

Caracterización geoquímica y tecnológica de un depósito de cuarzo de alta pureza, localizado en cercanías de la estación Pablo Acosta, Partido de Azul, Provincia de Buenos Aires (Argentina)

Mojica, Marcia; Lajoinie, María F.; Benítez, Manuela E.; Coriale, Nelson; Salvioli, Melisa A.; Curci, Marcela; Lanfranchini, Mabel E.

Caracterización geoquímica y tecnológica de un depósito de cuarzo de alta pureza, localizado en cercanías de la estación Pablo Acosta, Partido de Azul, Provincia de Buenos Aires (Argentina)

Ingenio Tecnológico, vol. 2, 2020

Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

Caracterización geoquímica y tecnológica de un depósito de cuarzo de alta pureza, localizado en cercanías de la estación Pablo Acosta, Partido de Azul, Provincia de Buenos Aires (Argentina)

Marcia Mojica

Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata-Facultad de Ciencias Naturales y Museo-Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina

María F. Lajoine

Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata-Facultad de Ciencias Naturales y Museo-Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires / LEMaC. Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional La Plata-Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

Manuela E. Benítez

Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata-Facultad de Ciencias Naturales y Museo-Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina

Nelson Coriale

Subsecretaría de Minería, Argentina

Melisa A. Salvioli

Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata-Facultad de Ciencias Naturales y Museo-Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

Marcela Curci

Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata-Facultad de Ciencias Naturales y Museo-Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina

Mabel E. Lanfranchini

Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata-Facultad de Ciencias Naturales y Museo - Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina

mlanfranchini@inremi.unlp.edu.ar

RESUMEN:

El cuarzo (SiO_2) es un mineral ampliamente utilizado en varias industrias. Sus aplicaciones dependen de sus propiedades físicas y químicas y del contenido de impurezas que poseen los cristales. El cuarzo más requerido es aquel de alta pureza (CAP), sin embargo, los yacimientos de este tipo son mundialmente escasos. En el partido de Azul, se determinó la presencia de un cuerpo rocoso de dimensiones considerables compuesto casi totalmente por cuarzo. El estudio petrográfico permitió determinar cristales de cuarzo de variable dimensión (70-600 μm) y de filosilicatos (escasos). Además, se reconocieron microestructuras de deformación dúctil y frágil. Los análisis geoquímicos realizados en dos muestras, sin y con preselección manual, indicaron contenidos de SiO_2 de 95 y 97 % respectivamente, y contenidos menores de Al_2O_3 (< 1,50 %), Fe_2O_3 (< 0,55 %) y K_2O (< 0,50 %). Por otro lado, se observaron escasas inclusiones fluidas. De acuerdo con los resultados obtenidos el cuerpo cuarzoso estudiado cumple con las condiciones establecidas para ser clasificado como CAP. Considerando los requerimientos de las distintas industrias, este mineral podría ser utilizado, sin ningún tipo de tratamiento, en la industria de las ferroaleaciones, y en el caso de aplicar algún método de purificación, en la industria del vidrio.

PALABRAS CLAVE: Cuarzo de alta pureza, Sílice, Mineral industrial, Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires.

ABSTRACT:

Quartz (SiO_2) is a known mineral that has important applications in various industries. These applications mainly depend on its physical and chemical properties and on the impurity contents it contains. High-purity quartz (HPQ) is the most required but this deposit type is globally scarce. The presence of a rock body with considerable dimension and almost entirely composed of quartz was determined in the city of Azul. Petrographic studies revealed quartz crystals (70-600 μm) and a few phyllosilicate crystals. In addition, ductile and fragile deformation microstructures were recognized. Geochemical analyzes carried out on two samples, without and with manual preselection, indicated SiO_2 contents of 95-97 wt. %, and low contents of Al_2O_3 (<1.50 wt.%), Fe_2O_3 (<0.55 wt.%) and K_2O (<0.50 wt.%). On the other hand, a few fluid inclusions were observed. According to the obtained results, the studied quartz body reaches out to the conditions established to be classified as HPQ. Considering industry requirements, this mineral could be used in the ferroalloy industry, without treatments, and in the glass industry for color less packaging or insulation fiber-manufacturing if some purification methods are applied.

KEYWORDS: High-purity quartz, Silica, Industrial mineral, Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires.

INTRODUCCIÓN

El cuarzo es uno de los minerales más abundantes de la corteza terrestre conformando alrededor del 60 % de la misma (Fernández Navarro, 2003). Este mineral, presenta una composición química definida por SiO_2 (sílice), con contenidos menores de otros elementos, considerados como impurezas. Teniendo en cuenta su gran abundancia, es posible encontrarlo en todos los ambientes geológicos: como cristales, formando parte esencial de las rocas ígneas ácidas; como clastos, en rocas sedimentarias (arenas silíceas); o de forma recristalizada en rocas metamórficas (metacuarcitas principalmente). Los cristales de cuarzo comúnmente presentan una morfología prismática, con las caras del prisma horizontalmente estriadas y terminadas en una combinación de romboedros que producen un efecto de bipirámide hexagonal (Cornelis *et al.*, 2011).

El cuarzo debe su importancia a las numerosas aplicaciones que le otorgan sus propiedades físicas y químicas: dureza 7 en la escala de Mohs, densidad 2,65 g/cm^3 , punto de fusión 1.713 °C, fuertes propiedades piezoeléctricas y piroeléctricas, brillo vítreo, elevada transparencia y coloración variable (Cornelis *et al.*, 2011). En este sentido, las mencionadas características hacen que el cuarzo sea un mineral muy importante para una amplia variedad de industrias como la del vidrio y cristalería, metalúrgica, petrolera, de la construcción, farmacéutica, electrónica y óptica, entre otras. El uso y calidad del cuarzo se mide sobre la base del contenido de impurezas presentes. Por lo general, el cuarzo más demandado para estas industrias corresponde al de alta pureza (CAP), es decir, con un bajo contenido de impurezas (Müller *et al.*, 2012).

