

Las rocas carbonáticas de la Sierra de Ancasti: calidad, recursos y perspectivas en el marco de la transición energética

Vanina L.LÓPEZ¹, Miguel B. AZAREVICH¹

Abstract: *THE CARBONATE ROCKS OF THE SIERRA DE ANCASTI: QUALITY, RESOURCES AND PERSPECTIVES IN THE CONTEXT OF ENERGETIC TRANSITION.* The Sierra de Ancasti allocates carbonate rocks in the Ancasti Metamorphic Complex (Cambrian-Ordovician). They are marbles and calco-silicate rocks of the Esquiú Formation, which are interlayered with schists and gneisses of El Jumeal Formation. The carbonates are white to yellow-green, medium to coarse grained, composed of calcite, dolomite, olivine, chlorite, clinocllore, quartz and serpentine; developing garnet, epidote and diopside in the contact with acidic intrusions. The metamorphism was developed in four stages, with maximum temperatures of 670°C in the time lapse 446-498 Ma. Grades of calcium carbonate oscillate between 55-97%, classifying as dolomites to limestones some of which are of medium purity (93.5-97.0%) and high purity (97.0-98.5%). Those of better industrial quality are in Doña Amalia quarry (in production), and in Divisadero, La Esperanza - El Porvenir, with values equivalent to other carbonates, some under production, in the Jujuy and Salta provinces. The variability in thickness, interlayering with schists and gneisses, and the complex structural setting, justify to increase the knowledge in these carbonates from surface exploration and drilling, geochemical and industrial assays, to reach to resource calculation and exploitable tonnage. In the context of global technological development and of the production of resources to the renewable energies market in the regional scale, the Sierra de Ancasti carbonates constitute raw materials that, according to its industrial quality, would contribute to source, in part, markets related to infrastructure generation that accompanies the production and commercialization of lithium carbonate.

Resumen: La Sierra de Ancasti aloja rocas carbonáticas en el Complejo Metamórfico Ancasti (Cámbrico – Ordovícico). Son mármoles y rocas calcosilicáticas de la Formación Esquiú, que se encuentran intercalados con esquistos y gneises de la Formación El Jumeal. Los carbonatos son de color blanco a amarillo verdoso, de granulometría media a gruesa; compuestos por calcita, dolomita, olivino, clorita, clinocloro, cuarzo y serpentina; desarrollando granate, epidoto y diópsido en contacto con intrusiones ácidas. El metamorfismo se desarrolló en cuatro estadios, con temperaturas máximas de 670°C en el lapso temporal 446-498 Ma. Las leyes de carbonato de calcio oscilan entre 55-97%, clasificando como dolomitas hasta calizas, algunas de las cuales son de pureza media (93,5-97,0%) y alta pureza (97,0-98,5%). Las que contienen mejor calidad industrial son la cantera Doña Amalia (en producción), y los Grupos Divisadero y La Esperanza - El Porvenir, con valores equivalentes a otros carbonatos, algunos en producción, de las provincias de Jujuy y Salta. La variabilidad de espesores, intercalaciones con esquistos y gneises, y la complejidad estructural, justifican ampliar el conocimiento de estos carbonatos a partir de una exploración en superficie y perforaciones, ensayos geoquímicos e industriales, para proceder al cálculo de recursos y tonelajes explotables. En el marco de desarrollo tecnológico global, y de producción de recursos para el mercado de energías renovables a escala regional, los carbonatos de la Sierra de Ancasti constituyen materias primas que, de acuerdo con la calidad industrial, podrían contribuir al abastecimiento, en parte, de mercados relacionados a la generación de infraestructura que acompaña la producción y comercialización de carbonato de litio

¹ Universidad Nacional de Salta, Centro de Estudios Geológicos Andinos (CEGA)-INSUGEO-CONICET, Av. Bolivia 5150, Salta, Argentina.

Key words: Carbonate rocks. Metamorphic basement. Calcium carbonate resources. Industrial quality. Renewable energetic market. Sierra de Ancasti.

Palabras clave: Rocas carbonáticas. Basamento metamórfico. Recursos de carbonato de calcio. Calidad industrial. Mercado de energías renovables. Sierra de Ancasti.

Introducción

En los escenarios de la transición energética hacia la generación de energías renovables y de baja producción de carbono (como la energía nuclear), la Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency - IEA) sentó en 2021 las bases globales sobre los requerimientos de sustancias minerales ante las demandas de políticas climáticas y desarrollo sustentable (Escenario de Políticas Declaradas-STEPS y Escenario de Desarrollo Sostenible-SDS). De sus estimaciones y proyecciones hacia 2040, se vislumbra la necesidad de sustancias minerales críticas (Al, P, U, tierras raras, entre otras), estratégicas (entre ellas carbonato de Li) y de importancia económica estratégica (como Au, Cu, y rocas industriales entre las que se encuentran las calizas) (Zappettini, 2021). Las proyecciones de Argentina para el 2030, apoyando el Acuerdo de París de 2016, es cubrir un 25% de la demanda energética a partir de energías renovables no convencionales, y garantizar una emisión neta inferior a 349 Mt de dióxido de carbono equivalente (MADS, 2022). Esto implica un compromiso de inversión en obras de infraestructura para concretar la matriz energética y productiva programada.

Las “rocas carbonáticas”, entre las que se encuentran las calizas, dolomitas y mármoles, son materias primas que integran los circuitos productivos de diversas industrias, destacándose la de electrolizadores, del hierro y el acero, y de drones (Carrara *et al.*, 2021). En el contexto de energías limpias, la producción de carbonato de litio consume cal y carbonato de sodio, para los que son necesarias calizas de alta pureza (>95% CaCO₃). Además de los procesos industriales, la necesidad en infraestructura para el circuito industrial-comercial de los productos finales genera un incremento

en la demanda de compuestos que utilizan carbonatos, como el cemento.

En la Sierra de Ancasti se encuentran diversas canteras de “calizas” (mencionados también como calizas, calizas cristalinas o mármoles) de las cuales se extrajo material para producción de cal y/o cemento en diversas épocas históricas (Shcalamuk *et al.*, 1983) (Figura 1). De todas las canteras conocidas, solo una registra una producción regular actual a cargo de la empresa Loma Negra CIASA (Cantera Doña Amalia).

Esta contribución tiene como propósito realizar un compendio de las características de los recursos carbonáticos de la Sierra de Ancasti, Sierras Pampeanas Noroccidentales, y su potencial de generar productos para el mercado vinculado a la transición energética.

