REVISTA DE LA
ASOCIACIÓN GEOLÓGICA ARGENTINA
www.geologica.org.ar
Julio 2025

Las ágatas del río Uruguay: distribución, abundancia y caracterización

Pablo Rodrigo LEAL

Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS). Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (UBA). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Email: leal@gl.fcen.uba.ar

Editor: Ricardo A. Astini

Recibido: 28/10/24
Aceptado:18/07/25

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es determinar el potencial como rocas ornamentales de las ágatas que integran los depósitos plio-pleistocenos de la provincia de Entre Ríos. Para esto se realizaron análisis granulométricos y petrográficos sobre muestras de sedimentos de 19 sitios, tomados de canteras y afloramientos a lo largo del río Uruguay. La granulometría de los niveles de gravas estudiados evidencia una distribución gaussiana con una media de 25 mm que corresponde a guijas gruesas. Las fracciones de mayor tamaño (mayores a 32 mm: guijas muy gruesas y guijarros), aptas para la lapidación, alcanzan un máximo entre las localidades de Santa Ana y Concordia. Dentro del total de gravas analizadas la cantidad de ágatas, enteras o fracturadas, representan un 28 %, pero solo el 4,6 % posee un valor comercial que justifica su lapidación. Esta ley de 60kg/m^3 aumenta considerablemente en los acopios de yacimientos que extrajeron las gravas menores a 50 mm para la industria del hormigón. Las ágatas más frecuentes presentan bandeamiento concéntrico de calcedonia con uno o dos pulsos de cuarzo cristalino. Las ágatas con bandeamiento horizontal son menos frecuentes, mientras que las ágatas con esferulitas constituyen raras excepciones.

Palabras clave: Plioceno, Pleistoceno, gravas, Entre Ríos, calcedonia

ABSTRACT

Agates from the Uruguay River: Distribution, Abundance, and Characterization.

This study evaluates the potential of agates found within the Plio-Pleistocene deposits of Entre Ríos Province (Argentina) for use as ornamental stones. A total of 19 sediment samples were collected from quarry pits and natural outcrops along the Uruguay River and analyzed through grain size distribution and petrographic techniques. The studied gravels exhibit a near-Gaussian size distribution, with an average grain size of 25 mm, corresponding to coarse pebbles. The coarser fractions (>32 mm), including very coarse pebbles and cobbles - those most suitable for lapidary purposes - are most abundant between the towns of Santa Ana and Concordia. Agates (both whole and fragmented) constitute approximately 28% of the total gravel analyzed, although only 4.6% exhibit the quality and size necessary to justify commercial lapidary work. This corresponds to a grade of 60kg/m^3, which increases significantly in stockpiles from deposits exploited for construction purposes, where gravel smaller than 50 mm has been removed. Petrographically, the most common agates display concentric banding of chalcedony with one or two generations of crystalline quartz. Horizontally banded agates are less frequent, while spherulitic varieties are rare.

Keywords: Pliocene, Pleistocene, gravels, Entre Ríos, chalcedony

INTRODUCCIÓN

La columna estratigráfica de las provincias de Corrientes y Entre Ríos se puede simplificar en un basamento cristalino de edad Mesozoica (Formación Curuzú Cuatiá, Gentili y Rimoldi 1979) sobre el cual descansa una compleja sucesión de sedimentos generados por los procesos exógenos que afectaron esta región en los últimos 65 millones de años (Gentili y Rimoldi 1979; Herbst et al. 1999; Aceñolaza 2007; Santa Cruz et al. 2020). Dentro de dicha columna existen tres formaciones que contienen niveles de conglomerados: Formación Puerto Yeruá (Cretácica), Formación Salto Chico (Pliocena) y Formación Ubajay (Pleistocena). Las dos primeras se formaron antes de la actual configuración de la cuenca del río Uruguay y por lo tanto su distribución obedece a depocentros de sistemas fluviales preexistentes (Goso Aguilar et al. 1999; Iriondo y Kröhling 2008). Por el contrario, los conglomerados de la Formación Ubajay deben su sedimentación a la historia geológica del río Uruguay que comenzó hacia el Pleistoceno Superior luego de la transgresión marina de edad miocena que formó el mar Paranaense (Iriondo 1996; Iriondo y Kröhling 2008; Aceñolaza 2004).

Los conglomerados cretácicos (Formación Puerto Yeruá para De Alba y Serra 1959 o Formación Guichón para Bossi 1966) no poseen gran relevancia puesto que afloran principalmente en la República Oriental del Uruguay. Dentro del territorio argentino solo forman restringidos asomos discontinuos en los alrededores de la localidad Puerto Yeruá y en el parque nacional El Palmar (Goso Aguilar et al. 1999; Silva Busso y Machado 2019). Por el contrario, extensos bancos de conglomerados se formaron durante el Plioceno (Formación Salto para Goso 1965; Salto Chico para Gentili y Rimoldi 1979; San Salvador para Iriondo y Kröhling 2008) y durante el Pleistoceno (Formación Ubajay de Gentili y Rimoldi 1979; Formación El Palmar según Iriondo 1980). Ambas formaciones adquieren particular relevancia por constituir, la primera, el acuífero más productivo de la provincia de Entre Ríos y la segunda los afloramientos de grava que constituyen las terrazas elevadas del actual sistema fluvial y uno de los recursos de cantos rodados más prolíficos del país (Iriondo 1996; Tomas 2005; Iriondo y Kröhling 2008; Silva Busso y Amato 2017).

Actualmente, el término "ágata" se emplea para describir estructuras bandeadas compuestas principalmente por calcedonia de distintos colores y porosidad, que pueden presentar intercalaciones de cuarzo macrocristalino, ópalo-A, ópalo-CT, cristobalita y/o moganita, como relleno de cavidades (Götze et al., 2020; Moxon y Palyanova, 2020; Klen y Hurlbut, 1998). El hallazgo de ágatas en los niveles de conglomerados mencionados se remonta a mediados del siglo XIX, cuando fueron señaladas como un recurso potencial del área (Martin de Moussy, 1860). Este descubrimiento temprano propició su inclusión en numerosos trabajos posteriores, aunque el interés científico se desplazó hacia estudios de carácter petrológico, en los que las ágatas suelen mencionarse sin mayores descripciones específicas. Las dos únicas excepciones son las contribuciones de Cordini (1949) y Apolinare (2018) por analizar específicamente la petrografía de las facies conglomerádicas en la provincia de Entre Ríos; aunque estos autores determinan su potencial empleo como materia prima de antiguas culturas o como recurso de cantos rodados para la industria del hormigón. Así, más de 160 años después de su primera mención, aun faltan estudios orientados a precisar las variables que permiten definir si las ágatas constituyen un recurso no renovable con potencial productivo.

En este escenario, el objetivo de este trabajo es analizar la presencia de ágatas en las lentes de conglomerados con especial atención en la Formación Ubajay por ser esta la principal productora de cantos rodados. Se detalla la granulometría, la composición y la clastometría de las gravas a partir de la caracterización de 19 sitios representativos (16 de la Formación Ubajay y 3 de la Formacion Salto Chico). Sobre la base de los resultados obtenidos se analiza la distribución, la abundacia y las variaciones temporales de las ágatas propicias para trabajos de lapidación. Se delimita la zona con afloramientos más productivos y se discute sobre el potencial desarrollo de una industria orientada a la explotación de las mismas como rocas ornamentales, piedras semipreciosas, material de laboratorio o cualquier otra aplicación que no se limite a su empleo como canto rodado.

Para este propósito se definió la zona de estudio de modo tal que incluya a los afloramientos de la Formación Ubajay y a las principales canteras de gravas tanto pliocenas como pleistocenas (Fig. 1). Bajo esta premisa, la misma se extienden desde la localidad de Mocoretá (provincia de Corrientes) hasta la localidad de Colón (provincia de Entre Ríos). Dentro de esta zona las muestras se extrajeron de frentes de canteras, cortes de ruta o sobre perfiles naturales durante períodos de estiaje del río Uruguay.

MARCO GEOLÓGICO Y ANTECEDENTES

Las primeras contribuciones sobre los bancos de conglomerados en las márgenes del río Uruguay fueron realizadas por Cordini (1949), De Alba y Serra (1959) y Bataglia (1964), quienes relevaron perfiles y describieron características granulométricas y petrográficas. Años más tarde Gentili y Rimol-

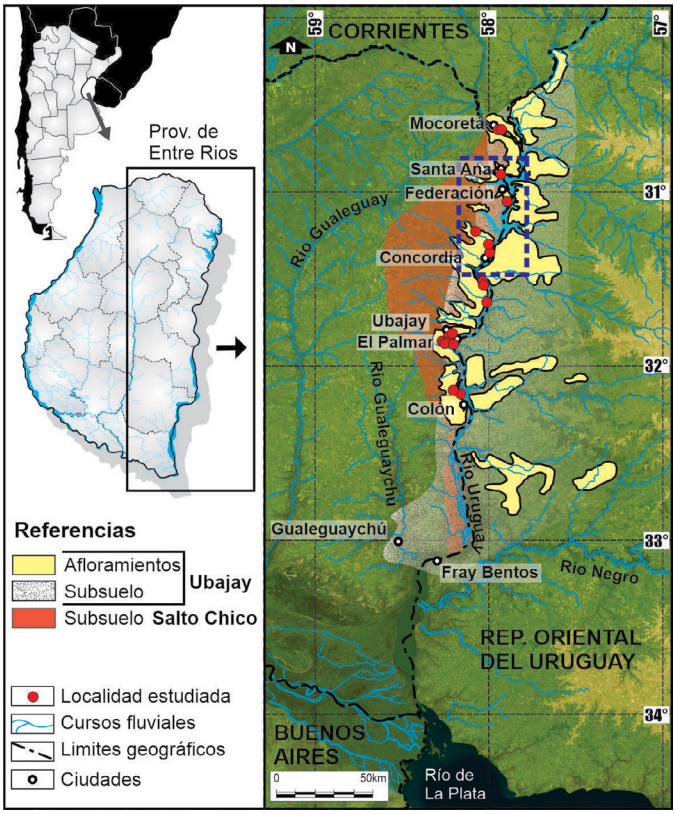

Figura 1. Extensión de las Formaciones Salto Chico y Ubajay modificada sobre la base de la cartografía realizada por Bertolini (1995), Kröhling (2009) y Veroslavsky y Ubilla (2007). Extensión en el subsuelo según Silva Busso y Amato (2017). El recuadro en lineas punteadas azules indica el área con mejor calidad de ágatas.

di (1979) elaboraron la columna estratigráfica regional de la Mesopotamia, donde discriminaron dos unidades cenozoicas con facies de conglomerados y las denominaron Formación Salto Chico (Pliocena) y Formación Ubajay (Holocena). No obstante, la diferenciación entre ambas unidades se torna dificultosa cuando los afloramientos son reducidos y no es posible identificar horizontes guía, ya que ambas responden a procesos fluviales y la más joven se forma a partir de la erosión y el transporte de la más antigua (Aceñolaza 2007; Busso y Amato 2017). Esta similitud es la principal fuente de discrepancias y contradicciones entre los autores que, desde entonces, han intentado caracterizar la petrografía, el perfil tipo y la extensión de cada una.

