carbonatos cámbricos y ordovícicos de la Precordillera Argentina como rocas de aplicación industrial. *IANIGLA-CRICYT (publicación Interna)*. Mendoza.
- Bordonaro, O. y Arroqui Langer, A. 1995. Potencial de magnesio de las dolomías cámbricas de San Juan, Argentina. *V Congreso Nacional de Geología Económica*, 1, 37-42. San Juan.
- Borrello, A. V. 1963. *Fremontella inopinata* N. sp. del Cámbrico de la Argentina. *Ameghiniana*, 3 (2), 51-55. Buenos Aires.
- Keller, M., Buggisch, W. and Bercowski, F. 1989. Facies and sedimentology of Upper Cambrian shallowing-upward cycles in the La Flecha Formation (Argentine Precordillera). *Zbl. Geol. Paleont., Teil Y*, 5/6, 999-1011, Stuttgart.
- Keller, M., Cañas, O., Lehnert, O. and Vaccari, N. E. 1994. The Upper Cambrian and Lower Ordovician of the Precordillera (Western Argentina): Some stratigraphic reconsiderations. *Newsl. Stratigr.*, 31(2), 115-132. Berlin.
- Kobayashi, T. 1937. The Cambrian-Ordovician shelly faunas of south America. *Journal of Faculty of Science. University of Tokio*, 2 (5), 369-522. Tokio.

Recibido: Septiembre 2005.

Aceptado: Junio 2006.