El avance de la tecnología ha incrementado la explotación de este tipo de cuarzo lo cual ha contribuido a la búsqueda de este recurso.

Los principales yacimientos de cuarzo se asocian a pegmatitas, vetas hidrotermales o a rocas sedimentarias. El 95 % de las reservas mundiales de cuarzo de alta pureza se encuentran en Brasil: 64 % en el estado de Pará, 17 % en Minas Gerais, 15 % en Santa Catarina y un 2 % en Bahía (Guzzo, 2008). En Argentina, estos tipos de yacimientos son escasos y en su mayoría de baja pureza.



FIGURA 1
Afloramiento del cuerpo rocoso

En las fotografías se pueden apreciar las dimensiones del cuerpo. (A) Altura y (B) espesor aflorante.

En cercanías de la Estación Pablo Acosta, partido de Azul (Provincia de Buenos Aires), se identificó un cuerpo rocoso compuesto casi totalmente por cuarzo (Fig. 1), con rumbo NE-SO y una superficie y altura aflorantes de 15.315,24 m² y 2,50 m, respectivamente. Se habría formado a partir de fluidos silíceos generados por diferenciación metamórfica ocurrida durante la orogenia Transamazoniana (Benítez *et al.*, 2017; Lanfranchini *et al.*, 2019). Este cuerpo se halla emplazado en el basamento ígneo-metamórfico de las Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires o Sistema de Tandilia, conformado por rocas de edad paleoproterozoica (~2.000 Ma). Estas últimas se encuentran cubiertas parcialmente por sedimentitas silicoclásticas y carbonáticas de edad neoproterozoica a paleozoica inferior (Dalla Salda *et al.*, 2005). Cabe destacar que tanto las rocas basamentales como las correspondientes a la cubierta sedimentaria, son de gran importancia económica debido a que son extraídas para su uso como rocas de aplicación (Angelelli, 1973; Caballé y Coriale, 2003). En este sentido, el Sistema de Tandilia constituye uno de los principales centros mineros de la República Argentina.

En la presente contribución se analizan los estudios petrográficos y químicos del cuarzo correspondiente al mencionado cuerpo rocoso. El principal objetivo de este estudio es realizar una clasificación geoquímica y tecnológica de este mineral y determinar si el depósito de cuarzo cumple con las exigencias establecidas para ser considerado como un depósito de CAP. La posible existencia de un yacimiento de estas características (CAP), en la Provincia de Buenos Aires, tiene implicancias significativas para el desarrollo minero local, teniendo en cuenta la importancia de este recurso.

APLICACIONES Y USOS DEL CUARZO

El CAP es altamente requerido para la mayoría de las industrias. De acuerdo con la definición comercial de Harben (2002), el CAP debe contener menos de 50 mg/g de elementos trazas, así como bajos contenidos de elementos mayoritarios como los que se indican en la Figura 2, además de una baja proporción de inclusiones fluidas e inclusiones sólidas. Es importante destacar que gran cantidad de las impurezas, sobre todo aquellas intercrystalinas, pueden ser extraídas de forma manual al triturar la materia prima hasta el tamaño promedio del cristal. Asimismo, las inclusiones fluidas junto con sus componentes disueltos pueden ser removidas

mediante tratamientos térmicos y calcinación y así, lograr una mayor pureza (Müller *et al.*, 2012). Sin embargo, algunos métodos son costosos y elevan el valor de la materia prima (Santos *et al.*, 2014).

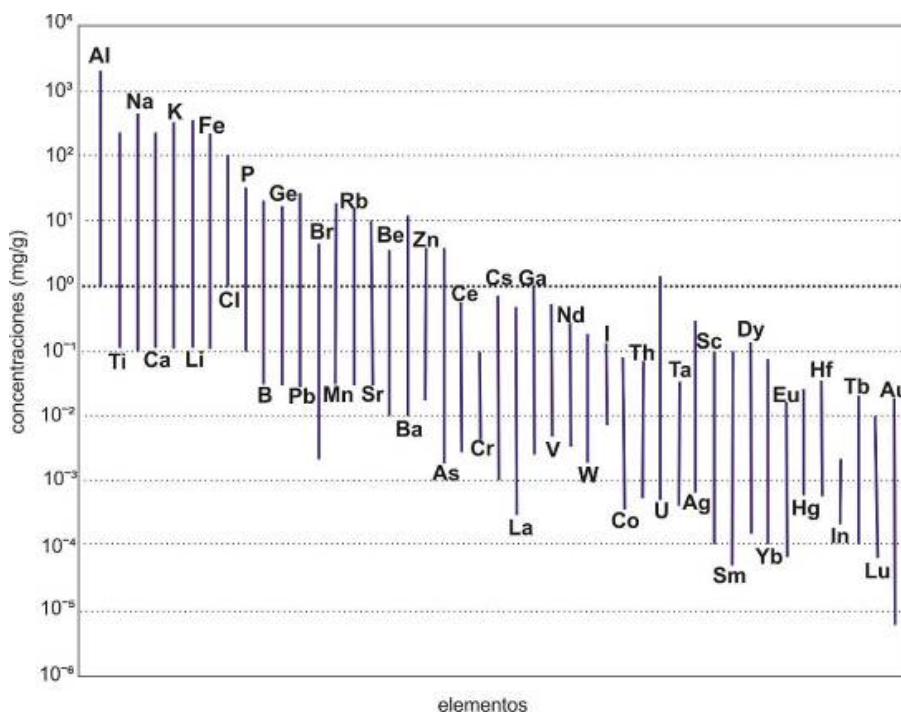


FIGURA 2

Variación de los contenidos de elementos trazas y mayoritarios en cristales de cuarzo de alta pureza.