La Formación Salto Chico fue definida por Rimoldi (1963) para depósitos fluviales previamente reconocidos en la provincia de Corrientes (Riggi 1936) y en la margen oriental del río Uruguay donde se la denominó Formación Salto (Lambert 1940; Goso 1965). Bertolini et al. (1988) describen las primeras perforaciones realizadas en Entre Ríos que complementan las observaciones en superficie. Veinte años después, Aceñolaza (2007) realizó una actualización estratigráfica de la Mesopotamia donde prefiere integrarla a la Formación Salto. Al mismo tiempo, Iriondo y Kröhling (2008) la redefinen como Formación San Salvador y la restringen a facies de paleocauce meandrante marginado por facies de inundación. Estos últimos autores describen los perfiles tipo, las localidades más importantes, su diseño en el subsuelo y las condiciones ambientales que le dieron origen. Mediante datos de perforaciones Silva Busso y Amato (2017) determinaron la extensión, la altimetría y los espesores en el subsuelo entrerriano de las dos unidades aquí estudiadas. Esta contribución permite definir con mayor detalle las relaciones estratigráficas y precisar las condiciones que gobernaron en esta zona durante el intervalo plio-pleistoceno. La edad pliocena de la Formación Salto Chico fue determinada a partir del contenido de troncos fósiles (Lutz 1980).

La Formación Ubajay fue definida por Gentilli y Rimoldi (1979) en la localidad homónima donde la describen como psefitas gruesas constituidas principalmente por rodados aglutinados por una matriz arcillo-arenosa de color rojizo a amarillento con escasa cohesión. En el mismo trabajo se reconoce que constituyen las terrazas del río Uruguay por acumulación de material proveniente de la remoción de los bancos conglomerádicos subyacentes (Fm. Salto Chico). Iriondo (1980) redefine a estas facies como Formación El Palmar para referirse a los *"cantos rodados y gravas castaños y pardos de calcedonia y ópalo, constituyendo lentes de decenas de metros de largo en una masa de arena cuarzosa rojizas y amarillas …"* que constituyen la terraza alta del Río Uruguay. Su edad fue primero aproximada por Tonni (1987) quien a partir de un ejemplar de Stegomastodon platensis la asignó al Pleistoceno superior. Este resultado fue corroborado por Iriondo y Kröhling (2008), quienes mediante termoluminiscencia obtuvieron edades de 80.670 ± 13.420 y 88.370 ± 35.680 años (A.P.). Kröhling (2009) realizó una actualización regional de esta unidad pleistocena donde determina la composición mineralógica con especial detalle en las fracciones arenas y arcillas, establece correlaciones con las unidades vecinas y elabora una síntesis de los procesos geológicos que le dieron origen. Los ultimos trabajos que refieren a esta formación analizan nuevos perfiles y estudian la extension en el subsuelo de la provincia de Entre Rios (Silva Busso y Amato 2013, 2017, Masú 2024).

METODOLOGÍA

Los sitios de muestreo se selecionaron para obtener muestras tan representativas como sea posible. La distancia entre estos quedó definida por la presencia de afloramientos apropiados. Se priorizaron perfiles naturales, cortes de ruta o frentes de canteras donde los bancos de gravas no eviden-

cian procesos de erosión. Dado que la Formacion Salto Chico no aflora, su análisis se limita a tres muestras de canteras actualmente productivas.

Los muestreos sobre el techo de los bancos de grava se realizaron extrayendo, con espátulas, la capa de sedimento que cubre una superficie cuadrada de 50 cm de lado (2,5 m^2). Así se obtuvieron más de 3 kg de muestras con escasa o nula pérdida de la fracción de interes (clastos mayores a 2 mm). Esta metodología fue aplicada por Apolinare (2018) para poder obtener una población de clastos que supera significativamente el número de individuos necesarios para un nivel de confianza del 95 %. Las muestras obtenidas en perfiles verticales de cantera (Sévola I y Sévola II) fueron recolectadas escavando superficies similares; no obstante, para minimizar posibles errores, en este caso se extrajo el doble de material (aproximadamente 6 kg). Así se extrajeron cerca de 1000 clastos por sitio y una población total que supera los 17.000 individuos.

El análisis granulométrico se realizó sobre el total del material extraido. Las fracciones fueron separadas mediante el empleo de un agitador mecánico Ro-Tap por períodos de 10 minutos, con tamices en escala phi (ϕ) de razón 2, entre los rangos de -1 a -6 phi (2, 4, 8, 16, 32 y 64 mm) según la escala de Udden-Wenthworth. Las partículas de tamaños mayores a 64 mm (guijarros) fueron clasificadas a partir de la determinación con calibre de sus diámetros medios. Una vez separadas, cada fracción fue pesada para determinar la frecuencia absoluta de cada una utlizando una balanza con 0,2 g de precisión (marca Moretti, modelo: OAC-2,4). La construcción de los histogramas de frecuencia, curvas de frecuencia acumulada y los parámetros estadísticos se realizaron mediante el programa Gradistat (Blott y Pye 2001). La comparación de la distribución granulométrica entre los distintos sitios de muestreo se realizó mediante la librería de ggplot2 generada por Wickham (2016). Para el analisis de las distintas correlaciones se empleó el coeficiente correlación no paramétrica (Tau) de Rank Kendall (Kendall 1938).

Para analizar posibles variaciones granulométricas y/o composicionales conforme aumenta la distancia al área de aporte se estableció a la latitud 26°S como punto de referencia a partir del cual se mide la distancia de cada sitio. Dicha latitud no implica la posición geográfica del área de aporte sino el punto más septentrional a partir del cual no aflora la Formación Ubajay. A partir de esta premisa se indica para cada punto sus coordenadas geográficas y los kilómetros que distan de dicho paralelo.

La composición de cada muestra se determinó mediante las propiedades físicas de todas las gravas mayores a 8 mm observando individualmente a cada una bajo lupa binocular con aumentos de hasta x40 (marca Zeiss, modelo Stemi 305). El reconocimiento basado en esta metodología resulta más preciso conforme aumenta el tamaño de grano; razón por la cual, no se empleó para las fracciones entre 2 y 8 mm. Cuando la escala de observación resultó insuficiente, y el tamaño de los clastos lo permitió, se realizaron cortes delgados para microscopía óptica de polarización (marca Leica, modelo DM750 P).

El volumen de cada ágata se determinó por inmersión en probetas graduadas cada 2 cm^3, su peso con una balanza de 0,01 g de precisión y las medidas morfológicas se obtuvieron empleando calibres con errores inferiores a las décimas de milímetros.

RESULTADOS
CARACTERÍSTICAS DE LAS GRAVAS

Afloramiento y perfiles

Antes de describir los resultados obtenidos sobre las gravas es importante reparar en qué representa esta fracción dentro de las Formaciones Salto Chico y Ubajay. La figura 1 permite observar que solo aflora una pequeña porción de la Formación Ubajay; razón por la cual, los perfiles publicados fueron elaborados mayormente a partir de perforaciones y, en menor medida, mediante observaciones de manifestaciones superficiales.

La Formación Salto Chico en particular no posee datos suficientes para poder estimar qué porción ocupan las gravas dentro de su composición total. Un perfil relevado en Ayuí (localidad ubicada a 20 km de Concordia) de 10 a 20 metros de largo posee bancos de conglomerados de 3 a 5 metros de espesor que representan aproximadamente un 25 % del total se la sucesión (Gentili y Rimoldi 1979). En otro perfil de la localidad de Concordia la unidad evidencia dos ciclos psefíticos separados por un nivel pelítico (Busso y Amato 2017). Allí, de un total de 20 metros, las gravas ocupan un espesor cercano a 12 m que representa aproximadamente el 60 % de su volúmen. Si bien no disponemos de otras precisiones, este último perfil se aproxima más a las descripciones que destacan una composición con predominio de la fracción gruesa (Aceñolaza 2007).

Por el contrario, la Formación Ubajay posee varios perfiles que brindan una mejor aproximación del volumen de cada fracción. El registro más austral fue realizado en los alrededores del arroyo El Palmar (al sur de la localidad homónima) donde Gentili y Rimoldi (1979) estiman que la fracción grava constituye entre el 60 y el 70 % de los bancos que se completan con un 20 a 30 % de arena y un 10 % de material fino.

Iriondo (1980) detalla 3 perforaciones realizadas un kilómetro al sur del mismo arroyo, donde los rodados se hallan hacia el tope de la sucesión sobre niveles de arenas cuarzosas. El espesor de estas lentes de grava varía entre 7,5 y 1,5 m lo que representan entre el 93 y el 32 % del perfil atravesado. Hacia el norte, en el parque San Carlos (localidad de Concordia), Silva Busso y Amato (2017) relevaron un perfil de 9 metros de potencia que suprayase a la Formación Salto Chico. De base a techo la sucesión comienza con un banco de arcillas de dos metros al que le siguen limos arenosos y arenas finas con niveles de silcretes en la parte superior. Sobre estas facies se encuentra un banco de 1,5 m de gravas fangosas de tamaño fino con matriz limo-arenosa. Culmina el perfil con un banco limo-arenoso con intercalaciones de arcillas. Sin embargo, en este mismo sector de la provincia de Entre Ríos se perforaron bancos de gravas que alcanzan espesores de 10 y 17 m (Kröhling 2009). En la localidad de Federación, Kröhling (2009) describe otro perfíl de una perforación de 24 metros. En este sector, por encima del basalto se Serra Geral, se presentan 9 m de gravas, seguidos por 2 m de arenisca, 7 m de areniscas con gravas dispersas y finalmente otros 7 m de gravas. Aqui los rodados representan el 64 % del perfil estudiado. Perfiles similares fueron descritos en la provincia de Corrientes (Iriondo y Kröhling 2008), en Brasil (Iriondo y Kröhling 2008; Kröhling 2009) y en la República Oriental del Uruguay (Iriondo y Kröhling 2008; Kröhling 2009; Veroslavsky y Ubilla 2007). En resumen, según los antecedentes sobre la Formación Ubajay, las gravas constituyen bancos lenticulares de 1 a 9 m de espesor que se hallan preferentemente hacia el techo de la secuencia. El resto de la unidad se compone de bancos de arena cuarzosa y material fino que representa entre el 30 y el 43 % del volumen total (Cordini 1949; Gentili y Rimoldi 1979).

A partir de este contexto, el análisis granulométrico y petrográfico de este trabajo se centró en las gravas (Ø> 2 mm) puesto que las fracciones menores cuentan con detallados antecedentes (Iriondo y Kröhling 2003, 2008) y resultan irrelevantes a los fines de esta contribución. A excepción de Cordini (1949), quien estudió el potencial económico de los rodados, y Apolinaire (2018), quien analizó las fracciones más gruesas para determinar posibles fuentes de material arqueológico, las gravas que nos ocupan fueron siempre descriptas en términos generales como rodados de ágata, ópalo y otras variedades de sílice. Esta contribución completa dicha caracterización mediante el análisis petrográfico específico para la mencionada fracción; razón por la cual, la metodología de muestreo no pretende una muestra representativa de las granulometrías menores.