Contexto geológico

Las Sierras Pampeanas Noroccidentales se ubican en la región centro-norte occidental del país, abarcando las provincias de San Juan, La Rioja, Catamarca y el extremo sur de Salta. Comprende una región dominada por rocas metamórficas e intrusivas de edad Precámbrico-Paleozoico inferior, distinguiéndose una faja oriental que incluye rocas ultramáficas, y una occidental mayormente dominada por granitoides, que incluye la Sierra de Ancasti.

La columna estratigráfica de las Sierras Pampeanas Noroccidentales, en la zona de Sierra de Ancasti, comprende un basamento de edad Cambro-Ordovícico del Complejo Metamórfico Ancasti, los cuales son intruidos por pegmatitas muscovíticas, y por granitos y tonalitas de edad Ordovícico-Silúrico del Complejo Ígneo La Majada, y por granitoides de dos micas del Paleozoico superior. Estas rocas son cubiertas por sedimentitas continentales tipo red beds de

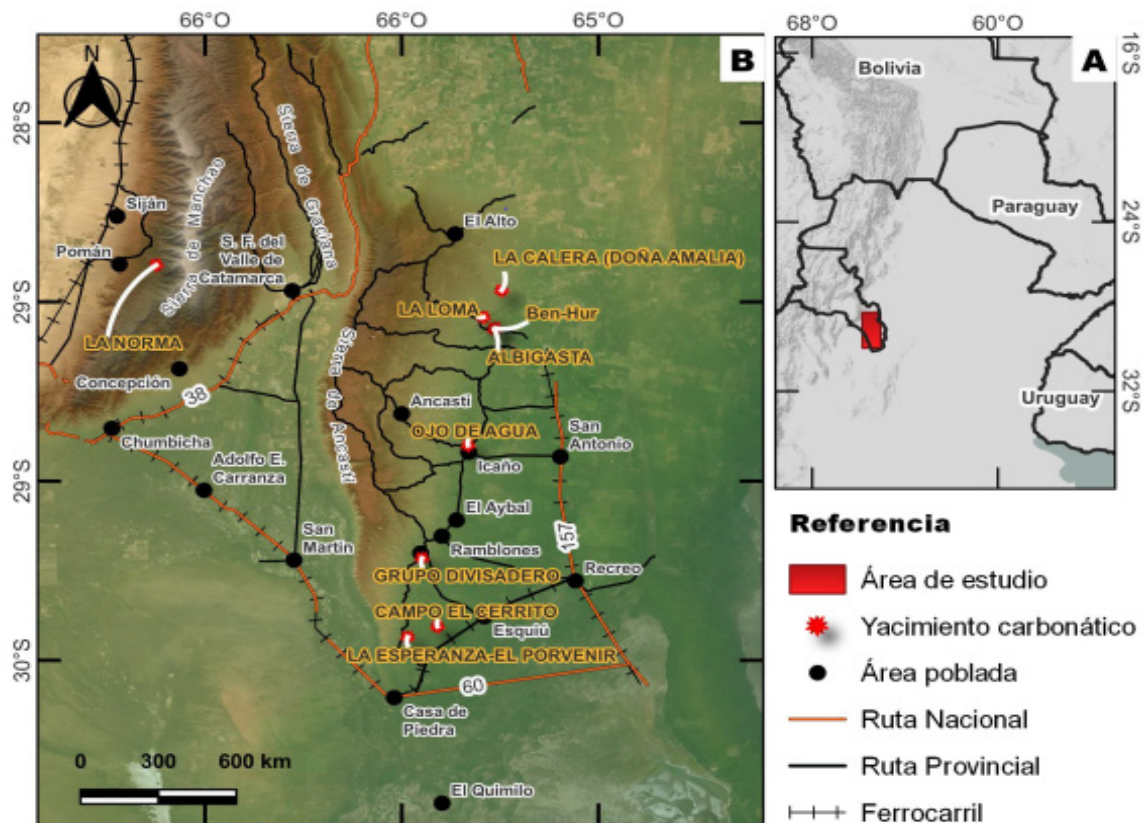


Figura 1. Localización de canteras de carbonatos en la Sierra de Ancasti. / **Figure 1.** Location of carbonate quarries in the Sierra de Ancasti.

edad Pérmico y Cretácico (Formación La Antigua e indiferenciadas respectivamente), sistemas fluvio-lacustres neógenos y pleistocenos (Formaciones Los Chivatos, Portillo, Concepción y Coneta), y finalmente por sedimentos gruesos y medios de abanicos aluviales, loésicos, de playa, dunas y salinos recientes (Miró *et al.*, 2004).

En la Sierra de Ancasti, las rocas carbonáticas de interés económico corresponden a los mármoles del basamento, que se encuentran intercalados con esquistos y gneises, del Complejo Metamórfico Ancasti (Cámbrico – Ordovícico). Los afloramientos de este complejo poseen forma elongada en sentido general NO-SE, con extensiones variables entre 3.000 y 100 m, sobre el faldeo oriental de la Sierra de Ancasti. Este complejo incluye rocas básicas y ultrabásicas; mármoles, anfibolitas y rocas calcosilicáticas (Formación Esquiú); esquistos cuarzo biotíticos bandeados; esquistos cuarzo biotíticos (Formación Ancasti) esquistos micáceos, gneises y ortogneises

tonalíticos (Formación Jumeal); y metatexitas estromatíticas.

Cuerpos básicos y ultrabásicos

Forman pequeñas intrusiones ovoidales y diques discordantes a subconcordantes con el hospedante metamórfico. Las litologías predominantes corresponden a meta-gabros y meta-hornblenditas (hasta 90% de hornblenda verde). Estas rocas presentan una foliación definida por la orientación de plagioclasa y hornblenda, cuyo rumbo es N300°/35°E. Datasiones K-Ar realizadas en el metagabro de la mina Romay, en el área de Albigasta, dieron edades dentro del rango de 500-512 Ma (Schalamuk *et al.*, 1983).

Formación Esquiú

Su composición dominante es carbonática, integrada por mármoles y rocas calcosilicáti-

COMPLEJO METAMÓRFICO SIERRA BRAVA			
	Pegmatitas de elementos raros (Mus)		
COMPLEJO METAMÓRFICO ANCASTI (CAMBRO-ORDOVÍCICO)	Metatexitas tonalíticas		estromatíticas
	Formación Jumeal	El	Esquistos y gneises micáceos
	Formación Ancasti		Esquistos biotíticos
			Esquistos cuarzo-biotíticos
	Formación Esquiú		Mármoles y anfibolitas
Metagabros y metahornblenditas			

Cuadro 1. Cuadro estratigráfico del Complejo Metamórfico Ancasti (Miró et al., 2004). / **Chart 1.** Stratigraphic chart of the Ancasti Metamorphic Complex.

cas. Fue descrito inicialmente como parte del Complejo Sierra Brava (Miembro La Calera) en la zona de Frías, donde se beneficia para la industria cementera por la empresa Loma Negra CIASA, y luego fue definido como Formación Esquiú. El Miembro La Calera constituye una sucesión de cuarcitas, mármoles en potentes lentes, dolomías y esquistos: cuarzo-micáceos, cuarzo calcáreos y anfibólicos, formados por metamorfismo regional a partir de un protolito sedimentario (Figura 2).