Extraído de Müller *et al.*, (2012).

Los límites en las concentraciones de impurezas dependerán de las normas que consideren las diferentes industrias. La mayoría de los productos, confeccionados con CAP, se utilizan en aplicaciones donde la temperatura alcanza los 1.400 °C. A esta temperatura, ciertos elementos presentes como impureza se funden y producen efectos negativos en las propiedades del cristal de cuarzo (Müller *et al.*, 2012). Sin embargo, los fragmentos de este cuarzo defectuoso no son descartados ya que pueden ser reutilizados para la generación de cuarzo cultivado o sintético (Fernandez *et al.*, 2017).

Por otro lado, el cuarzo tiene una fuerte demanda en la industria de componentes eléctricos, ópticos, informáticos y en aparatos de metrología. Es usado por sus propiedades piezoeléctricas, piroeléctricas y la cualidad de generar luz monocromática. En este último caso, los cristales deben ser los de mayor pureza y tener un pesaje de 50 a 100 g. Aquellos cristales utilizados por su propiedad piezoeléctrica deben contener al menos 16,4 cm³ de material perfecto. También, piezas de grado no piezoeléctrico de cuarzo con bajos contenidos de fósforo y boro (menor a 2 ppm), con un peso entre 10 y 30 g, pueden ser fundidas y utilizadas en la fabricación de: preformas de fibra óptica y electro-óptica, piezas de precisión óptica, tubos de lámparas especiales, productos fotovoltaicos y artículos de vidrio para laboratorios (Fernández *et al.*, 2017; Müller *et al.*, 2012).

En la industria de la metalurgia y de la fundición, la sílice es utilizada en la fabricación de silicio metálico, aleaciones silícicas y como fundente de fósforo, hierro, níquel, zinc, cobre y plomo (Fernandez *et al.*, 2017). Por ejemplo, el cuarzo empleado en la fabricación de ferrosilicio (FeSi) debe contener al menos 95 % de SiO₂, un máximo de 0,02 % de P₂O₅ y la menor cantidad posible de impurezas escoriaficientes de Al₂O₃ %; debiendo cumplir, además, con especificaciones en el tamaño de las partículas de cuarzo (entre 1/2” y 2”; DGDM, 2016).

La sílice también es utilizada para fabricar moldes de fundición, cuya principal ventaja es la resistencia de la arena de cuarzo aglutinado a la presión metalostática que ejerce el metal colocado en el molde, junto con la permeabilidad necesaria para permitir el escape de gases y vapores (DGDM, 2016).

En la industria del vidrio, el cuarzo se utiliza en forma de arena con características físicas y químicas uniformes ya que la composición química del vidrio tiene que ser constante para evitar defectos. Las arenas deben poseer un 99 % o más de sílice y la menor cantidad posible de impurezas de óxidos de hierro, manganeso, cromo, cobalto, cobre y níquel, que producen la coloración de los vidrios y dificultan la obtención de una buena transparencia. Además, la presencia de titanio reduce la transmisión de luz ultravioleta (UV). Durante la etapa de fundición, el aluminio puede provocar cambios en la viscosidad del vidrio y la presencia de calcio genera la nucleación de cristales no deseados en el vidrio (Müller et al., 2012). Los porcentajes aceptados mundialmente para la fabricación de vidrio, según la norma ATBIAV (Brasil) y la Norma Británica BS2975, se presentan en las Tablas 1 y 2, respectivamente (Leyva Mormul et al., 2010).

Además, de todas las industrias mencionadas anteriormente, el CAP en forma de arena puede ser utilizado para la explotación de hidrocarburos, fabricación de cerámicas y en las industrias de la química y de la construcción (Leyva Mormul et al., 2010).

TABLA 1
Norma ATBIAV

Óxido	Tipo A (en %)	Tipo B (en %)	Tipo C (en %)	Tipo D (en %)
SiO ₂ (min.)	99,5000	99,5000	99,4000	99,0000
Al ₂ O ₃ (min.)	0,2000	0,2000	0,3000	0,5000
Fe ₂ O ₃ (máx.)	0,0020	0,0150	0,0300	0,1500
TiO ₂ (máx.)	0,0200	0,0200	0,0300	0,0500
Cr ₂ O ₃ (máx.)	0,0002	0,0003	0,0005	0,0005
PPC (máx.)	0,1000	0,2000	0,2000	0,3000

Tipo A: Vidrios especiales (ópticos, oftálmicos, etc.). Tipo B: vidrios incoloros de alta calidad (cristales, frascos, entre otros). Tipo C: vidrios incoloros comunes (vidrio plano). Tipo D: vidrios de color (frascos, envases en general, vidrio plano). PPC: Pérdida por calcinación a 1.000 °C.

TABLA 2
Norma Británica BS2975

Producto	SiO ₂ (min. en %)	Fe ₂ O ₃ (máx. en %)
Envases incoloros	99,8	0,030
Envases Coloreados	97,0	0,250
Vajilla de mesa	99,6	0,010
Boro-silicato	99,6	0,010
Cristal de plomo	99,6	0,010
Vidrio plano incoloro	99,0	0,100
Óptico y Oftálmico	99,7	0,013
Fibra para aislamiento	94,5	0,300

YACIMIENTOS MÁS DESTACADOS

Las mayores reservas mundiales de CAP se encuentran en Brasil y, en menor medida en Estados Unidos, Namibia, Angola, Sudáfrica, Ucrania y Venezuela. Algunas ocurrencias también fueron reportadas en la Cadena de los Alpes, en Suiza y Francia (Santos *et al.*, 2014; Cornelis *et al.*, 2011).