Granulometría

El cuadro 1 resume la frecuencia absoluta (expresada en peso) y la frecuencia relativa de las fracciones de grava de cada estación estudiada. Según se detalló en la metodología, los sitios de muestreo se ordenan de norte a sur para analizar posibles variaciones por el transporte desde zonas cercanas a la fuente hacia otras más distales. Se indica como “distancia” a los kilómetros que separan a cada localidad del paralelo de 26° de latitud sur; elegido como punto de referencia puesto que el área de influencia de las formaciones estudiadas no alcanza dicha latitud (el código de cada estación repite la misma distancia para simplificar la lectura).

Como se mencionó anteriormente las fracciones menores a 2 mm (arena+limo+arcilla) fueron desestimadas puesto que son irrelevantes para determinar la yacencia de las ágatas y por lo tanto no interesa a los objetivos de este trabajo. Así, la metodología de muestreo empleada priorizó la extracción de muestras representativas de gravas. Estudiar la matriz en estos niveles gravosos requiere de técnicas de muestreo que impidan la contaminación con los bancos arenosos suprayacentes y garanticen muestreos representativos, sin pérdidas de material relacionadas a la erosión de los afloramientos.

En primer lugar, el cuadro 1 permite observar que la granulometría de las muestras de gravas provenientes de la Formación Salto Chico no difiere sustancialmente respecto de las correspondientes a la Formación Ubajay. Bajo esta premisa, si todas las muestras extraídas de los 19 sitios se consideran como una única población, la distribución granulométrica resulta de tipo gaussiana con una moda entre 16 y 32 milímetros y una media de 25 milímetros (Fig. 2a). Por lo tanto, estos bancos de grava se clasifican granulométricamente como guijas gruesas (Blair y McPherson 1999).

Para analizar posibles variaciones del tamaño de grano conforme aumenta la distancia al área de aporte se graficó el punto medio de la fracción más abundante de cada estación (como mejor aproximación posible a la moda) en relación a la distancia. Para analizar todos los datos existentes se complementaron los resultados aquí publicados con los obtenidos por Cordini (1949); reagrupando los intervalos utilizados en el trabajo original y recalculando las frecuencias relativas para descartar las fracciones menores a 2 mm. Como muestra la figura 2b la relación entre el tamaño de grano y la distancia al paralelo 26°S presenta un comportamiento azaroso sin correlación alguna que permita establecer patrones granulométricos (tau = -0,251; p = 0,11751). No obstante, si solo se representa la suma de las fracciones de guijas muy gruesas y guijarro (es decir todas las gravas mayores a 32 mm) en función de la distancia (Fig. 2c) se puede observar

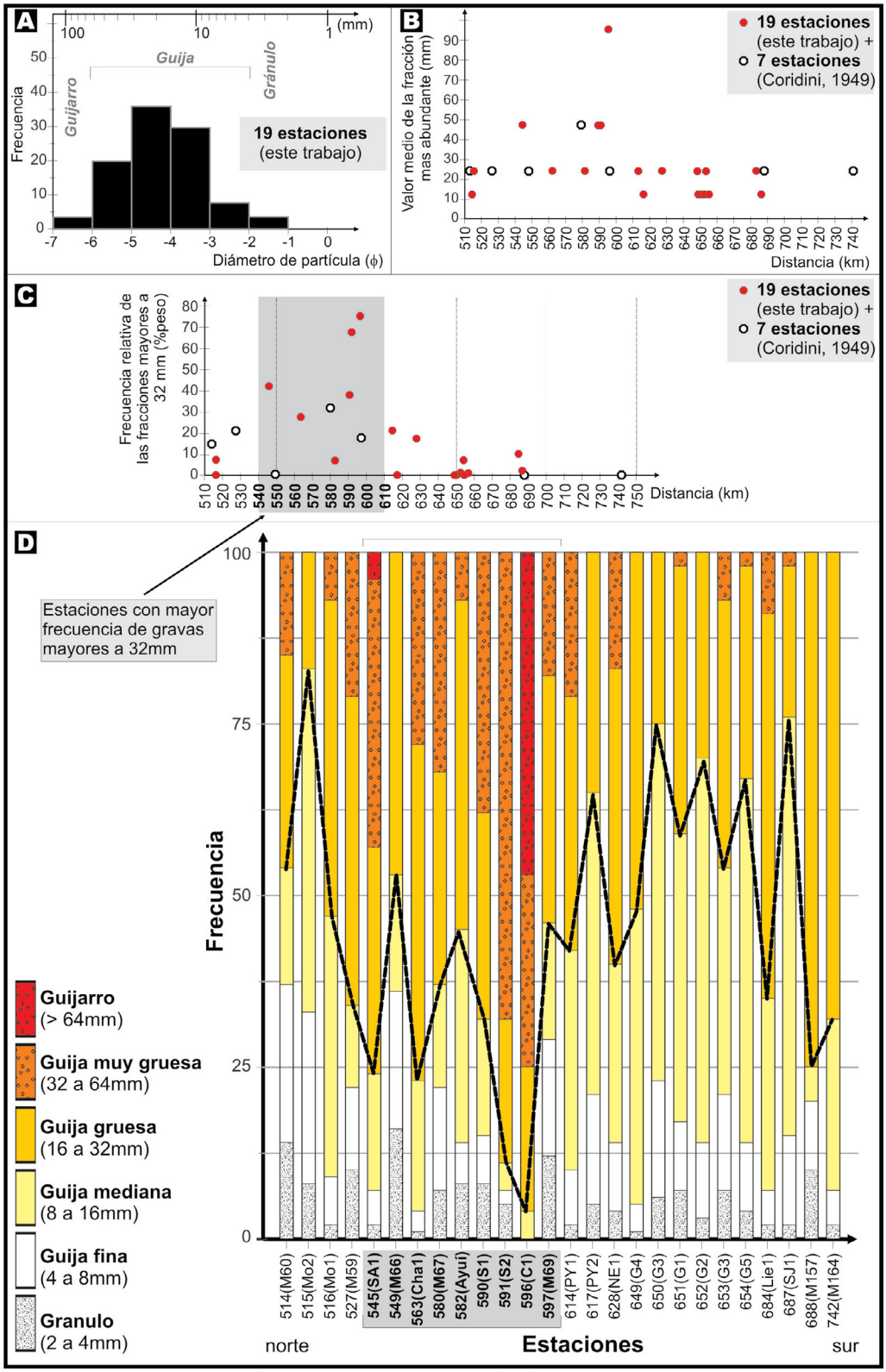

Figura 2. Análisis granulométrico. A) Histograma de frecuencia del total de la población muestreada en las 19 estaciones. B) Valor medio de la fracción más abundante de cada estación (moda aproximada) en función de la distancia al paralelo de referencia (26°LS). C) Abundancia de las fracciones: grava muy gruesa y guijarro, en función de la distancia. D) Comparación entre los histogramas de frecuencia de las estaciones analizadas; la linea punteada permite observar como varia el unico límite de intervalos presente en todas las estaciones. Para los gráficos B, C y D se incorporaron las muestras M60, M59, M66, M67,M69, M157 y M164 extraidas de Cordini (1949).

que las gravas mayores a 32 mm son más frecuentes entre los kilómetros 540 y 610, tanto así que en las estaciones 545, 580, 590, 591 y 596, incluso, constituyen la moda. La misma conclusión se puede extraer de la figura 2d donde se comparan los histogramas de frecuencia de cada una de las 26 estaciones con datos granulométricos. A partir de este resultado, la presencia de ágatas con tamaños propicios para la talla queda comprendida entre las localidades de Santa Ana y Concordia (véase el recuadro azul en la Fig. 1).

Cuadro 1: Frecuencia absoluta (expresada en gramos) y frecuencia relativa (expresada en porcentaje en peso) de las 19 estaciones muestreadas. La frecuencia relativa se limita a la fracción de gravas por lo cual fue calculada descartando las fracciones granulométricas menores a 2 milímetros. Los sitios de muestreo descienden en latitud hacia la derecha del cuadro.

FRECUENCIA ABSOLUTA EXPRESADA EN PESO (g)												
		Estaciones	515	516	545	563	582	590	591	596	614	617
		Formación	Ubajay	Ubajay	Ubajay	Ubajay	Salto Chico	Salto Chico	Salto Chico	Ubajay	Ubajay	Ubajay
		Longitud	-57,9621	-57,9593	-57,9296	-57,8936	-58,0763	-58,0010	-58,0010	-57,9945	-58,0353	-58,03081
		Latitud	-30,6428	-30,6457	-30,9138	-31,0705	-31,2439	-31,3188	-31,3188	-31,3672	-31,5309	-31,55606
		Distancia (km)	515,8	516,1	545,9	563,3	582,6	590,9	590,9	596,3	614,5	617,3
GRAVAS	guijarro	> 64*	0,0	0,0	280,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2341,2	0,0	0,0
GRAVAS	guija MG	32 a 64*	0,0	283,6	3138,0	1754,8	249,2	1949,6	3579,8	1428,6	593,6	0,0
GRAVAS	guija G	16 a 32*	315,0	1853,4	2673,0	3075,4	1651,4	1497,2	1111,8	1033,8	1021,8	1004,4
GRAVAS	guija M	8 a 16*	917,6	1544,0	1401,8	1206,0	1078,5	862,7	215,2	184,5	893,3	1278,5
GRAVAS	guija F	4 a 8*	456,2	277,4	384,2	207,6	223,5	352,6	105,0	12,2	225,2	476,4
GRAVAS	granulo	2 a 4*	142,2	80,0	197,0	41,2	275,4	410,8	232,4	6,8	48,2	150,0
	arena+limo+arcilla	< 2*	21,4	72,0	368,6	58,2	893,8	1409,4	461,8	7,4	168,2	37,0
		Total	1852,4	4110,4	8442,6	6343,2	4371,9	6482,3	5706,0	5014,4	2950,3	2946,3
FRECUENCIA RELATIVA EXPRESADA EN PORCENTAJE EN PESO												
GRAVAS	guijarro	> 64*	0	0	3	0	0	0	0	47	0	0
GRAVAS	guija MG	32 a 64*	0	7	39	28	7	38	68	29	21	0
GRAVAS	guija G	16 a 32*	17	46	33	49	47	30	21	21	37	35
GRAVAS	guija M	8 a 16*	50	38	17	19	31	17	4	4	32	44
GRAVAS	guija F	4 a 8*	25	7	5	3	6	7	2	0	8	16
GRAVAS	granulo	2 a 4*	8	2	2	1	8	8	4	0	2	5