Los mármoles son de color blanco a amarillo verdoso, dependiendo de los accesorios presentes; de granulometría media a gruesa; clasificados como dolomías calcíticas silíceas (con calcita, dolomita, olivino, clorita, clinocloro y cuarzo) y calizas dolomíticas calcicas (con calcita, serpentina, olivino, clinocloro) (Aceñolaza *et al.*, 1983). En ocasiones, los mármoles se hallan intruidos o en contacto con rocas filonianas ácidas,

generándose entre ellos bordes de reacción con desarrollo de granate, epidoto y diópsido.

Los cuerpos de mármol aparecen en forma aislada al sur de la sierra de Ancasti, en forma de bancos o lentes de dimensiones métricas a decamétricas. Por lo general intercalan con bancos anfibólicos, gneises y esquistos cuarzo-micáceos, que forman la roca de caja. En el Morro, 10 km al oeste de Esquiú afloran 6 cuerpos de bancos de hasta 700 m de longitud de mármol verdoso acompañados por esquistos y gneises (Formación El Jumeal), con pliegues de amplitud decamétrica (Miró *et al.*, 2004).

En otras localidades muestran extensiones de < 500 m, con orientación N-S o NNO-SSE, con espesor variable del orden de 40 m. Los bancos poseen un bandeamiento fino por disposición de minerales accesorios tales como anfíboles y epidoto e intercalaciones de esquistos cuarcíticos y esquistos biotíticos moteados,

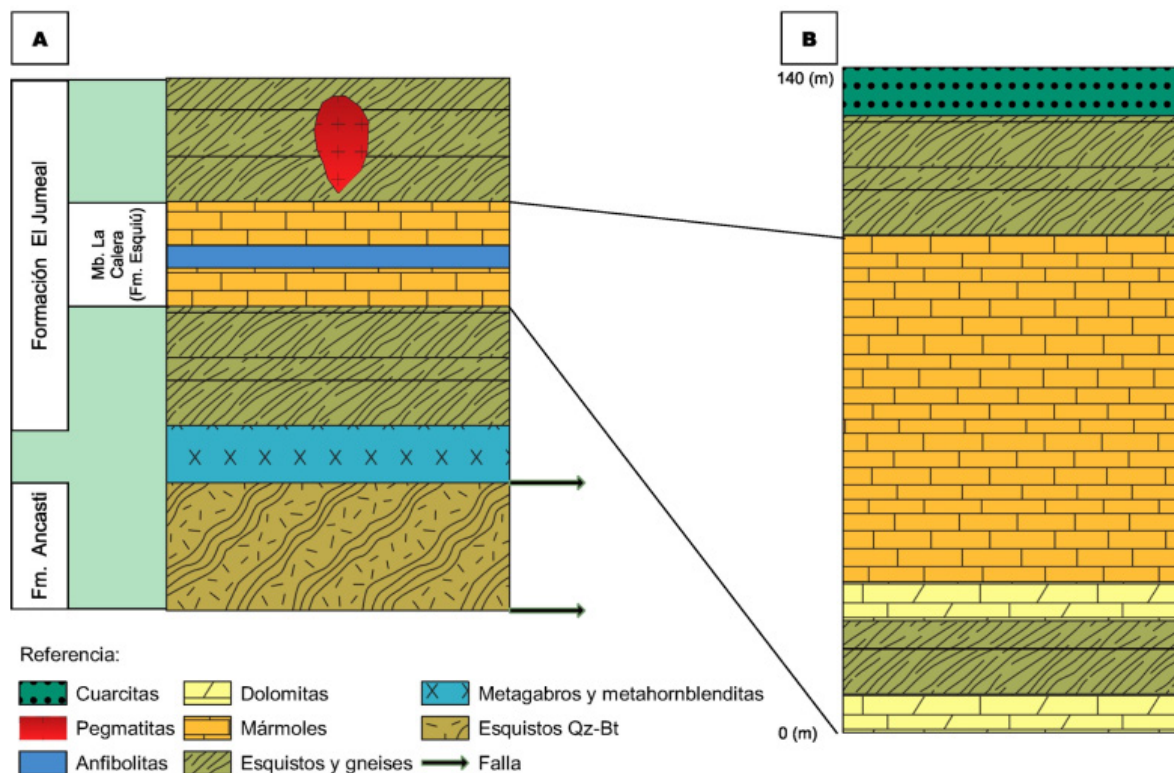


Figura 2. Estratigrafía del Complejo Metamórfico Ancasti y la Formación Esquíu en la Cantera Doña Amalia (según datos en Álvarez, 2021). / **Figure 2.** Stratigraphy of the Ancasti Metamorphic Complex and the Esquíu Formation in the Doña Amalia Quarry (according to data in Álvarez, 2021).

con foliación $N20^{\circ}/50^{\circ}O$ con una inclinación de 75° NE. Aparecen con frecuencia pegmatitas atravesando los bancos de mármol.

En la región de El Divisadero se han reconocido cinco afloramientos con cuerpos lentiformes, de 2,5 a 20 m con espesor y centenar de metros de longitud, con orientación NE-SO hasta E-O, subvertical a subhorizontal.

Formación Ancasti

La unidad está constituida fundamentalmente por esquistos cuarzo biotíticos bandeados y esquistos cuarzo biotíticos. Los primeros presentan una segunda esquistosidad producida por transposición, en ellos intercalan capas claras, de cuarzo, oligoclasa y mica, de hasta 4 cm, con capas oscuras de micas y accesorios tales como circón, apatita, turmalina y opacos, de hasta 4 mm de espesor. A veces intercalan con micacitas cuarcíferas, interpretada como resultado de la alternancia en la sedimentación primaria (pelitas, grauvacas). La esquistosidad

penetrativa S2 tiene una orientación predominantemente NNO-SSE y altos buzamientos hacia el NE y SO; ocasionalmente presentan lineaciones minerales. Muestra esquistosidad penetrativa S2, planos de foliación y lineación y lineación de crenulación.