Los depósitos de Brasil son de tipo hidrotermal, pegmatoideo, magmático, eluvial y aluvial (Cassedanne, 1971). Los estados que presentan las mayores concentraciones, según el Anuario Mineral Brasileiro (DNPM, 2001), son Minas Gerais (Formación Serra de Santa Helena; Santos *et al.*, 2014) y en el Estado de Pará (Serra do Espinhaço Meridional; Chaves, 2007).

En Argentina, los depósitos de cristal de cuarzo se encuentran mayormente en las provincias de Córdoba (Bonalmi *et al.*, 2004), San Juan y Santiago del Estero. Son de tipo pegmatoideo y poseen una pureza media a alta, siendo más abundantes los de menor pureza. Los principales destinos de la producción nacional son la industria electrónica, la óptica y la metalúrgica. La producción en la Provincia de Neuquén es de pureza inferior y se utiliza en la elaboración de cemento. Si bien en la Provincia de Buenos Aires, hasta el momento, no se han identificado yacimientos de cristales de cuarzo, se extrae gran cantidad de cuarcitas de los partidos de Balcarce, General Pueyrredón (Sistema de Tandilia) y en el partido de Saavedra (Sistema Ventania). Las mismas están constituidas por 97-99 % de granos subredondeados, subangulosos y angulosos de cuarzo, unidos por un cemento silíceo, junto con pequeñas proporciones de turmalina y muscovita. Las cuarcitas son utilizadas como áridos para la construcción, como polvos abrasivos y en revestimientos, entre otros (Angelelli, 1973).

DESARROLLO Y MÉTODOS

Se obtuvieron siete muestras representativas del cuerpo cuarzoso, las cuales fueron utilizadas para realizar estudios petrográficos, geoquímicos y análisis de inclusiones fluidas (IF).

Los estudios iniciales consistieron en una descripción detallada de las muestras de mano a escala mesoscópica, haciendo hincapié en la mineralogía y estructuras presentes. Luego, se seleccionaron muestras para la confección de láminas delgadas o cortes que permitieran un análisis petrográfico detallado. Dichas láminas poseen un espesor de 30 μm y se realizaron en el laboratorio de cortes del INREMI (UNLP-FCNyM-CIC). En esta etapa se realizó una descripción, bajo un microscopio petrocalcográfico marca Olympus modelo BX53 (Laboratorio de Microscopía, INREMI), de la composición mineralógica, así como de la microtextura y microestructuras que pudieran identificarse.

Por otro lado, se realizó la determinación de la composición química de dos muestras de cuarzo. La primera fue triturada y pulverizada a malla 200 en un molino de anillos, mientras que la segunda fue reducida a fragmentos con tamaños de 2 a 4 mm con una masa. Luego, se seleccionaron a mano y bajo lupa binocular (marca Olympus, modelo SZH10, Laboratorio de Microscopía, INREMI) fragmentos de coloración homogénea. La pulverización final fue realizada en un mortero de ágata teniendo riguroso cuidado de no perder material en el proceso (Fig. 3).

Ambas muestras fueron analizadas en el Laboratorio ALS Patagonia S.A. Los óxidos mayoritarios (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_3), fueron determinados mediante espectrometría de fluorescencia de Rayos X (rutina ME-RF). Los patrones utilizados fueron SARM-39 y SARM-45. Elementos minoritarios (Ba, Cr, Rb, Cs, Ga, Hf, Nb, Y, Sr, Sn, Ta, Th, U, V, W, Zr) y tierras raras (REE) se determinaron mediante una combinación de espectrometría de emisión de plasma (ICP) y espectrometría de masas (MS; rutina ME-MS81). Los patrones utilizados fueron OREAS-45, OREAS-14 y SY-4.



FIGURA 3

Secuencia de preparación de las muestras para los análisis geoquímicos

Finalmente, se realizaron secciones delgadas bipulidas (espesor de $80\ \mu\text{m}$) con el fin de identificar diferentes tipos o grupos de IF. Éstas fueron clasificadas utilizando la nomenclatura de Roedder (1984) que las diferencia en primarias, secundarias y pseudosecundarias. También, se empleó el criterio de Nash (1976) para establecer el número de fases (líquido, gas y sólido) reconocidas en cada una de ellas: monofásicas, bifásicas, trifásicas y polifásicas.

RESULTADOS

Descripción mesoscópica y microscópica

A escala mesoscópica, las muestras poseen coloración blanquecina con algunos tonos castaños y rosados, probablemente debido a la presencia de óxidos, mientras que en otros sectores se observan coloraciones verdosas, posiblemente por la presencia de los filosilicatos. A su vez, en algunas muestras se identifican estructuras tanto orientadas bandeadas como masivas o isotropas (Fig. 4 A, B, C y D). El estudio petrográfico permitió determinar que las muestras están compuestas por cristales de cuarzo euhedrales a subhedrales con un tamaño de grano variable entre $70\ \mu\text{m}$ y $600\ \mu\text{m}$ (Fig. 5 A y B).