		Estaciones	628	649	650	651	652	653	654	684	687
		Formación	Ubajay	Ubajay	Ubajay	Ubajay	Ubajay	Ubajay	Ubajay	Ubajay	Ubajay
		Longitud	-58,01129	-58,23373	-58,23373	-58,22869	-58,23809	-58,27083	-58,25042	-58,2065	-58,1638
		Latitud	-31,6535	-31,85402	-31,85403	-31,86117	-31,86754	-31,88057	-31,88841	-32,1655	-32,1858
		Distancia (km)	628,1	650,381	650,382	651,2	651,9	653,3	654,2	685,0	687,2
GRAVAS	guijarro	> 64*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GRAVAS	guija MG	32 a 64*	599,0	0,0	0,0	65,6	0,0	247,4	63,6	243,2	82,4
GRAVAS	guija G	16 a 32*	1479,8	1593,8	670,6	1134,2	424,2	1348,0	810,6	1425,8	1027,6
GRAVAS	guija M	8 a 16*	887,7	1345,8	1441,2	1211,6	801,1	1151,8	1377,3	701,0	2773,8
GRAVAS	guija F	4 a 8*	342,4	113,4	470,1	291,1	152,1	462,7	268,4	120,4	594,0
GRAVAS	granulo	2 a 4*	123,4	39,3	172,4	187,2	47,5	244,8	107,4	41,0	89,8
	arena+limo+arcilla	< 2*	121,4	83,8	90,6	70,0	18,8	49,3	11,8	291,6	23,4
		Total	3553,7	3176,0	2845,0	2959,7	1443,7	3503,9	2639,1	2823,0	4591,0
GRAVAS	guijarro	> 64*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GRAVAS	guija MG	32 a 64*	17	0	0	2	0	7	2	10	2
GRAVAS	guija G	16 a 32*	43	52	24	39	30	39	31	56	22
GRAVAS	guija M	8 a 16*	26	44	52	42	56	33	52	28	61
GRAVAS	guija F	4 a 8*	10	4	17	10	11	13	10	5	13
GRAVAS	granulo	2 a 4*	4	1	6	6	3	7	4	2	2

*Intervalos expresados en milímetros. MG: muy gruesa, G: gruesa, M: mediana, F: fina.

Composición

Para poder simplificar la composición de cada sitio se establecieron categorías comunes para las distintas fracciones granulométricas. De este modo, se pudieron sumar las frecuencias absolutas de cada componente (determinadas para cada intervalo) y obtener una composición global de cada localidad estudiada. Bajo esta premisa los líticos se sepa-

raron, siguiendo la metodología estándar, según corresponden a rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas. No así, los agregados minerales se separaron entre: ágatas (enteras o fragmentadas), cuarzo cristalino, jaspe, xilópalo y otros agregados silíceos (Cuadro 2). Este último grupo lo integran intercrecimientos desordenados con textura típicas de precipitados hidrotermales (brechas, bandeamiento o venillas) compuestos principalmente por ópalo y cantidades dispares de jaspe, calcedonia y cuarzo. Los mismos debieron contabilizarse agrupados puesto que en la mayoría de las gravas superiores a 8 mm se encuentran intercrecidos constituyendo agregados poliminerales.

Estos niveles de gravas en ocasiones contienen delgados horizontes, con espesores que no superan los 10 cm, donde las gravas se hallan cementadas por óxidos e hidróxidos de hierro. Estos niveles ferruginosos son fácilmente reconicibles en perfiles al sur de los 31,8°LS (al sur de la localidad de Ubajay) por su mayor competencia y sus colores oscuros. Al mismo tiempo, se observan también precipitados carbonáticos de varios centímetros de espesor que tapizan los niveles más superficiales o atraviesan, en forma discordante, a los estratos de gravas. Cuando ambos precipitados se exponen al ciclo exógeno son erosionados y se generan fragmentos que, en ocasiones, se mezclan con las gravas subyacentes durante el proceso de muestreo. No obstante, son fácilmente reconocibles, no solo por su composición sino también por su escasa redondez y baja esfericidad. Sobre la base de estos considerandos todos los clastos de agregados carbonáticos y todos los clastos con importante contenido de óxidos e hidróxidos de hierro fueron descartados por considerarlos productos secundarios. Finalmente, cabe aclarar que solo un 5 % del volumen total de gravas analizadas fue desestimado por falta de rasgos distintivos que permitiesen identificarlo bajo lupa binocular.

Teniendo en cuenta dichas premisas, el cuadro 2 muestra las frecuencias absoluta y relativa de los componentes encontrados en cada una de las 19 estaciones. Los fragmentos líticos representan entre el 12 y el 42 % en peso de la fracción de gravas. Entre estos las rocas sedimentarias clásticas son las más frecuentes y en la mayoría de las muestras las únicas presentes (Fig. 3a). Se trata principalmente de areniscas de grano grueso a fino y color castaño oscuro que ocasionalmente adquiere tonalidades rojizas debido al predominio de hematita en el cemento. Se reconocen fácilmente por sus formas irregulares, sus clastos redondeados y su brillo moderado. Seis cortes delgados de los tipos más frecuentes permiten observar texturas clasto sostén con un porcentaje de matriz inferior al 40 % y cementos de óxidos de hierro o de cuarzo y calcedonia. La composición de la fracción clástica varía sustancialmente, pero el cuarzo es siempre el componente principal y a veces el único. Le siguen fragmentos líticos de origen sedimentario y, en tercer lugar, feldespatos. En menor cantidad, dentro de los líticos sedimentarios, se encuentran también gravas de pelitas de colores claros, brillo mate, escasa dureza y elevada permeabilidad. Los líticos volcánicos son muy escasos, presentan colores oscuros y, en algunos casos, un estado avanzado de alteración que dificulta su reconocimiento en las fracciones menores a 16 mm. Los individuos encontrados se reconocieron por su textura porfírica o por la ocasional presencia de diminutas vesículas. Por último, los líticos clasificados como metamórficos son componentes accesorios y se identificaron como cuarcitas de grano fino a partir de una incipiente foliación y un brillo vítreo a nacarado. En algunos ejemplares la observación con lupa binocular no permitió discriminar en forma precisa entre este tipo de líticos y las gravas de cuarzo cristalino. En estos casos, cuando la foliación no resultó evidente se los consideró como agregados finos de cuarzo.

En todas las fracciones granulométricas, de los 19 sitios estudiados, los agregados minerales son los componentes más abundantes con un porcentaje en peso que varía entre el 58 y el 88 % (Cuadro 2). Entre estos las ágatas representan el volumen principal en 10 estaciones, la segunda mayoría en otras 6 y la tercera en las 3 restantes. No obstante, es importante destacar que dentro de esta categoría predominan trozos de ágatas fracturadas, ya que los ejemplares enteros se encuentran únicamente en las fracciones mayores a 32 mm (cantidad que aumenta en relación directa con el tamaño de grano). Ya sean trozos o ágatas enteras este grupo composicional lo integran gravas con la característica textura de bandas concéntricas compuestas principalmente por calcedonia y cuarzo granular. En casi todas las partículas menores a 8 mm, los trozos de ágata solo se reconocen por: la disposición subparalela de fibras de calcedonia, las superficies botroidales o las fracturas concoideas. Las propiedades físicas más evidentes son su elevada hialinidad, el brillo sedoso y el hábito botroidal. Si bien el color no es representativo, la tonalidad más frecuente es el castaño oscuro, seguida en orden de abundancia por agregados incoloros, blancos, grises, negros, rojos, anaranjados y amarillos.

El grupo de las gravas de cuarzo cristalino se caracteriza por su elevada redondez, por sus colores blanquecinos, su brillo vítreo, su elevada dureza, su escasa hialinidad y su uniformidad textural (Fig. 3b). Está integrado por agregados equigranulares de cristales cuyos diámetros no superan los tres milímetros. El grupo de los otros agregados silíceos se componen principalmente de ópalo intercrecido con jaspe, calcedonia y, en menor proporción, con cristales de cuarzo,

FRECUENCIA ABSOLUTA EXPRESADA EN PESO (g)									
	Líticos			Agregados y especies minerales					
Estación	Sedim.	Ígneos	Metam.	ágatas	cuarzo	jaspe	xilópalo	Agreg. Silic.	Total [g]
515	166,8	0,0	4,4	359,8	450,6	2,1	0,0	232,5	1216,3
516	459,8	0,0	36,0	896,5	1308,4	2,5	0,0	955,3	3658,4
545	1922,0	0,0	66,2	714,8	2310,6	35,0	0,0	2388,5	7437,1
563	1466,2	0,0	51,3	1487,9	1379,8	52,5	3,6	1548,2	5989,4
582	800,1	7,9	0,0	1019,8	888,6	52,4	0,0	418,8	3187,5
590	1664,0	114,6	6,8	1511,2	570,6	18,6	0,0	662,8	4548,6
591	2132,6	0,0	0,0	1152,6	384,1	9,3	0,0	1316,3	4994,7
596	856,3	369,3	440,5	2143,0	880,7	0,0	0,0	277,1	4966,8
614	460,0	0,0	7,5	653,9	632,8	12,2	0,0	722,6	2488,9
617	378,2	0,0	4,5	910,1	520,0	3,8	0,0	464,4	2281,0
628	1111,8	0,0	35,7	867,5	528,0	7,7	0,0	405,7	2956,4
649	583,4	0,0	0,0	1024,6	659,2	5,0	0,0	768,2	3040,4
650	319,0	0,0	0,0	894,6	823,2	40,0	2,1	516,0	2594,9
651	364,8	68,0	0,0	1023,5	886,1	36,9	0,3	310,2	2689,9
652	250,3	0,0	0,0	385,7	496,5	6,4	0,4	232,0	1371,2
653	528,4	0,0	10,5	970,7	1175,0	27,0	2,7	476,2	3190,5
654	384,0	0,0	4,4	848,8	765,2	12,2	0,0	488,6	2503,2
684	665,4	0,0	1,2	554,5	535,6	0,0	0,0	598,1	2354,8
687	590,4	0,0	20,0	1215,5	1061,8	49,9	10,0	910,5	3858,0

FRECUENCIA RELATIVA EXPRESADA EN PORCENTAJE EN PESO (G)									
	Líticos			Agregados y especies minerales					
Estación	Sedim.	Ígneos	Metam.	ágatas	cuarzo	jaspe	xilópalo	Agreg. Silic.	Total [g]
515	13,7	0,0	0,4	29,6	37,0	0,2	0,0	19,1	100
516	12,6	0,0	1,0	24,5	35,8	0,1	0,0	26,1	100
545	25,8	0,0	0,9	9,6	31,1	0,5	0,0	32,1	100
563	24,5	0,0	0,9	24,8	23,0	0,9	0,1	25,8	100
582	25,1	0,2	0,0	32,0	27,9	1,6	0,0	13,1	100
590	36,6	2,5	0,1	33,2	12,5	0,4	0,0	14,6	100
591	42,7	0,0	0,0	23,1	7,7	0,2	0,0	26,4	100
596	17,2	7,4	8,9	43,1	17,7	0,0	0,0	5,6	100
614	18,5	0,0	0,3	26,3	25,4	0,5	0,0	29,0	100
617	16,6	0,0	0,2	39,9	22,8	0,2	0,0	20,4	100
628	37,6	0,0	1,2	29,3	17,9	0,3	0,0	13,7	100
649	19,2	0,0	0,0	33,7	21,7	0,2	0,0	25,3	100
650	12,3	0,0	0,0	34,5	31,7	1,5	0,1	19,9	100
651	13,6	2,5	0,0	38,1	32,9	1,4	0,0	11,5	100
652	18,3	0,0	0,0	28,1	36,2	0,5	0,0	16,9	100
653	16,6	0,0	0,3	30,4	36,8	0,8	0,1	14,9	100
654	15,3	0,0	0,2	33,9	30,6	0,5	0,0	19,5	100
684	28,3	0,0	0,0	23,5	22,7	0,0	0,0	25,4	100
687	15,3	0,0	0,5	31,5	27,5	1,3	0,3	23,6	100