Formación El Jumeal

Son esquistos y gneises micáceos y ortogneises tonalíticos. Los esquistos y gneises micáceos se presentan finamente bandeados (1-2 mm a 5 mm) con bandas leucocráticas y melanocráticas intercaladas que generan una estructura bandeada, con venas de segregación cuarzo feldespáticas boudinadas. Éstos intercalan con ortogneises de composición granodiorítica a tonalítica, concordantes, que acompañan a la deformación de mayor amplitud de los esquistos y gneises. El contacto entre las Formaciones El Jumeal y Esquíu (Miembro La Calera) es concordante (Willner, 1983). Esta unidad muestra una foliación S2 y crenulaciones.

Metatexitas estromatíticas tonalíticas

Afloran con aspecto bochiforme, comprenden rocas grisáceas de grano medio, con estructura predominante estromatítica que por sectores adquiere una estructura schlieren gradando a una diatexita. La estructura estromatítica desarrolla una alternancia de bandas leucocráticas (leucosomas) de espesores entre 2 mm y 10 cm, compuestas por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico; y melanocráticas (melanosomas) de espesores <0,5 cm, compuestas por biotita y sericita. Son frecuentes los planos de cizalla que concentran blastos de cuarzo con forma sigmoidal, con textura milonítica sobrepuesta a la estructura estromatítica, que en conjunto definen una fábrica S-C.

Estructura del Complejo Metamórfico Ancasti

Los pliegues intrafoliares F1 tienen buena representación en las estromatitas (Miró *et al.*, 2004). Son pliegues isoclinales de geometrías tipo U y S, de escala centimétrica a métrica, que se orientan aproximadamente paralelos a la foliación S2. El plegamiento abierto F2 es de escala métrica, afecta a la foliación S2, es vergente principalmente hacia el NO, con ejes orientados N310°/40° y N130°/45°. Los pliegues mayores F3 poseen el mismo estilo que F2, pero a escala decamétrica y hectométrica, visible a la escala de fotografía aérea, según un eje de orientación N345°/17°.

Se han reconocido fajas de cizalla locales representadas por esquistos protomiloníticos a miloníticos que definen delgadas fajas deformadas de rumbo N-S y E-O con buzamientos de alto ángulo hacia el este y norte. En la cantera Esquiú, en cercanías de Los Mogotes y en Balde de la Punta se reconocen pequeños afloramientos de esquistos cizallados. Las estructuras de cizalla más claras se aprecian en las migmatitas estromatíticas.

Metamorfismo del Complejo Metamórfico Ancasti

Esta unidad registra diversos eventos metamórficos, identificados por dataciones K/Ar (Knüver y Miller, 1982): i) Evento M1 ocurrido a los 523 ± 28 Ma, con temperaturas de $\sim 500^\circ\text{C}$; ii) Evento M2, de mayor intensidad, con temperaturas entre $500\text{-}670^\circ\text{C}$, ocurrido a los 472 ± 26 Ma; iii) Evento M3 a los $452 \pm 14,7$ Ma; Evento M4, de menor temperatura, entre los 430 - 420 Ma.

Geoquímica de los carbonatos del Proterozoico-Cámbrico de la Sierra de Ancasti

Los carbonatos de la Sierra de Ancasti incluyen calizas cristalinas y dolomitas del basamento de la Formación Esquiú (Cámbrico - Ordovícico). Los afloramientos de estas rocas se extienden en sentido general N-S por ~ 130 km sobre el faldeo oriental de la Sierra de Ancasti (Figura 1). Las calizas son de colores blanco grisáceo a rosado, amarillento y azulado, en uno o varios bancos de ~ 1 m hasta el centenar de metros de espesor, intercalados con gneises y esquistos, siendo el material de las Canteras de Grupo El Cerrito principalmente dolomítico.

Los análisis químicos disponibles indican valores promedio de 82,36% CaCO_3 , considerando las calizas y dolomías de las canteras El Porvenir, Ojo de Agua, Grupo El Divisadero, La Loma, Albigasta, Ben-Hur y Doña Amalia.

En la Tabla 1 se presenta una compilación de las características, datos geoquímicos y recursos existentes de carbonatos del Proterozoico-Cámbrico en la Sierra de Ancasti, hasta la actualidad. Los carbonatos de la Sierra de Ancasti registran valores de carbonato de calcio entre 55-97%, que clasifican como dolomitas hasta calizas, algunas de las cuales son de pureza media (93,5-97,0%) y alta pureza (97,0-98,5%). Las que contienen mejor calidad industrial son las de la cantera Doña Amalia (en producción), y los

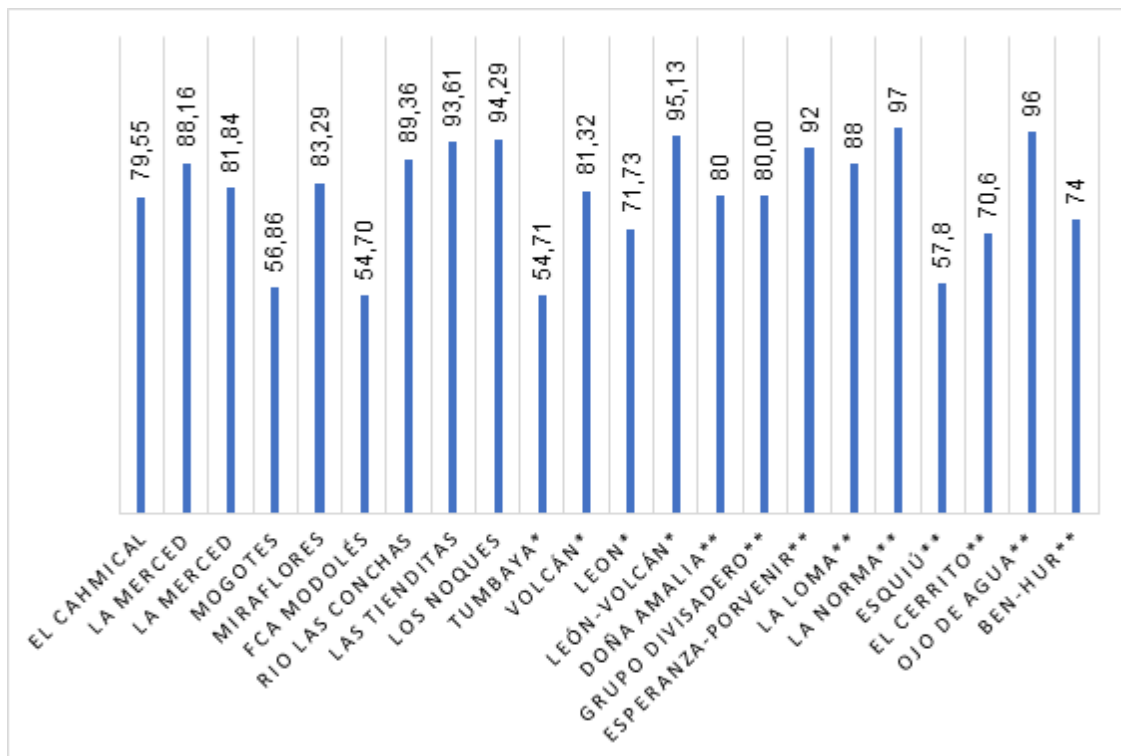


Figura 3. Contenido de carbonato de calcio de los carbonatos de Ancasti**, en comparación con otras canteras de Jujuy* y Salta. Datos en Schalamuk et al. (1983), Porto et al. (1990), Visich (1992), Herrmann (2008). / **Figure 3.** Calcium carbonate content of Ancasti** carbonates, compared to other quarries in Jujuy* and Salta. Data in Schalamuk et al. (1983), Porto et al. (1990), Visich (1992), Herrmann (2008).