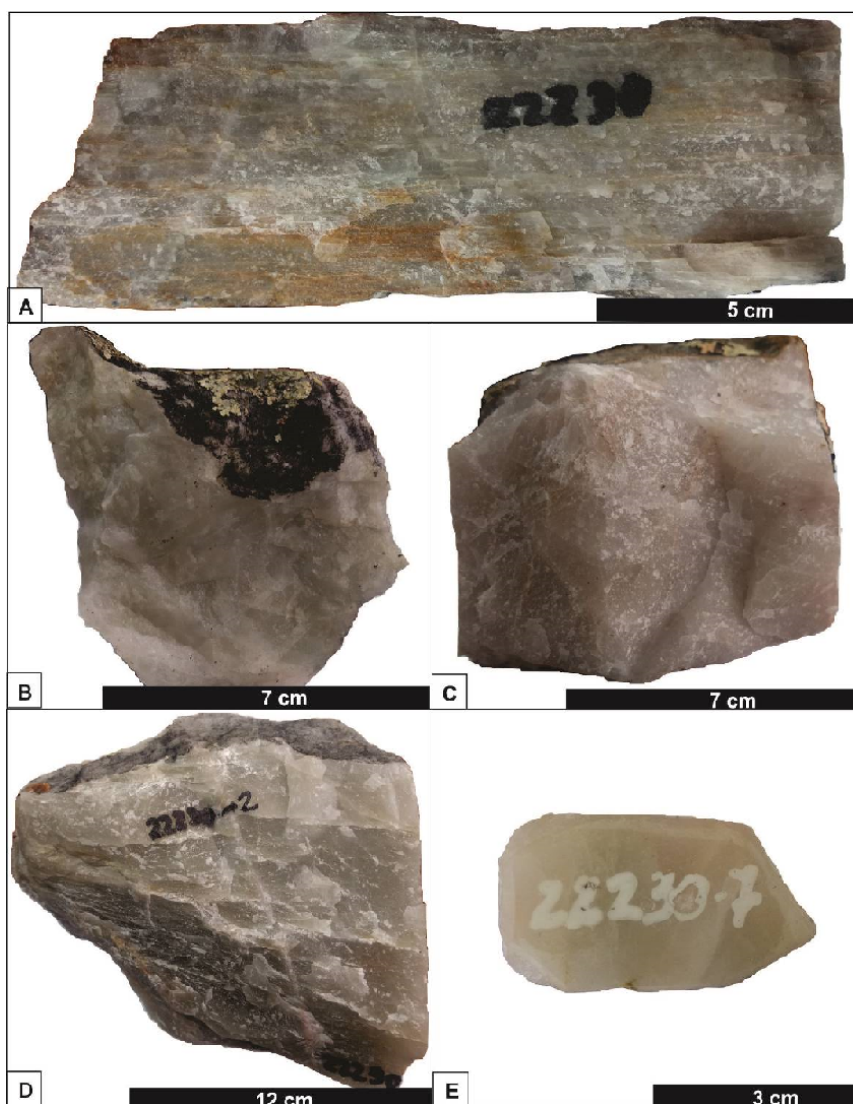


FIGURA 4

Aspecto de las muestras del cuerpo cuarzoso.

Se distinguen diferentes estructuras y coloraciones: A) bandeada y coloración castaña, B) masiva y coloración blanquecina, C) masiva, coloración blanquecina y una notoria cantidad de fracturas, D) masiva con fracturas y con coloración verdosa. E) Detalle de cara pulida de muestra masiva.

Además, se identificaron cristales de filosilicatos con un tamaño aproximado de hasta $44 \mu\text{m}$ y una baja proporción de minerales opacos (Fig. 5 C y D). La disposición orientada de las muestras es determinada por la deformación y aplastamiento de los cristales de cuarzo (plano C) así como también por la orientación de los filosilicatos (plano S) que conforman en algunos sectores estructuras de deformación de tipo S-C; el plano S forma un ángulo agudo con el de estiramiento C (Fig. 5 E y F). A su vez, los cristales de cuarzo presentan microestructuras de disolución por presión, deformación intracrystalina (extinción ondulosa), de recristalización dinámica (rotación de subgrano) y, en menor medida de recristalización estática (reducción del área de borde de grano; (Fig. 5 B y D). Los filosilicatos, presentan una orientación que coincide con la deformación de los cristales de cuarzo y una importante flexuración (Fig. 5 C y D). Por otro lado, las muestras se encuentran afectadas por una serie de fracturas rellenas con cristales de cuarzo de menor tamaño ($\sim 260 \mu\text{m}$) y en algunos casos, con filosilicatos con tamaños de $\sim 148 \mu\text{m}$. Por lo general, las fracturas atraviesan el bandeamiento principal y poseen espesores de aproximadamente $350 \mu\text{m}$ (Fig. 5 E y F).