Cuadro 2: Frecuencia absoluta de cada componente (expresada en gramos) y frecuencia relativa (expresada en % en peso) para cada una de las 19 estaciones analizadas.

formando texturas similares a brechas, venillas o bandeamiento con superficies botroidales (Fig. 3c). El ópalo presenta principalmente color castaño claro a anaranjado con bandas de tonalidades pardo oscura, blancas, rojas o verdes. Se reconoce fácilmente por su brillo resinoso, su evidente opacidad, su fractura subconcoidea y su elevada dureza. Las gravas de tonalidad verde oscuro, pese a su escasez, destacan entre el resto por su peculiar color que es generado por diminutas inclusiones mecánicas (< 10µm) y no por el contenido anómalo de níquel que genera la variedad de cuarzo deno-

Figura 3. Componentes que acompañan a las gravas de ágatas dentro de la fracción analizada. A) Clastos de líticos compuestos principalmente por areniscas. B) Gravas de cuarzo cristalino. C) Agregados silíceos compuestos principalmente por ópalo asociado a jaspe, calcedonia y/o cuarzo. D) Gravas de cuarzo verde. E) Gravas de jaspe. F) Clastos de xilópalo.

minada crisoprasa (Klein y Hurlbut 1998). Una calcedonia de similares características se conoce con el nombre de heliotropo o, cuando posee además inclusiones de jaspe, como bloodstone (Klein y Hurlbut 1998). A diferencia de las otras tonalidades, si bien son muy poco frecuentes, en ocasiones se hallan formando agregados homogéneos que superan los 50 milímetros de diámetro mayor (Fig. 3d). Otro de los grupos minoritarios que se reconoce fácilmente son las gravas de jaspe que se identifican por su característico color rojo oscuro, su brillo mate, su fractura irregular y su elevada dureza (Fig. 3e). Como en general forma parte de los agregados silíceos antes descriptos, esta variedad solo se encuentra aislada en las gravas menores a 16 milímetros. Por último, en cantidades inferiores al 1 % en peso, se encontraron clastos de xilópalo presentes en casi todas las fracciones granulométricas (Fig. 3f).

La figura 4a resume la frecuencia relativa de cada componente para el total de las 19 estaciones. Esta composición general evidencia que los bancos de grava están compuestos por partes similares de ágata (28 %), cuarzo (25 %), líticos sedimentarios (23 %) y agregados silíceos con predominio de ópalo (21 %). Los líticos ígneos, los líticos metamórficos, el jaspe y el xilópalo son accesorios menores ya que se encuentran en cantidades inferiores al 3 % en peso. Con el fin de

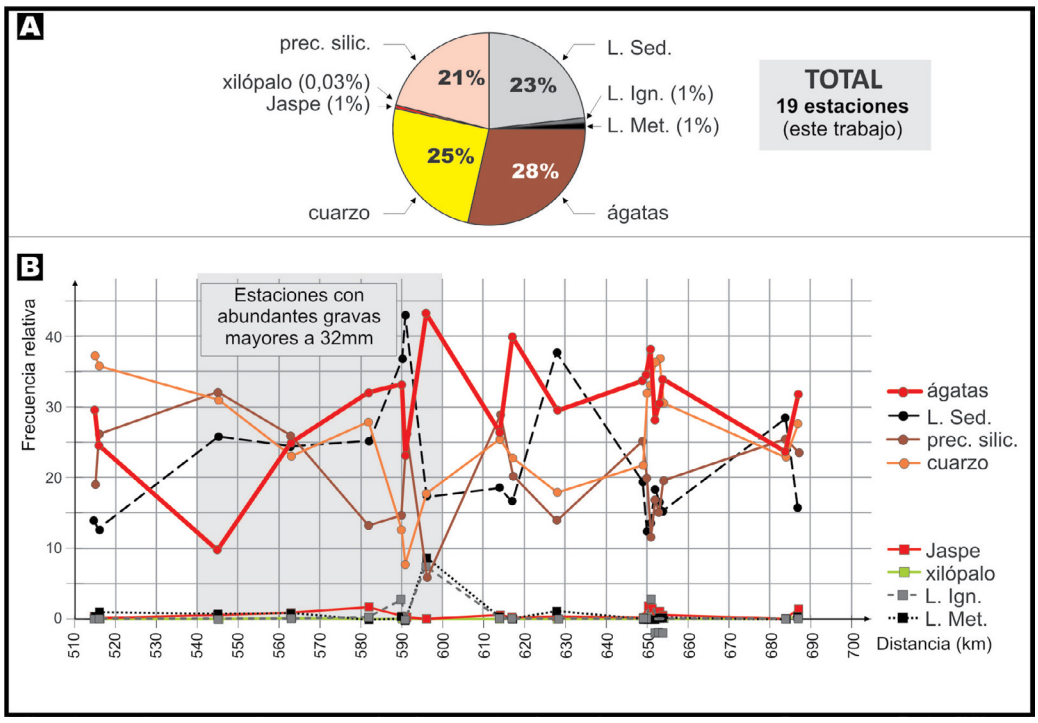

Figura 4. A) Abundancia relativa de cada componente para el total de las 19 estaciones. B) Frecuencia relativa de cada componente en función de la distancia al paralelo 26° L.S.

analizar la posible variación de estos componentes (en particular, la distribución de las ágatas) en función de la distancia al área de aporte, la figura 4b muestra la frecuencia relativa registrada en cada estación. La distribución errática de estos componentes indica que no existe correlación alguna con la distancia. Un comportamiento distinto sería extraño puesto que las propiedades reológicas son muy similares ya que en casi todos los componentes (incluso los líticos sedimentarios) están formados principalmente por minerales del grupo de la sílice. En consecuencia, el estudio composicional demuestra que todos los bancos de grava poseen aproximadamente un 20 % de clastos de ágatas y por lo tanto igual potencial económico. Apolinaire (2018) es el único antecedente que realiza un estudio similar con las fracciones mayores a 30 mm según el cual las gravas de calcedonia alcanzan una frecuencia relativa superior al 40 % entre los 630 y los 710 kilómetros desde los 26°LS.

LAS ÁGATAS Y SU POTENCIAL COMO ROCAS ORNAMENTALES

Según la Asociación Internacional de Gemología (IGS 2025) las ágatas de gran tamaño con patrones de color particularmente distintivos son las más apreciadas. Es decir, que su valor se incrementa proporcionalmente con el tamaño y la calidad de los diseños, entendiendo por esta última: patrones complejos, enteros (sin fracturas) y bien definidos (sin manchas). Sobre la base de estas premisas para evaluar el potencial de las gravas como proveedoras de ágatas para su comercialización se seleccionaron aquellos ejemplares con tamaño medio mayor a 30 mm y con diseños aptos para su lapidación. El cuadro 3 resume las principales características físicas y morfométricas de los 38 ejemplares encontrados. La forma y la esfericidad efectiva se calcularon siguiendo los criterios de Zingg (1935) y Sneed y Folk (1958).

El primer dato que se puede extraer, y quizás el más relevante, es que las 38 gravas con cualidades semipreciosas u ornamentales suman un peso total de 3,5 kg, que representa el 4,6 % del peso total de material muestreado (75,75 kg, véase Cuadro 1). Para expresar este porcentaje en unidades de masa por volumen (ley de rocas ornamentales) se utilizó un peso de 1300 kg por metro cúbico de grava, según fue determinado por Cordini (1949). Suponiendo un peso similar para toda el área resulta una ley de 60 kg/m^3. Bossi (1978) estimó un contenido de 50 kg/m^3 de ágatas para bancos equivalentes sobre la margen oriental del río Uruguay. Si bien un distinto peso por metro cúbico de grava podría explicar esta diferencia (puesto que varía sustancialmente con el grado de compactación) es improbable que el mismo difiera en un 17%. La principal razón por la cual la ley estimada por Bossi (1978) es menor radica en que el autor considera como ágatas con valor comercial a ejemplares con diámetros cercanos a los 10 cm, en contraste con los 3 cm adoptados para este trabajo. Un umbral menor de tamaño aumenta considerablemente la cantidad de ágatas/m^3 debido a que el tamaño me-

dio (Tm, Cuadro 3) de los 38 ejemplares seleccionados define una moda en el intervalo entre 34 a 38 mm.

La forma, la esfericidad y la densidad son parámetros que no influyen en el valor de la pieza, pero fueron evaluados como criterios de discriminación. Las formas varían de obladas a esféricas o proladas sin definir una marcada tendencia. Las gravas planares son muy escasas, pero siempre son generadas por el bandeamiento horizontal de calcedonia que provoca planos preferenciales de fractura. La esfericidad, contrariamente, presenta siempre valores mayores a 0,4 y define una clara moda entre 0,7 y 0,8. Valores similares fueron obtenidos por Cordini (1949) donde obtiene una esfericidad (Waddell) de 0,6 a 0,75. Por último, la densidad promedio de las ágatas seleccionadas es de 2,6 g/cm^3 (Cuadro 3). Solo Cordini (1949) publica un valor de densidad media de las gravas de la Formación Ubajay de 2,4 g/cm^3 que resulta ligeramente inferior porque incluye a los fragmentos líticos y los demás tipos litológicos. Resultados más comparables pueden encontrarse en la densidad determinada sobre nódulos de ágatas de Rio Grande do Sul (Brasilia) que podrían representar la unidad de proveniencia. Sobre ellos Flörke et al. (1982) determinaron densidades de 2,6 a 2,62 g/cm^3, mientras que Moxon (2002) determinó valores ligeramente menores 2,583 g/cm^3. Ambos valores son consistentes con la densidad promedio obtenida en este trabajo.