Grupos Divisadero y La Esperanza - El Porvenir, con valores equivalentes a otros carbonatos, algunos en producción, de las provincias de Jujuy y Salta, y de la provincia de Catamarca en la Sierra de Manchao (Cantera La Norma) (Figura 3).

Consideraciones tecnológicas y económico-mineras

Calidad industrial y recursos

Si bien los carbonatos de la Sierra de Ancasti han sido identificados y algunos explotados desde el siglo XIX, con excepción de la Cantera Doña Amalia, los cuerpos carbonáticos no fueron explorados desde un punto de vista exhaustivo que permita realizar una evaluación más precisa en cuanto a recursos y reservas minerales. En este sentido, la variabilidad de espesores, intercalaciones con metamorfitas silíceas (esquistos y gneises), y la complejidad estruc-

tural de la unidad geológica (Complejo Metamórfico Ancasti), debieran ser explorados con detalle a partir de trabajos en superficie y perforaciones para proceder al cálculo de volúmenes y tonelajes explotables.

Con respecto a la composición mineralógica de los carbonatos de la Formación Esquiú, se registran minerales metamórficos de temperaturas medias a altas acompañando a calcita, lo cual podría generar inconvenientes para el proceso de producción de cal, siendo más favorable su aprovechamiento en la industria cementera. Es necesario analizar la mineralogía de los carbonatos y realizar ensayos industriales adecuados, que justifiquen el destino de los diferentes cuerpos a la industria pertinente.

Las leyes de CaCO_3 registradas indican mediana a alta pureza del material en algunas localidades, mientras otras contienen mezclas con material dolomítico (Mg) (Tabla 1).

En adición, las condiciones de explotación y destino de los carbonatos definirá la factibilidad de desarrollo de cada cantera en función de

Mtra.	Localidad	Dpto.	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaCO ₃ (%)	MgO (%)	Características de los carbonatos	Datos exploratorios y de producción																																																																					
1	La Calera (Doña Amalia)	El Alto	1,40	0,40	81,88	3,52	Son calizas gris oscuro a negro azulado, de textura muy fina sacaroides, dura, con notable esquistosidad y en sectores plegado. Está fracturado en varias direcciones, y puede tener venillas de cuarzo y piritita diseminada. El espesor es 100-300 m.	Perforaciones: 2.000 m hasta 1980, otras en 2014-2019-2020. Reservas probables: 100 Mt 80% CaCO ₃ Datos de producción desde 2013 hasta 2018: 8.625.249 tn métricas (SIGAM, 2022). Actual frente de explotación Oeste, nivel 550.																																																																					
2	La Calera (Doña Amalia)	El Alto	1,80	0,80	77,96	0,22			1	Albigasta	El Alto	1,40	0,40	74,93	2,42	Son calizas gris oscuro a negro azulado o rojizo, de textura muy fina sacaroides, dura, con espesor de 90-100 m. Incluye algunos silicatos como biotita, granate y epidoto. Fracturas en varias direcciones, y algunas venillas de cuarzo.	Producción: En explotación desde inicios de los 1970s hasta 1980 por Loma Negra CIASA, con ritmo de 100 t/día, para tratarse en planta de cemento localizada en Frías. El frente tenía extensión 90 m, ancho de 100 m y desnivel 20 m.	2	Albigasta	El Alto	1,40	0,30	80,81	1,54	392	Ben Hur	El Alto	0,87	0,13	77,62	0,54	Se encuentran dos cuerpos calcáreos paralelos N-S con buzamiento 25-40°O, de 50-60 m de espesor. Son de color gris oscuro a verdoso, de grano fino-medio, y puede tener venillas de cuarzo-feldespatos.	Producción: En explotación en 5 frentes hasta 1978 por Rasme Haron, con un horno continuo de dos bocas para ritmo de 8 t/día Recursos: 8.586.000 tn	398	Ben Hur	El Alto	3,94	0,31	71,76	0,72	406	Ben Hur	El Alto	0,91	0,09	76,12	0,73	5	Ben Hur	El Alto	1,50		65,14	1,76	6	Ben Hur	El Alto	1,00	0,50	79,00	0,44		Ojo de Agua	El Alto	0,10		95,92	1,30	Son calizas gris oscuro a negro azulado o rojizo, de textura muy fina sacaroides, dura. Incluye algunos silicatos como biotita, granate y epidoto. Está fracturado en varias direcciones, y puede tener venillas de cuarzo.	Explotación: desde inicios de los 1970s hasta 1980 por Loma Negra CIASA, con ritmo de 100 t/día, para tratarse en planta de cemento localizada en Frías. El frente tenía extensión 90 m, ancho de 100 m y desnivel 20 m. Recursos: 2.340.000 t.	1	Divisadero	La Paz	0,88	0,04	90,53	0,08
1	Albigasta	El Alto	1,40	0,40	74,93	2,42	Son calizas gris oscuro a negro azulado o rojizo, de textura muy fina sacaroides, dura, con espesor de 90-100 m. Incluye algunos silicatos como biotita, granate y epidoto. Fracturas en varias direcciones, y algunas venillas de cuarzo.	Producción: En explotación desde inicios de los 1970s hasta 1980 por Loma Negra CIASA, con ritmo de 100 t/día, para tratarse en planta de cemento localizada en Frías. El frente tenía extensión 90 m, ancho de 100 m y desnivel 20 m.																																																																					
2	Albigasta	El Alto	1,40	0,30	80,81	1,54			392	Ben Hur	El Alto	0,87	0,13	77,62	0,54	Se encuentran dos cuerpos calcáreos paralelos N-S con buzamiento 25-40°O, de 50-60 m de espesor. Son de color gris oscuro a verdoso, de grano fino-medio, y puede tener venillas de cuarzo-feldespatos.	Producción: En explotación en 5 frentes hasta 1978 por Rasme Haron, con un horno continuo de dos bocas para ritmo de 8 t/día Recursos: 8.586.000 tn	398	Ben Hur	El Alto	3,94	0,31	71,76	0,72	406	Ben Hur	El Alto	0,91	0,09	76,12	0,73			5	Ben Hur	El Alto	1,50		65,14	1,76	6	Ben Hur	El Alto	1,00	0,50	79,00	0,44		Ojo de Agua	El Alto	0,10		95,92	1,30	Son calizas gris oscuro a negro azulado o rojizo, de textura muy fina sacaroides, dura. Incluye algunos silicatos como biotita, granate y epidoto. Está fracturado en varias direcciones, y puede tener venillas de cuarzo.	Explotación: desde inicios de los 1970s hasta 1980 por Loma Negra CIASA, con ritmo de 100 t/día, para tratarse en planta de cemento localizada en Frías. El frente tenía extensión 90 m, ancho de 100 m y desnivel 20 m. Recursos: 2.340.000 t.	1	Divisadero	La Paz	0,88	0,04	90,53	0,08	Son cuerpos tabulares o lensoides, intercalados con esquistos y en ocasión anfíbolitas. Se orientan en general N30° a N330°, y su buzamiento oscila	Reservas: 1.760.000 t, explotable. 806.000 t recuperable Recursos totales: Incluye los sectores El Zanjón (238.950 t), Pozo de Piedra (8.512 t), La Montosa (77.247												
392	Ben Hur	El Alto	0,87	0,13	77,62	0,54	Se encuentran dos cuerpos calcáreos paralelos N-S con buzamiento 25-40°O, de 50-60 m de espesor. Son de color gris oscuro a verdoso, de grano fino-medio, y puede tener venillas de cuarzo-feldespatos.	Producción: En explotación en 5 frentes hasta 1978 por Rasme Haron, con un horno continuo de dos bocas para ritmo de 8 t/día Recursos: 8.586.000 tn																																																																					
398	Ben Hur	El Alto	3,94	0,31	71,76	0,72																																																																							
406	Ben Hur	El Alto	0,91	0,09	76,12	0,73																																																																							
5	Ben Hur	El Alto	1,50		65,14	1,76																																																																							
6	Ben Hur	El Alto	1,00	0,50	79,00	0,44																																																																							
	Ojo de Agua	El Alto	0,10		95,92	1,30			Son calizas gris oscuro a negro azulado o rojizo, de textura muy fina sacaroides, dura. Incluye algunos silicatos como biotita, granate y epidoto. Está fracturado en varias direcciones, y puede tener venillas de cuarzo.	Explotación: desde inicios de los 1970s hasta 1980 por Loma Negra CIASA, con ritmo de 100 t/día, para tratarse en planta de cemento localizada en Frías. El frente tenía extensión 90 m, ancho de 100 m y desnivel 20 m. Recursos: 2.340.000 t.																																																																			
1	Divisadero	La Paz	0,88	0,04	90,53	0,08	Son cuerpos tabulares o lensoides, intercalados con esquistos y en ocasión anfíbolitas. Se orientan en general N30° a N330°, y su buzamiento oscila	Reservas: 1.760.000 t, explotable. 806.000 t recuperable Recursos totales: Incluye los sectores El Zanjón (238.950 t), Pozo de Piedra (8.512 t), La Montosa (77.247																																																																					