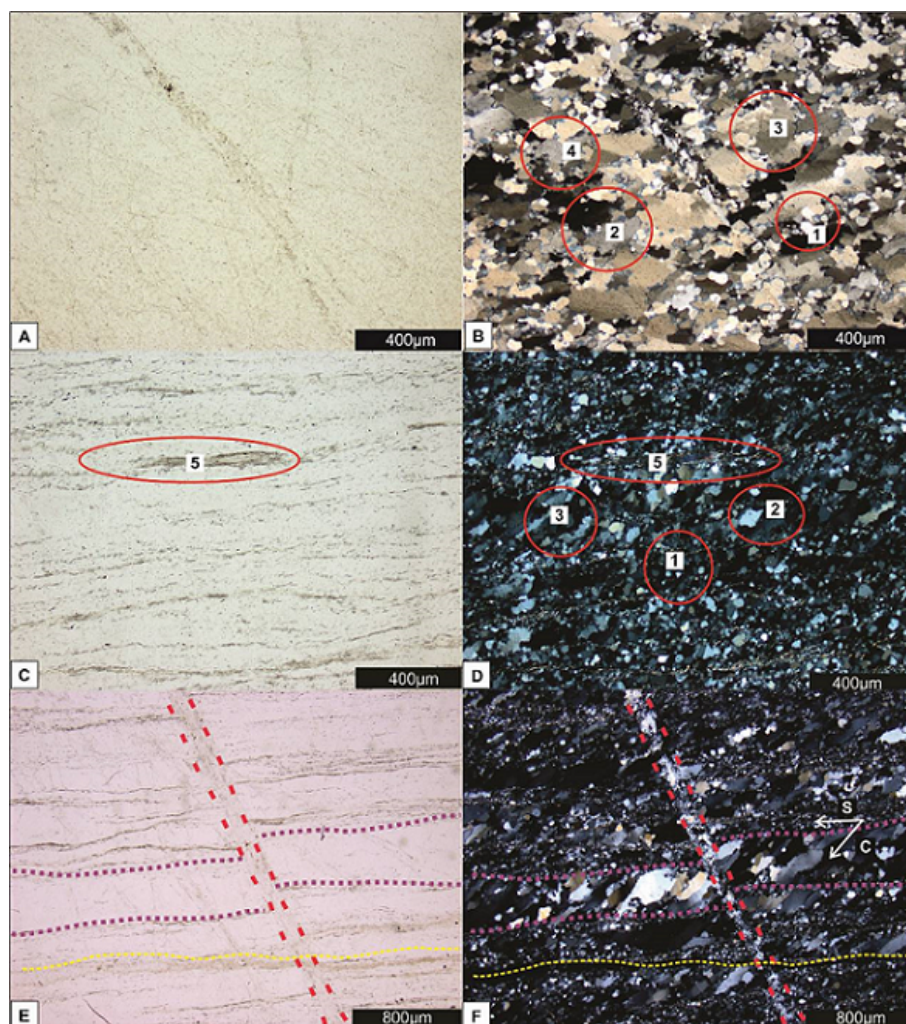


FIGURA 5

A) y B) Microestructuras de deformación identificadas en cristales de cuarzo, sin analizador y con analizador, respectivamente. 1: Reducción del área de borde, 2: Disolución por presión, 3: Extinción ondulosa y 4: Migración de borde. C) y D) Microestructuras de deformación identificadas en cristales de cuarzo, sin y con analizador, respectivamente. En la primera, además puede observarse la disposición de la microfábrica planar dada por la orientación de los filosilicatos. 1: Reducción del área de borde, 2: Disolución por presión, 3: Extinción ondulosa en el cuarzo y 5: Filosilicato flexurado. E) y F) Foliación S-C (dirección indicada con flechas blancas y los planos de cambio de dirección con líneas violetas) y microestructuras de deformación frágil (líneas punteadas rojas y amarillas), sin y con analizador, respectivamente.

Geoquímica del cuerpo cuarzoso

Los resultados de los análisis geoquímicos realizados en dos muestras de cuarzo indicaron que están compuestas casi en su totalidad por SiO_2 (95,30-97,50 %), con porcentajes menores de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y K_2O (1,46-0,98 %; 0,55-0,46 %; 0,49-0,37 %, respectivamente (Tabla 3). El resto de los óxidos no supera el 0,02 %. Por otro lado, en ambas muestras se observa una variación en los porcentajes de SiO_2 y en los demás óxidos.

La sumatoria de la totalidad de los elementos trazas (minoritarios y REE) dados en ppm, es de 143,40 ppm y 62,51 ppm, que equivalen a 0,1434 y 0,0625 mg/g, respectivamente para ambas muestras (Tablas 4 y 5). Finalmente, también se calculó en mg/g la sumatoria de aquellos elementos mayoritarios indicados como impurezas y se sumaron a su vez a los elementos trazas totales. Los resultados indican contenidos de 16,5834 mg/g y 12,1925 mg/g para las muestras analizadas.

TABLA 3
Porcentaje de óxidos mayoritarios

ÓXIDOS	22230-0 (en %)	22230-6 (en %)
SiO ₂	95,30	97,50
TiO ₂	0,02	0,02
Al ₂ O ₃	1,46	0,98
Fe ₂ O ₃	0,55	0,46
MnO	0,01	0,01
MgO	0,03	0,02
CaO	0,02	0,01
Na ₂ O	0,02	0,02
K ₂ O	0,49	0,37
P ₂ O ₅	<0,01	<0,01
Cr ₂ O ₃	0,04	0,03

22230-0: muestra procesada directamente y 22230-6: muestra con tratamiento de selección manual.

TABLA 4
Contenido de elementos minoritarios

ELEMENTOS	22230-0 (en ppm)	22230-6 (en ppm)
Ba	20,00	N/D
Rb	39,10	38,00
Cs	1,15	1,07
Ga	5,30	5,10
Hf	0,30	0,30
Nb	0,30	0,30
Y	1,50	N/D
SrO	1,60	1,40
Sn	3,00	N/D
Ta	0,10	0,10
Th	5,02	4,90
U	0,07	0,07
V	13,00	N/D
W	25,00	N/D
Zr	16,00	N/D

N/D: no determinado. 22230-0: muestra procesada directamente y 22230-6: muestra con tratamiento de selección manual.

TABLA 5
 Contenidos de tierras raras (REE) en ppm

TIERRAS	22230-0 (en ppm)	22230-6 (en ppm)
La	2,40	2,20
Ce	4,20	4,10
Pr	0,50	0,40
Nd	1,90	1,70
Sm	0,33	0,31
Eu	0,04	0,04
Gd	0,38	0,33
Tb	0,02	0,02
Dy	0,20	0,20
Y	1,50	1,50
Ho	0,03	0,02
Er	0,18	0,17
Tm	0,01	0,01
Yb	0,25	0,25
Lu	0,02	0,02

22230-0: muestra procesada directamente y 22230-6: muestra con tratamiento de selección manual.

Análisis de inclusiones fluidas

Para completar los estudios de pureza del cuarzo, se realizó un mapeo de IF en secciones bipulidas. Las IF identificadas fueron escasas y se presentan de forma muy dispersa y con tamaños reducidos, siendo estos menores a $10\ \mu\text{m}$, además presentan morfologías ovoideas, regulares e irregulares (Fig. 6). Se determinaron IF primarias y secundarias según la nomenclatura de Roedder (1984) y de acuerdo con el criterio de Nash (1976), corresponden a bifásicas (líquido-vapor), sin presencia de sólidos apreciables.