Superado el tamaño de las ágatas, las fracturas internas y los procesos naturales de tinción constituyen los principales defectos que reducen su potencial comercial debido a su impacto negativo en la claridad y estabilidad, así como en la percepción estética (Götze et al., 2020, IGS 2025). Algunos ejemplares poseen microfracturas radiales que interrumpen los diseños o provocan el desprendimiento de esquirlas durante el proceso de facetado (Fig. 5a). Cuando dichas fracturas además se hallan rellenas por óxidos de hierro, las superficies de pulido presentan motas y áreas difusas de tonalidades anaranjadas que opacan el diseño original (Fig. 5a). Ambos defectos deben detectarse tan temprano como sea posible para evitar lapidar piezas de escaso valor. Las ágatas que soportaron el proceso de meteorización y transporte sin sufrir deformación alguna son las “gemas” de este proyecto. Como se mencionó anteriormente, las características de las bandas de relleno son el factor intrínseco de las ágatas que determina el valor económico de las mismas. Del conjunto de propiedades físicas, la densidad de bandas por unidad de superficie, la diversidad de colores y el contraste entre estos últimos determinan el valor de cada ejemplar. Dentro de los ejemplares aptos para la talla se encontraron principalmente tres tipos de ágatas: las ágatas de bandas concéntricas, las ágatas con bandeamiento horizontal y las ágatas con agregados esferulíticos de calcedonia (comercialmente conocidas como ágata orbicular o ágatas ojos). El primer grupo, que es el más frecuente, se caracteriza en todos los casos por la alternancia de bandas concéntricas de calcedonia, con espesores inferiores a un milímetro, que en ocasiones se intercalan con bandas de cuarzo cristalino e incoloro, cuyos tamaños pueden alcanzar hasta un centímetro en su eje mayor (Fig. 5b). El volumen de este último pulso rellena por completo las cavidades de las ágatas más pequeñas, mientras que en las de mayor tamaño se evidencia alternancia de ambas variedades (Fig. 5b). La elevada densidad de bandas y el grado de llenado superior al 90% son características favorables de este grupo. El color más frecuente, y a veces el único, es el castaño oscuro formado por un agregado que puede superar los 30 milímetros de espesor, donde los dominios de calcedonia son tan similares que muchas veces solo se identifican en superficies pulidas (Fig. 5c). La precipitación de esta calcedonia oscura predominó durante las etapas iniciales, razón por la cual en ocasiones es la única presente en fragmentos con hábitos botroidales de cavidades parcialmente rellenas. Inmediatamente después comienza la alternancia de finas bandas de calcedonia incolora, blanca o gris (Fig. 5a-f). Tonalidades azules son poco frecuentes y en general discontinuas (Fig. 5d). Los colores anaranjados son siempre producto de tinción y tienden a disminuir el contraste entre las bandas.

Las ágatas de bandeamiento horizontal son las más valiosas por ser un tipo de textura poco frecuente y una impronta tan característica de esta zona de Sudamérica que le valió el nombre comercial de ágatas tipo Uruguay. No obstante, en el conjunto de muestras aquí estudiadas se encontraron principalmente como fragmentos y solo un número reducido de ágatas enteras (Fig. 5e). En todos los casos el bandeamiento está formado por la alternancia de finas bandas de calcedonia de colores similares a los antes descriptos, pero con espesores ligeramente mayores (Fig. 5e). Cabe destacar la mayor permeabilidad a la tinción natural por óxidos de hierro en estas bandas. Solo en este grupo se encontraron ejemplares donde este proceso tiñe de anaranjado la superficie de exposición enmascarando el bandeamiento y confiriéndole, a ojo desnudo, un aspecto más parecido al del ópalo que al de la calcedonia. Si bien el bandeamiento horizontal en muchos ejemplares rellena la cavidad por completo, en otros representa un precipitado previo al desarrollo de bandas concéntricas, siendo estos ejemplares los más vistosos y los de mayor valor comercial.

El tercer tipo de ágata identificado está conformado por ejemplares cuyas superficies presentan numerosos agregados esferulíticos de calcedonia, que representan el primer precipitado previo al desarrollo de las bandas concéntricas

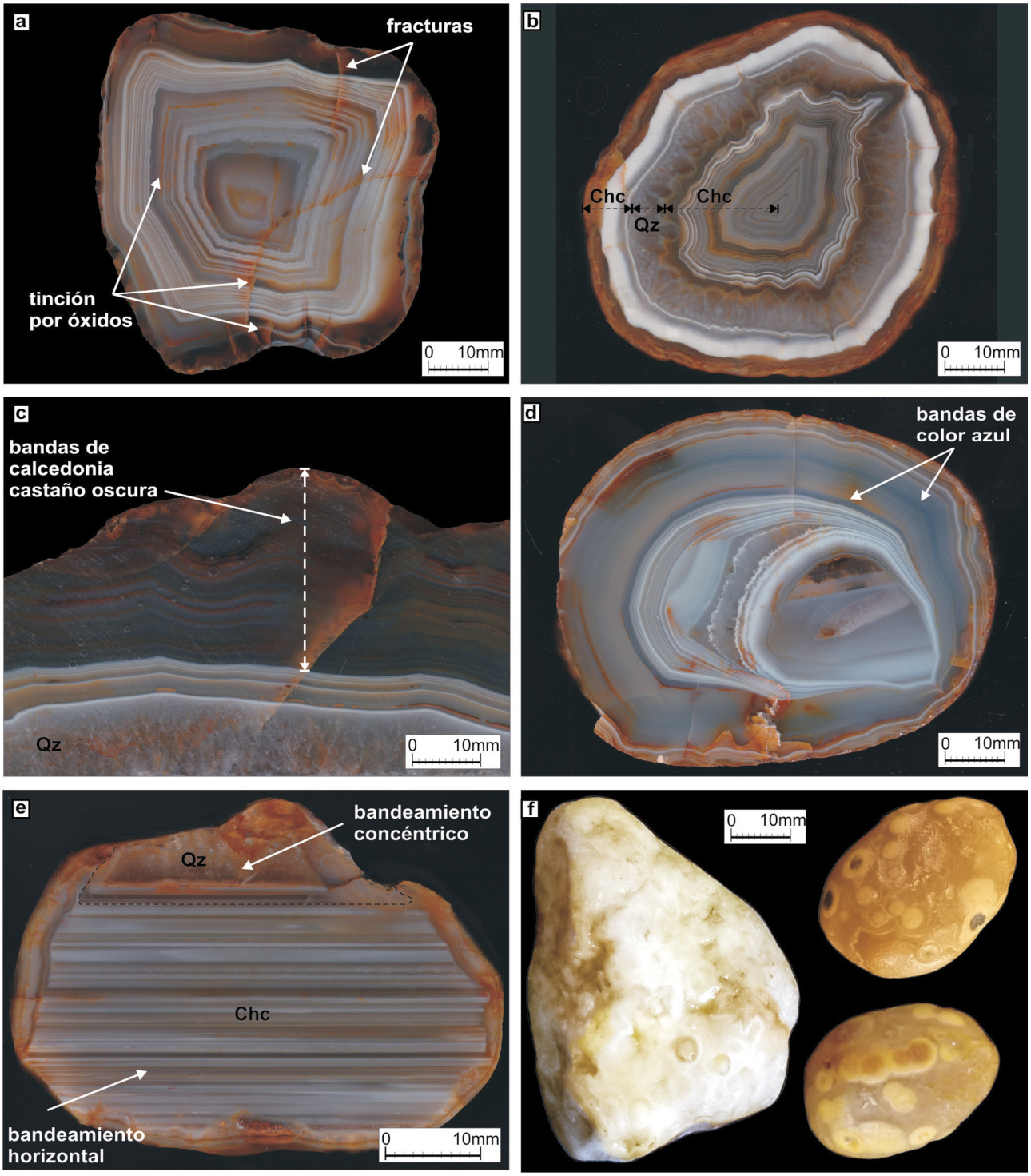

Figura 5. Fotografías de distintos tipos de ágatas: a) defectos frecuentes debidos a fracturas internas y manchas por tinción. b) típica ágata concéntrica con pulsos de calcedonia y cuarzo. c) pulsos mas frecuentes de calcedonia de color castaño oscuro formada por decenas de finas bandas oscuras apenas perceptibles. d) ágata con bandas de tonalidad azul. e) fragmento de ágata con bandeamiento horizontal y f) ágatas con texturas esferulíticas. Las abreviaturas de los distintos minerales siguen la norma internacional propuesta por Warr (2021).

(Fig. 5f). Estas ágatas son extremadamente raras puesto que este hábito se desarrolla siempre en el borde externo de la cavidad original (Pabian y Zarins 1994, Campos Venuti 2018), que pocas veces se preserva debido a la meteorización que sufrieron las gravas durante el transporte. En la mayoría de las muestras encontradas se observan agregados esferulíticos con diámetros de apenas unos pocos milímetros, aunque en raras ocasiones pueden alcanzar hasta 4 cm. Presentan colores variados entre el castaño rojizo, blanco, anaranjado, amarillo e incoloro. Estas texturas se reconocen principal-

mente en rodados que rara vez superan los 30 mm y son significativamente más escasos que los anteriormente descriptos.

Es importante destacar que este trabajo se limitó al análisis del número de piezas que fueron recolectadas en muestras de gravas, ya que el objetivo es determinar el potencial de estos bancos de conglomerados y no la caracterización exhaustiva de los tipos de ágatas que contienen. Es muy probable que la diversidad aumente significativamente en formas y diseños si la metodología de muestreo se orienta a la búsqueda de todas las variedades posibles en la zona con mayor potencial productivo.

DISCUSIONES

El estudio granulométrico de las gravas es consistente con el único antecedente similar realizado por Cordini (1949). Este autor analizó siete sitios de la margen derecha del río Uruguay, desde la localidad de Chajarí (al norte) hasta la localidad de Colón en el extremo austral. A partir de dicho trabajo regional, el autor concluye que la granulometría de las facies gravosas es "muy variable, pero predominan los elementos medianos…", entendiendo por tales a los rodados con tamaños de 5 a 25 mm. El resto de los antecedentes, si bien no presentan estudios granulométricos, coinciden al describirlos cualitativamente como: clastos de 2 a 5 cm excepcionalmente mayores (Gentili y Rimoldi 1979); facies compuestas por gravas o gránulos (Veroslawsky y Ubilla 2007) o cantos rodados finos a medianos, destacando la presencia anómala de rodados de hasta 20 cm de diámetro en la localidad de Santo Tomé, provincia de Corrientes (Iriondo y Kröhling 2008). Por otro lado, Iriondo y Kröhling (2008) y Kröhling (2009) describen que "…el tamaño de los rodados disminuye paulatinamente de norte a sur: desde grueso a fino, aumentando correlativamente la redondez". Este postulado encuentra un parcial sustento en el trabajo de Apolinaire (2018) quien obtiene una fuerte correlación negativa (rho = -0,727; $p < 0,01$) entre la distancia y el eje mayor de los rodados y otra similar entre la distancia y el volumen de las gravas (rho = -0,685; p = <0,01). Pero, dicho trabajo considera solo la población compuesta por gravas mayores de 3 cm y no la fracción completa. A este respecto, los resultados aquí obtenidos (Fig. 2b) no sustentan dicho postulado, puesto que no se obtuvo una disminución progresiva del tamaño de grano aguas abajo del río Uruguay.