4	Divisadero	La Paz	0,18	0,08	66,60	12,37		
5	Divisadero	La Paz	0,40	0,15	91,47	2,39		
6	Divisadero	La Paz	0,62	0,14	73,19	5,80		
M11	La Esperanza-El Porvenir	La Paz	1,00	0,30	89,71	1,54	Los cuerpos de caliza son tabulares o lenticulares, con bancos de 1 m de potencia, se encuentran intercalados en rocas metamórficas o con tabiques ígneos. Los espesores y buzamiento variables, se orientan en general N-S, y su buzamiento oscila entre 70-75° al E u O. Afloran en corridas de hasta 300 m de longitud, ancho de 25-60 m, y desniveles en frentes de 10-20 m de alto.	Las reservas se calcularon a partir de 6 cuerpos de calizas. Reservas probables: 2.617.704 t; explotables: 1.832.391 t. Explotación: La producción antes de 1980 era de 1.000 t/día, para 1980 de 300 t/día, que era consumida por Loma Negra CIASA para producción de cal (capacidad de planta de 1.250 t/mes con 5 hornos).
M12	La Esperanza-El Porvenir	La Paz	0,90	0,60	91,49	2,64		
M288	La Esperanza-El Porvenir	La Paz	0,51	0,31	96,01	1,10		
M296	La Esperanza-El Porvenir	La Paz	0,48	0,08	86,78	0,96		
M332	La Esperanza-El Porvenir	La Paz	0,20	0,05	92,14	0,22		
M13	Esquiú	La Paz	1,10		55,71	18,86	Los cuerpos son tabulares o lenticulares, con bancos de hasta 1 m de potencia, distribuidos en corridas de 320 m y anchos de hasta 60 m. Los espesores y buzamiento variables, se orientan en general N-S, y su buzamiento oscila entre 45-90° al E u O. Por sectores muy fracturados.	Las propiedades se encuentran separadas 400 m. Reservas explotables: 1.300.000 t (El Esquiú) + 3.120.000 t (El Cerrito). La producción se trasladaba a Alta Gracia para producción de cal en el lugar. En El Cerrito la explotación data del siglo XIX. Ritmo de producción 2.500 t/mes, para producción de cal en el lugar (4 hornos).
M14	Esquiú	La Paz	1,20		56,96	18,58		
M346	Esquiú	La Paz	0,21	0,09	60,60	9,89		
M352	Esquiú	La Paz	0,37	0,08	57,04	15,39		
M356	Esquiú	La Paz	0,34	0,11	59,06	14,02		
M9	El Cerrito	La Paz	0,60		62,30	17,06		
M10	El Cerrito	La Paz	1,00		64,41	16,04		
M2	El Cerrito	La Paz	1,18	1,18	94,28	2,13		
M6	El Cerrito	La Paz	0,39	0,39	67,85	15,00		
M12	El Cerrito	La Paz	0,49	0,49	65,16	16,56		
1	La Loma	El Alto			66,78	0,84	Es un solo cuerpo de rumbo N85°O y buzamiento 60-65°N, de 270 m de longitud, ancho ~50 m, y desniveles en frentes de 20 m. Son grisáceas oscura a verdosa, de grano fino a mediano, fractura concoide y estructura esquistosa.	Reservas probables: 333.639 t; reservas explotables: 130.000 t.