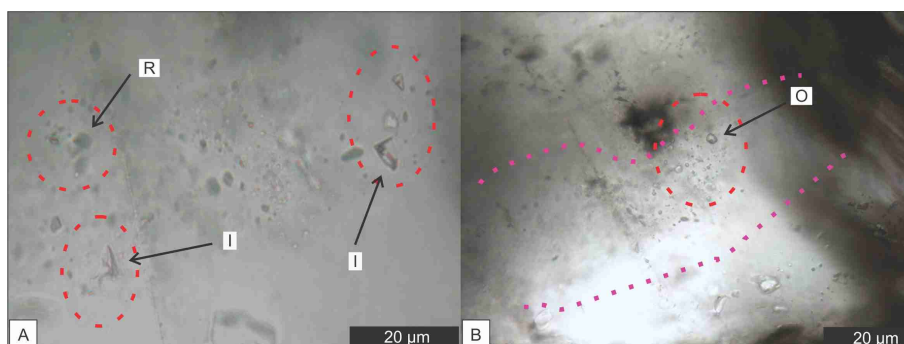


FIGURA 6
 IF bifásicas de morfologías regular (R), irregular (I) y ovoidea (O)

DISCUSIÓN

El cuerpo cuarzoso estudiado se emplaza en las proximidades de la Estación Pablo Acosta, en el ámbito de las Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. De acuerdo con la geología regional, el mencionado cuerpo se encuentra asociado a una serie de rocas típicas del basamento del Sistema de Tandilia, como metamorfitas de alto grado y granitoides (Cingolani, 2011), y está afectado además por una cizalla que está especialmente vinculada con la Megacizalla de Azul (Frisicale *et al.*, 2012). El estudio petrográfico de este cuerpo permitió reconocer una mineralogía constituida casi totalmente por cuarzo con proporciones menores de filosilicatos y minerales opacos. De la misma manera se identificaron microestructuras de deformación en cristales de cuarzo que evidenciaron procesos de deformación de régimen dúctil y frágil (Pascchier y Trouw, 2005). Los análisis químicos indicaron que está mayormente compuesto por sílice (97-95 %) y un porcentaje menor de impurezas (Al_2O_3 , Fe_2O_3 y P_2O_5 %) asociados a la presencia de los filosilicatos y minerales opacos antes mencionados. Para la optimización de su aprovechamiento como mineral industrial estas impurezas podrían, de ser necesario, ser eliminadas mediante métodos de remoción o purificación relativamente sencillos. De esta forma, podría obtenerse un aumento de pureza del orden de 2 % de SiO_2 y una consecuente disminución, principalmente, en los contenidos de Al_2O_3 y Fe_2O_3 %. Por otro lado, son destacables los contenidos muy bajos en elementos trazas totales (0,1434 y 0,0625 mg/g) y la escasez de inclusiones fluidas. Además, la sumatoria total de elementos, excluyendo la sílice, corresponde a 16,5834 mg/g y 12,1925 mg/g para cada muestra, siendo muy inferior a los límites establecidos por Müller *et al.* (2012) de 50 mg/g para el CAP. A su vez, se distinguen bajos contenidos de Al, Na, K y Ca (5,1870 mg/g, 0,1483 mg/g, 3,0715 mg/g y 0,0715 mg/g, respectivamente), en comparación con las reportadas por Müller *et al.* (2012) (Al: 30 mg/g, Na: 8 mg/g, K: 8 mg/g y Ca: 5 mg/g).

Las IF identificadas fueron escasas, de reducido tamaño y sin cristales sólidos en su interior, por lo que su presencia no contribuiría significativamente al total de impurezas mencionadas anteriormente. Este punto es sumamente importante ya que las IF, así como las posibles fases sólidas que pudiesen contener en su interior, corresponden a las impurezas que requieren metodologías de extracción más complejas (Müller *et al.*, 2012).

Teniendo en cuenta los valores estipulados para los usos del cuarzo como mineral industrial y los resultados químicos presentados, el cuarzo estudiado podría ser utilizado, sin ningún tipo de tratamiento, en la industria de las ferroaleaciones, como ferrosilicio ($\text{SiO}_2 \geq 95\%$ y $\text{P}_2\text{O}_5 \leq 0,02\%$). Por otro lado, en el caso de aplicar algún método de purificación también podría ser utilizado en la industria del vidrio para fabricar envases incoloros o fibra para aislamiento. Estos usos son definidos sobre la base de la alta pureza en SiO_2 que evidenciaron los análisis químicos. Sin embargo, existe una amplia variedad de industrias que no tiene en cuenta el porcentaje de óxidos, como son la industria de abrasivos, cerámica, construcción y filtrantes, entre otros. Finalmente, cabe destacar que el área posee una ubicación estratégica con respecto a los caminos de acceso y a los centros de abastecimiento de rocas de aplicación y ornamentales de Argentina.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, el cuarzo alojado en el cuerpo rocoso aflorante en las cercanías de la Estación Pablo Acosta, partido de Azul, cumple con las condiciones establecidas por Müller *et al.* (2012) para ser clasificado como CAP. Si bien, aún restan por realizarse ensayos destinados a determinar la calidad de los productos finales generados a partir de este cuarzo como, por ejemplo, fusión sobre placa de sílice y llama de fusión en horno tipo Vernulli (Santos *et al.*, 2014), este trabajo aporta la primera mención de un depósito de cuarzo de alta pureza en la Provincia de Buenos Aires y en el ámbito del Sistema de Tandilia. Por otro lado, la magnitud del cuerpo aflorante, su posición estratégica respecto de las vías de transporte, así como la tradición minera de la Provincia de Buenos Aires, son factores clave que permitirían el desarrollo y la logística requeridos para una eventual explotación de este recurso.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y a la Universidad Nacional de La Plata por la financiación y al Instituto de Recursos Minerales (FCNyM-UNLP) por las instalaciones brindadas para la realización de los estudios petrográficos. Este tema de investigación fue desarrollado por la primera autora durante la ejecución de su Trabajo Final de Licenciatura en Geología (Facultad de Ciencias Naturales y Museo-UNLP).