En cuanto a la composición mineralógica de las gravas Cordini (1949) obtuvo números muy similares ya que concluye una composición general donde el 85,31 % lo ocupan gravas de cuarzo, ágatas, calcedonia y ópalo; un 10,72 % corresponde a líticos sedimentarios y el restante 3,97 % fragmentos de tosca y materiales calcáreos. Si bien Apolinaire (2018) estudia solo las fracciones mayores a 30 mm consigue resultados análogos con un 32,1 % de calcedonia (muy probablemente aquí estén incluidas las ágatas), 16,8 % de cuarzo, 13,6 % de líticos sedimentarios (arenisca), 12,6 % de calizas silicíficadas, 7,3 % basaltos, 6,6 % cuarcitas, 5,3 % de riolitas y un 0,5 % de xilópalo. Cabe destacar, por su valor comercial, el hallazgo de cobre nativo en un agregado silíceo estudiado por Saadi y Kuck (2010). No obstante, esta asociación no fue reconocida entre el material analizado para este trabajo, ni es mencionada en otros antecedentes, lo cual sugiere que esta mineralización metalífera representa una anomalía y por lo tanto es muy difícil de explotar en términos comerciales. Otros autores, describen composiciones similares para estos niveles de grava, pero sin cálculos de porcentajes relativos que puedan ser contrastados (Gentili y Rimoldi 1979, Iriondo 1980, Herbst et al. 1999, Iriondo y Kröhling 2008, Kröhling 2009, Silva Busso y Amato 2017). Sobre la base de estos resultados la abundancia de líticos sedimentarios y la ausencia de líticos volcánicos es, cuanto menos, llamativa ya que las ágatas se asocian siempre a los basaltos de la Formación Serra Geral (Duarte et al. 2009, Morteani et al. 2010, Moxon et al. 2013, Kigay 2019). Esta característica sugiere dos alternativas: que la roca de caja original no resistió a la meteorización o que la proveniencia es otra.

En cuanto a la prospección de las zonas más ricas en ágatas, el estudio composicional demostró que la distribución latitudinal es uniforme, por lo cual la granulometría se convierte en la variable más relevante (dado que el valor comercial de las mismas se incrementa con la superficie de pulido). A partir de los resultados obtenidos el área con ágatas de mayor tamaño se encuentra entre las localidades de Santa Ana y Concordia (véase el rectángulo azul de la Fig. 1). Fuera de este sector, las canteras de grava son menos atractivas, pero no necesariamente estériles. Muñoz et al. (2013) destacan que, desde mediados del siglo XX, la explotación de gravas fue principalmente como agregado grueso para hormigones que requiere diámetros menores a 50 milímetros. Para este propósito el material fue tamizado y todas las gravas de dimensiones mayores se concentraron en acopios de material grueso que poseen un enorme potencial para la lapidación de ágatas con valor comercial. Esto significa, que reservas considerables de ágatas también pueden encontrarse en los acopios de las canteras más productivas fuera del área preferencial. Si bien el objetivo de esta contribución no es calcular las reservas de la provincia, es importante destacar que la explotación de cantos rodados comenzó a inicios del siglo XIX como sustitutivo de piedra partida (Catalano 2004; Bertolini

Cuadro 3: Propiedades físicas y morfológicas de las gravas de ágata con valor comercial. Densidad (d), Tamaño medio (Tm).

Código (localidad_N)	Peso [g]	Volumen [cm^3]	Largo (l) [mm]	Ancho (a) [mm]	Espesor (e) [mm]	Tm [mm]	Forma=		Esfericidad = (e2/(l.a))$^{1/3}$	d [g/cm^3]
							e/a	a/l		
516_1	70,6	30	39	35	29	34	0,8	0,9	0,85	2,4
563_9	65,1	25	47	36	30	38	0,8	0,8	0,81	2,6
563_11	130,0	50	64	55	31	50	0,6	0,9	0,65	2,6
582_1	97,8	39	50	38	39	42	1,0	0,8	0,93	2,5
582_2	34,8	14	42	34	25	34	0,7	0,8	0,76	2,5
582_3	44,9	19	45	32	24	34	0,8	0,7	0,74	2,4
590_1	43,6	17	33	31	25	30	0,8	0,9	0,85	2,6
591_1	120,0	42	64	47	30	47	0,6	0,7	0,67	2,9
591_2	183,0	65	96	49	33	59	0,7	0,5	0,61	2,8
591_3	67,9	26	45	37	32	38	0,9	0,8	0,85	2,6
591_4	43,2	17	42	40	25	36	0,6	1,0	0,72	2,5
591_5	56,5	24	54	36	25	38	0,7	0,7	0,69	2,4
596_1	146,1	60	75	55	28	53	0,5	0,7	0,57	2,4
596_2	247,1	95	80	57	43	60	0,8	0,7	0,74	2,6
596_3	263,9	100	78	60	43	60	0,7	0,8	0,73	2,6
596_4	305,5	120	98	68	41	69	0,6	0,7	0,63	2,5
596_5	111,5	45	68	58	22	49	0,4	0,9	0,50	2,5
596_6	28,7	12	37	34	19	30	0,6	0,9	0,66	2,4
596_7	122,8	50	72	40	30	47	0,8	0,6	0,68	2,5
596_8	38,1	15	49	45	13	36	0,3	0,9	0,42	2,5
596_9	96,2	40	98	44	20	54	0,5	0,4	0,45	2,4
596_10	134,8	50	65	52	39	52	0,8	0,8	0,77	2,7
596_11	120,0	40	62	46	34	47	0,7	0,7	0,74	3,0
596_12	76,0	28	53	46	24	41	0,5	0,9	0,62	2,7
596_13	49,1	20	46	44	15	35	0,3	1,0	0,48	2,5
596_14	42,4	18	46	42	20	36	0,5	0,9	0,59	2,4
596_15	35,5	15	46	36	18	33	0,5	0,8	0,58	2,4
596_19	38,6	15	45	29	22	32	0,8	0,6	0,72	2,6
614_1	96,8	40	54	40	35	43	0,9	0,7	0,83	2,4
614_2	68,7	27	37	36	33	35	0,9	1,0	0,94	2,5
651_1	47,6	19	48	33	21	34	0,6	0,7	0,66	2,5
651_2	122,0	45	80	46	25	50	0,5	0,6	0,55	2,7
651_3	69,2	25	50	38	27	38	0,7	0,8	0,73	2,8
651_4	106,8	43	58	44	31	44	0,7	0,8	0,72	2,5
651_5	39,4	15	43	27	23	31	0,9	0,6	0,77	2,6
653_1	43,9	17	43	41	20	35	0,5	1,0	0,61	2,6
653_2	63,3	25	47	38	28	38	0,7	0,8	0,76	2,5
653_3	33,4	13	39	34	18	30	0,5	0,9	0,63	2,6

2004). Los datos de producción previos a 1930 se desconocen puesto que los cantos rodados se incluían dentro de la categoría “Piedras”, que admitía a otros productos con fines similares. La figura 6 muestra la producción anual que puede reconstruirse a partir de los registros de estadística minera que preserva el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) y los Anuarios Estadísticos de la Provincia de Entre Ríos (Estadística Minera de la Nación 1933, 1934, 1935, 1936, 1937, 1939a, 1939b, 1940, 1943, 1946, Estadística Minera de la República Argentina 1954, 1958, 1965a, 1965b, 1967, 1968a, 1968b, 1973, 1974, 1977a, 1977b, 1978, 1980, 1981, 1982a, 1982b, 1984, 1994, 1996, 1997, 1999, Tomas 2005, Anuario Estadístico de la Provincia de Entre Ríos 2014, 2015, 2019 y 2022). El análisis de estos datos demuestra que el máximo de producción se alcanzó entre los años 1965 y 1980, para luego decrecer hasta los mínimos actuales. Lo relevante de esta compilación es que el volumen extraído suma un mínimo de 60.581.504 toneladas, al cual le faltan los años

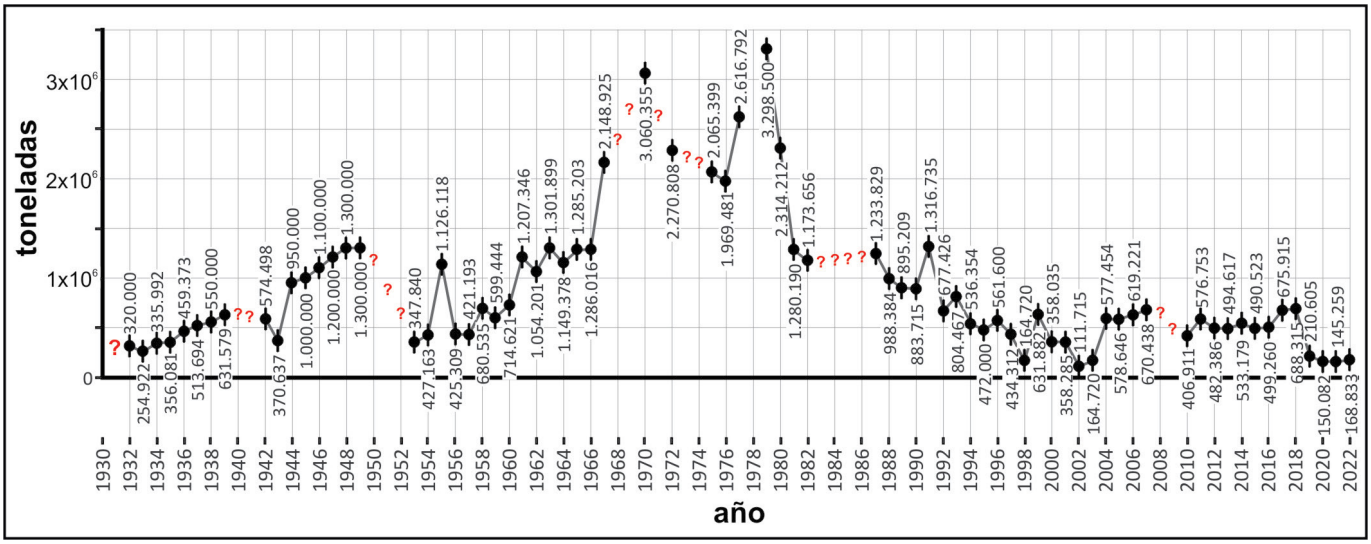

Figura 6. Producción de cantos rodados de la provincia de Entre Ríos entre los años 1932 y 2022. Referencias en orden cronológico: Estadística Minera de la Nación (1933, 1934, 1935, 1936, 1937, 1939a, 1939b, 1940, 1943, 1946), Estadística Minera de la República Argentina (1954, 1958, 1965a, 1965b, 1967, 1968a, 1968b, 1973, 1974, 1977a, 1977b, 1978, 1980, 1981, 1982a, 1982b, 1984, 1994, 1996, 1997, 1999), Tomas (2005) y Anuario Estadístico de la Provincia de Entre Ríos (2014, 2015, 2019 y 2022).

de los cuales no tenemos datos. Esta producción no solo implica la existencia de acopios proporcionales a dicho volumen si no también una infraestructura que favorece el desarrollo de cualquier emprendimiento.