2	La Loma	El Alto			72,76	0,93		
3	La Loma	El Alto			81,23	0,85		
4	La Loma	El Alto			79,99	1,15		
CC	La Norma	Pomán			96,92	0,07	Son calizas claras y celeste-verdosas, de textura granoblástica o bandeada, con granate, wollastonita, diópsido, epidoto. Son cuerpos tabulares o lenticulares, 2 cuerpos principales de hasta 80 m de longitud, ancho de 5-15 m.	Para 1980 contaba con 4 hornos para producción de cal con capacidad de 22 t/día. No se dispone de datos de reservas

Tabla 1. Datos geoquímicos y mineros de los carbonatos de la Sierra de Ancasti. Fuente: Ludueña *et al.* (1979), Schalamuk *et al.* (1983), Álvarez (2021) / **Table 1.** Geochemical and mining data of the carbonates of the Sierra de Ancasti. Source: Ludueña *et al.* (1979), Schalamuk *et al.* (1983), Álvarez (2021)

los costos de explotación y fletes. En función del objetivo de la compañía operante en cuanto al producto destinado a la comercialización (carbonatos, cal y/o cemento), diversos costos y oportunidades comerciales podrían ser ensayadas.

Calidad industrial y recursos

A nivel mundial, el principal productor de cal es China, mientras que en Sudamérica la producción está liderada por Brasil (~60%) (Figura 4).

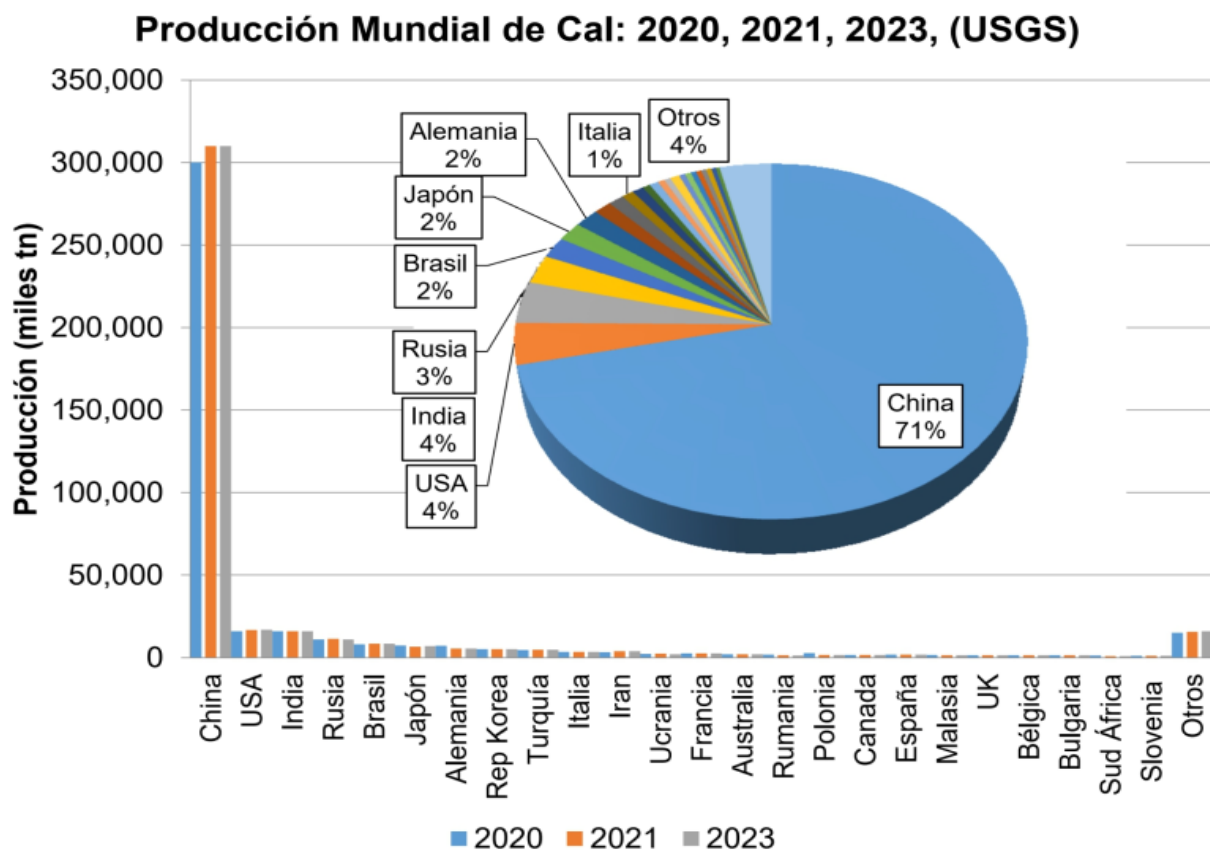


Figura 4. Producción mundial para los últimos 3 años, y producción porcentual global para 2022 (USGS, 2021, 2023). / **Figure 4.** World production for the last 3 years, and global percentage production for 2022 (USGS, 2021, 2023).