REFERENCIAS

- Angelelli, V., Villa, J., Suriano, J. (1973). Recursos minerales y rocas de aplicación de la Provincia de Buenos Aires. *LEMIT, Anales 2, Serie II*, 235, 80-124.
- Benítez, M., Lanfranchini, M.E., Heer, C., Coriale, N., García, W. (2017). Reconocimiento de las unidades del basamento Proterozoico de las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires en las Estancias Cerro Blanco y La Torcaza a través del procesamiento de imágenes Sentinel. *XX Congreso Geológico Argentino*. (pp.18-20). Recuperado de <http://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/8095>
- Bonalumi, A.A., Sfragulla, J.A., Sanchez Rial, J., Cornaglia, J., Cabanillas, A., Ferreira, J.P. (2004). Carta de minerales industriales, rocas y gemas 3166-IV. Villa Dolores, Córdoba. *Instituto de geología y recursos minerales, SEGEMAR, boletín n° 356*. Buenos Aires. Recuperado de <http://repositorio.segemar.gov.ar/308849217/2820>
- Caballé, M., Coriale, N. (2003). Rocas de aplicación de la Provincia de Buenos Aires. *II Jornada de Técnicas de Reparación y Conservación del Patrimonio (Volumen 2)*. Recuperado de <http://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/1436>
- Cassedanne, J.P. (1971). Le quartz au Brésil. *Bulletin de l'Association Française de Gemmologie*, 27, 8-11.
- Cingolani, C. (2011). The Tandilia System of Argentina as a southern extension of the Rio de la Plata craton: an overview. *Internacional Journal of Earth Sciences*, 100, 221-242.
- Chaves, M.L.S.C. (2007). O megaveio de quartzo da Serra da Catinga (Datas/Gouveia, MG). *Geociências (São Paulo)*, 26(2), 109-117.
- Cornelis, K., Cornelius, S., Hurlbut, Jr. (2011). Mineralogía Sistemática. Parte IV: Silicatos. En Cornelis, K., Cornelius S., Hurlbut, Jr., *Manual de Mineralogía Vol. 2* (pp. 584-588). España: Reverté.
- Dalla Salda, L. H., de Barrio, R.E., Echeveste, H., Fernández, R. (2005). El basamento de las Sierras de Tandilia. En de Barrio, R.E., Etcheverry, R., Caballé, M.F., Llambías E.J. (eds.) *Geología y Recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del 26° Congreso Geológico Argentino*. (pp.32-50). La Plata, Argentina.
- Departamento Nacional de Produção Mineral. (2001). Estatística mineral por substância - Quartzo. En: *Anuário Mineral Brasileiro* (pp. 360-361). Brasil.
- Dirección general de desarrollo minero – Coordinación General. (2013). Perfil de mercado de Sílice. Recuperado de: https://economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_silice_1013.pdf
- Fernández Navarro, J.M. (2003). *El vidrio*. Madrid, España: CSIC
- Fernández, F., Rogosz, M., Izquierdo, M., Gregorio, M. (2017). *Panorama de mercado de rocas y minerales industriales, Año 1, N°1*. Recuperado de http://cima.minem.gob.ar/assets/datasets/cuarzo_pan.pdf
- Frisicale, M.C., Dimieri, L., Angeletti, M., Dristas, J. (2012). Evidencias de múltiples episodios de deformación en la Megacizalla de Azul, Tandilia. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 73(2), 211-224
- Guzzo, P.L. (2008). Quartzo. Em Guzzo, P.L. *Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações* (pp. 681-714). Brasil: CETEM/MCT.
- Harben, P.W. (2002). *The industrial minerals handy book: a guide to markets, specifications & prices*. Surrey, KT: Industrial Minerals Information.

- Lanfranchini, M.E., Lajoinie, M.F., Mojica, M., Benítez, M.E., Ballivián Justiniano, C.A., Salvioli, M.A., Curci, M.V., Coriale, N.G. (2019). Geología de un cuerpo cuarzoso en el área de la Estación Pablo Acosta, partido de Azul, basamento del Sistema de Tandilia. *XIII Congreso de Mineralogía, Petrología ígnea y Metamórfica, y Metalogénesis* (pp. 438-439). Córdoba, Argentina..
- Leyva Mormul, A., Leyva Rodríguez, C.A., Leyva Ramírez, E., Almenares Reyes, R.S. (2010). Un acercamiento al conocimiento de las características del cuarzo cubano y sus posibles aplicaciones industriales. *Ciencias Houllín, XVI*(1), 1-11. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1815/181517919014>
- Müller, A., Wanyik, J.E., Ihlen, P.M. (2012). Chapter 4 Petrological and Chemical Characterization of High-Purity Quartz Deposits with Examples from Norway. En Müller, A., Wanyik, J.E., Ihlen, P.M., *Quartz: Deposits, Mineralogy and Analytics* (pp. 71-85). Alemania: Springer Science & Business Media.
- Nash, J.T. (1976). *Fluid inclusion petrology-data from porphyry copper deposits and application to exploration*. Estados Unidos: U.S. Govt. Print. Off.
- Pascchier, C.W., Trouw, R.A.J. (2005). Capítulo 3. En: Pascchier, C.W., Trouw, R.A.J., *Microtectonics* (pp. 25-55). Berlin: Berlin Springer.
- Roedder, E. (1984). *Fluid inclusions, volumen 12*. Mineralogical Society of America.
- Santos dos, M.F.M., Fujiwara, E., Schenkel, E.A., Enzweiler, J., Suzuki, C.K. (2014). Quartz resources in the Serra de Santa Helena formation, Brazil: A geochemical and technological study. *Journal of South American Earth Sciences*, 56, 328-338. doi:<https://doi.org/10.1016/J.JSAMES.2014.09.017>