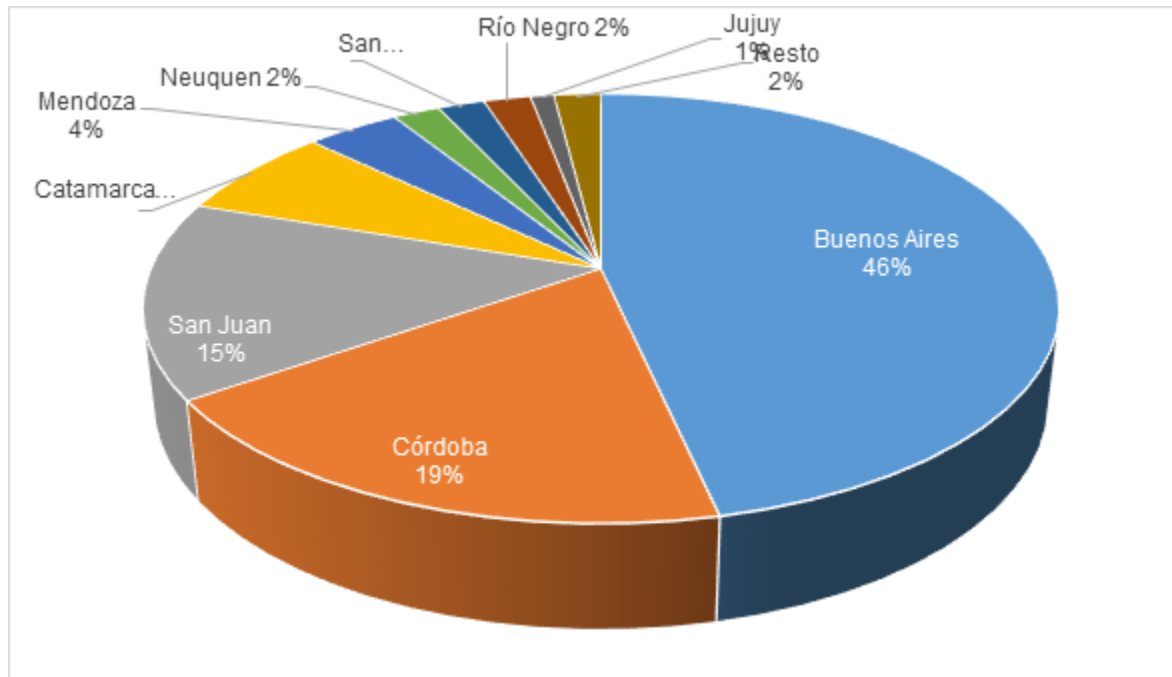


Figura 5. Producción porcentual de caliza por provincia. Fuente MINEM (2018). / **Figure 5.** Percentage production of limestone by province. Source MINEM (2018).

ra 4). La Argentina importa cal principalmente desde Brasil (~70%), mientras que exporta cal en su mayoría a Chile (~96%) (MINEM, 2018). Con respecto a las calizas, la producción argentina muestra dominio de las provincias de Buenos Aires, Córdoba y San Juan en el mercado interno (Figura 5). Con respecto a las necesidad planteada por la industria minera, la provincia de San Juan presentó proyecciones en Expomin

2022 (Chile) donde calcula un aumento del 38% para el 2032 en la demanda de cal, considerando los proyectos de litio y de cobre.

Durante 2022, el mercado de cal viva sumó ~25 Mt, mientras que las exportaciones de cal disminuyeron un 64%, y las exportaciones de calizas y dolomitas aumentó un 17% (Secretaría de Minería, 2022, Figura 6)

En el marco de desarrollo tecnológico



Figura 6. A. Datos de exportaciones de rocas y minerales industriales (entre ellos caliza-dolomita-creta y cal) para el lapso 2021-2022, expresados en mil U\$S FOB. **B.** Variación porcentual interanual de extracción de caliza y yeso. Fuente: Secretaría de Minería –Argentina (2022, 2023). / **Figure 6. A.** Data on exports of industrial rocks and minerals (including limestone-dolomite-chalk and lime) for the period 2021-2022, expressed in one thousand US\$ FOB. **B.** Interannual percentage variation in limestone and gypsum extraction. Source: Ministry of Mining – Argentina (2022, 2023).

global, y de producción de recursos para el mercado de energías renovables a escala regional, los carbonatos de la Sierra de Ancasti revisten interés en cuanto a prospección y exploración de materias primas para contribuir al abastecimiento, en parte, al proceso de transición energética. Considerando que su calidad técnica en la actualidad no garantiza su aptitud para la industria de producción de carbonato de litio, la exploración moderna de estos yacimientos podría introducir estos carbonatos en el mercado del litio y otros relacionados con la minería de metálicos.

Bibliografía

- Aceñolaza, F. G., Miller, H. y Toselli, A. J., 1983. Geología de la Sierra de Ancasti. *Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie*, 59: 1-372.
- Álvarez, R. 2021. Estimación de la calidad de caliza en el frente de explotación oeste del nivel 550 de la Cantera Doña Amalia, El Alto, Catamarca. Trabajo final de licenciatura, UNCA. 63 pp. Inédito.
- Carrara, S., Bobba, S., Blagoeva, D., Alves Dias, P., Cavalli, A., Georgitzikis, K., Grohol, M., Itul, A., Kuzov, T., Latunussa, C., Lyons, L., Malano, G., Maury, T., Prior Arce, Á., Somers, J., Telsnig, T., Veeh, C., Wittmer, D., Black, C., Pennington y D., Christou, M. 2021. Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU –A foresight study. European Commission, 268 pp.
- Herrmann, C. 2008. Minerales y rocas industriales de la provincia de Jujuy. Coria, B. y Zappettini, E., 2008 (eds.): Geología y Recursos Minerales de la provincia de Jujuy. Capítulo VIa: 519-534.
- Knüver, M. y Miller, H. 1982. Rb-Sr. Geochronology of the Sierra de Ancasti (Pampean Ranges, NW Argentina). *5° Cong. Latin. Geol.*, III: 457-471, Buenos Aires.
- Ludueña, P., Scuhlthess, y Asociados Consultora. 1979. Investigación integral de calizas cristalinas y mármoles. Catamarca. Consejo Federal de Inversiones, Informe Inédito.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina - MADS. 2022. Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático. 1285 pp.
- Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina – MINEM. 2018. Panorama de mercado de rocas y minerales industriales. 55 pp.
- Miró, R.C.; Gaido, M.F.; Candiani, J.C. y Aimar, C., 2004. Hoja Geológica 2966-IV, Recreo, Provincias de Catamarca, Santiago del Estero La Rioja y Córdoba. *SEGEMAR*. 85 pp.
- Porto, J., Fernández, R. y Carrión, M. 1990. Calizas y dolomías de la Formación Puncoviscana S.L. En: Aceñolaza, F., Miller, H. y Toselli, A. (Eds.): El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino. Serie de Correlación Geológica N° 4: 37-52.
- Schalamuk, I., Fernández, R. y Etcheverry, R. 1983. Los yacimientos de minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la región NOA. Ministerio de Economía, Subsecretaría de Minería. *Anales XX*. 196 pp.
- Secretaría de Minería – Argentina. 2022. Informe Mensual Coyuntura Minera – Enero 2022. 5 pp.
- Secretaría de Minería – Argentina. 2023. Índice de producción industrial minero. Informes técnicos / Vol. 7, n° 13, 17 pp.
- USGS, 2021. Mineral Commodity Summaries 2021. 204 pp.
- USGS, 2023. Mineral Commodity Summaries 2023. Lime. 2 pp.
- Visich, M. 1992. Tipificación de las principales rocas de aplicación de la provincia de Salta. Universidad Nacional de Salta, tesis profesional, inédita. 82 pp.
- Willner, A. 1983. Evolución metamórfica. Geología de la Sierra de Ancasti. *Münster. Forb. Geol. Paläont.*, 59: 189-200.
- Zappettini, E. 2021. Minerales y metales críticos y estratégicos. Análisis de situación y metodología de clasificación para la República Argentina. Serie de Contribuciones Técnicas, Recursos Minerales N°45, *SEGEMAR*, 19 pp.

Recibido : 14 de Agosto del 2024

Aceptado : 10 de Setiembre del 2024