Azeñolaza (2007), Muñoz et al. (2013), entre otros, han alertado sobre el desperdicio que significa no explotar estas ágatas como piedras semipreciosas. En el año 2014 la Bolsa de Comercio de Córdoba (BCDC 2014) analizó el potencial económico relacionado a la comercialización de las gravas aquí estudiadas. Si bien dicho estudio describe un escenario prometedor, la situación, diez años después, demuestra que el país aun no desarrolló una industria de piedras semipreciosas proporcional al recurso que posee. Al día de hoy la producción de estas ágatas, para fines ornamentales o para joyería, sigue realizándose en forma artesanal por pequeños productores locales, mientras la actividad minera, al igual que en el siglo pasado, no parece capitalizar este recurso. La situación es muy distinta en la República Oriental del Uruguay y Brasil quienes desarrollaron una exitosa producción de rocas ornamentales. En Uruguay la producción de ágatas comenzó en 1972 y en los primeros tres años se extrajeron 330 toneladas (Bossi 1978). Más recientemente, en el período comprendido entre 1977 y 2006, sólo en el distrito gemológico Los Catalanes se extrajeron más de 1000 toneladas por año (Techera et al. 2007a, b). A escala mucho mayor Brasil, en la región de Rio Grande do Sul, produce ágatas y amatistas desde el año 1825 y hoy es uno de los principales productores mundiales (de Brito Barreto y Bretas Bittar 2010; Epstein 1988). Ambos países explotan los yacimientos primarios que se suponen el área de proveniencia de las gravas aquí estudiadas (Aceñolaza 2007), por lo cual su producción prueba la existencia de un mercado activo para este tipo de rocas semipreciosas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten extraer las siguientes conclusiones:

1. A pesar de la amplia distribución de las Formaciones Ubajay y Salto Chico, los datos generados en este estudio coinciden con trabajos previos y pueden considerarse representativos. En concordancia con los antecedentes, no se observaron diferencias composicionales ni granulométricas significativas entre los bancos de gravas pliocenas y pleistocenas. Esta observación respalda la hipótesis que postula que la unidad más joven (Fm. Ubajay) resulta del retrabajo de la subyacente (Fm. Salto Chico) (Gentilli y Rimoldi 1979, Aceñolaza 2007, Busso y Amato 2017). A partir de este resultado, es probable que ambas formaciones presenten un potencial equivalente para la explotación de ágatas.

2. Dado que el estudio petrográfico evidencia una concentración de ágatas similar en todos los sitios, el tamaño constituye la principal variable para su prospección. En este sentido, el análisis granulométrico permite identificar como zona de mayor interés para la explotación de estas piedras semipreciosas al sector comprendido entre las localidades de Santa Ana y Concordia, por ser el área con el mayor porcentaje de gravas superiores a 32 mm (Fig. 1). Esta característica no solo incrementa la probabilidad de hallar ejemplares de

mayor valor comercial, sino que también optimiza la eficiencia del proceso extractivo al reducir el volumen de material estéril respecto al total movilizado. Para delimitar con mayor precisión los sectores de interés, se requieren estudios sedimentológicos detallados orientados a la determinación de paleocorrientes, los cuales permitirían reconstruir la tipología de barras o de cargas residuales de fondo asociadas a estos depósitos.

3. La caracterización de las ágatas demostró que los ejemplares con bandas concéntricas son los más abundantes y los que mejor preservan sus formas y diseños. Las ágatas con bandeamiento horizontal y las ágatas con hábitos esferulíticos son menos frecuentes y se hallan peor conservadas.

4. Dadas las reservas de ágatas y la baja inversión necesaria para la producción industrial de rocas ornamentales, estos niveles aún representan un potencial recurso para la provincia. El reducido mercado interno, la falta de tradición extractiva y/o la incertidumbre sobre el valor comercial son, por el momento, los principales obstáculos para su explotación.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a la Dra. Milka Kronegold de Brodtkorb quien financió gran parte de este trabajo. A la Dra. María Paula Llano le valdría poco menos que la coautoría por la ayuda y la capacitación con el procesamiento estadístico de los resultados. Al Dr. Adrián Silva Busso le debo el muestreo de tres canteras, pero sobre todo su permanente asesoramiento con la estratigrafía de la provincia. Otro especial agradecimiento le vale a la Lic. Nora Guida quien me proveyó de bibliografía invaluable y fue una entusiasta impulsora de este trabajo. La versión final es en gran parte mérito de la lectura crítica y las atinadas sugerencias que hicieron la Dra. Florencia Garguilo, el segundo árbitro anónimo y los editores de la Revista, Dr. Ricardo Astini y Dra. Laura Maydagan. A los cuatro les extiendo mi sincero agradecimiento por el tiempo, el compromiso y la honestidad intelectual con los que revisaron la versión original.

REFERENCIAS

Aceñolaza, F.G. 2004. Paleobiogeografía de la región Mesopotámica. INSUGEO. Miscelánea. 12: 25-30.

Aceñolaza, F.G. 2007. Geología y Recursos Geológicos de la Mesopotamia Argentina. Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO), Serie de Correlación Geológica. 22: 160p. Tucumán.

Anuario Estadístico de la Provincia de Entre Ríos, 2014. Dirección General de Estadística y Censos. Ministerio de Economía, Hacienda y Finanzas. Gobierno de Entre Ríos. 370p. Entre Ríos.

Anuario Estadístico de la Provincia de Entre Ríos, 2015. Dirección General de Estadística y Censos. Ministerio de Economía, Hacienda y Finanzas. Gobierno de Entre Ríos. 388p. Entre Ríos.

Anuario Estadístico de la Provincia de Entre Ríos, 2019. Dirección General de Estadística y Censos. Ministerio de Economía, Hacienda y Finanzas. Gobierno de Entre Ríos. 324p. Entre Ríos.

Anuario Estadístico de la Provincia de Entre Ríos, 2022. Dirección General de Estadística y Censos. Ministerio de Economía, Hacienda y Finanzas. Gobierno de Entre Ríos. 373p. Entre Ríos.

Apolinaire, E. 2018. Caracterización de los depósitos secundarios de rodados fluviales del río Uruguay inferior. Su aplicación en contextos arqueológicos de las llanuras interiores del nordeste argentino. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas. 13(2): 443-457.

Battaglia, A.A.C. 1964. Reconocimiento Geológico General del Río Uruguay, entre el Arroyo Mocoretá y Apóstoles (Provincia de Corrientes). Ministerio de Economía de la Nación. Secretaría de Industria y Minería. Subsecretaría de Minería. Dirección Nacional de Geología y Minería. 34p.

Bertolini, J.C. 1995. Mapa Geológico de la Provincia de Entre Ríos. Secretaría de Minería. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Buenos Aires.

Bertolini, J.C. 2004. Entre Rios. En Historia de la Minería Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 40. 2: 317-321, Buenos Aires.

Bertolini, J.C., Tomas, M.A. y Lell, R. 1988. Inventario del recurso Aguas subterráneas en la Provincia de Entre Ríos. Informe a Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología (SECyT). (inédito). 54p.

Blair, T. C. y McPherson, J. G. 1999. Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. Journal of Sedimentary Research, 69(1): 6-19.

Blott, S.J. y Pye, K. 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surf. Process. Landforms. 26: 1237-1248. https://doi.org/10.1002/esp.261

Bolsa de Comercio de Córdoba 2014. El cluster de las piedras preciosas en Entre Ríos. 18:719-723. https://bolsacba.com.ar/buscador/?p=1587

Bossi, J. 1966. Geologia del Uruguay. Publicación del Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República. Colección Ciencias. 12.

Bossi, J. 1978. Recursos minerales del Uruguay. Daniel Aljanati (ed.). 348p. Montevideo.

Campos Venuti, M. 2018. Banded Agates: a genetic approach. Accorpamente (eds.).199p. Roma.

Catalano, E. 2004. Antecedentes y Estructura Histórica de la Minería Argentina. En Historia de la Minería Argentina. Servicio Geológico Mine-

ro Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 40. Tomo 1: 326 p., Buenos Aires.

Cordini, I.R. 1949. Contribución al conocimiento de la geología económica de Entre Ríos. Ministerio de Industria y Comercio. Dirección Nacional de Minería. Anales 2. (inédito). 78p. Buenos Aires.

De Alba, E. y Serra, N. 1959. Aprovechamiento del Río Uruguay en la zona de Salto Grande. Informe sobre las condiciones y características geológicas. Ministerio de Economía de la Nación. Secretaría de Industria y Minería. Subsecretaría de Minería. Dirección Nacional de Geología y Minería. Anales 11. (inédito). 35p. Buenos Aires

de Brito Barreto, S. y Bretas Bittar, S.M. 2010. The gemstone deposits of Brazil: occurrences, production and economic impact. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 62(1): 123-140.

Duarte, L.C., Hartmann, L.A., Vasconcellos, M.A.Z., Medeiros, J.T.N., y Theye, T. 2009. Epigenetic formation of amethyst-bearing geodes from Los Catalanes gemological district, Artigas, Uruguay, southern Paraná Magmatic Province. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 184(3-4): 427-436.

Estadística Minera de la Nación 1933. Año 1932. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación 101, 35 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la Nación 1934. Año 1933. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación 107, 35 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la Nación 1935. Año 1934. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación 111, 31 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la Nación 1936. Año 1935. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación 114, 39 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la Nación 1937. Año 1936. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación 116, 70 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la Nación 1939a. Año 1937. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación 118, 77 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la Nación 1939b. Año 1938. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación 120, 56 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la Nación 1940. Año 1939. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación 122, 86 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la Nación 1943. Año 1942. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación 128, 107 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la Nación 1946. Año 1943. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Minerales Metalíferos y No Metalíferos, grupo B. Publicación 131, 156 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1954. Años 1945 -1949. Ministerio de Industria y Comercio. Dirección Nacional de Minería. Publicación 141, M.I.C. 135, 303 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1958. Años 1953-1954-1955-1956. Cifras de producción y valor, importación y exportación. Dirección Nacional de Geología y Minería. Departamento de Economía y Estadística. Publicación 150, 138 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1965a. años 1957 y 1961. Ministerio de Economía de la Nación. Secretaría de Industria y Minería. 108 p., Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1965b. Años 1962 - 1963. Ministerio de Economía de la Nación. Secretaría de Industria y Minería. 146 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1967. Año 1965. Ministerio de Economía de la Nación. Secretaría de Industria y Minería. Tomo I. 187 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1968a. Año 1966. Ministerio de Economía de la Nación. Secretaría de Industria y Minería. 251 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1968b. Año 1967. Ministerio de Economía de la Nación. Secretaría de Industria y Minería. 232 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1973. Año 1970. Ministerio de Industria y Minería. Subsecretaría de Minería. Área Economía Minera. 262 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1974. Año 1972. Ministerio de Economía. Área Economía Minera. 276 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1977a. Año 1975. Dirección Nacional de Economía Minera. 299 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1977b. Año 1976. Dirección Nacional de Economía Minera. 283 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1978. Año 1977. Dirección Nacional de Economía Minera. 291 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1980. Año 1979. Dirección Nacional de Economía Minera. 328 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1981. Producción por Sustancia Mineral y Provincia Productora, año 1980. Secretaría de Minería de la Nación. 312 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1982a. Producción por Sustancia Mineral y Provincia Productora, año 1981. Secretaría de Minería de la Nación. 301 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1982b. Producción por Sustancia Mineral y Provincia Productora, 1982. Secretaría de Minería de la Nación. 290 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1984. Producción por Sustancia Mineral y Provincia Productora, 1987 - 1993. Secretaría de Minería de la Nación. 115 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1994. Producción por Sustancia Mineral y Provincia Productora, 1993 - 1994. Secretaría de Mi-

nería de la Nación. 38 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1996. A Nivel de Provincia Productora. 1987 - 1995. Secretaría de Industria, Comercio y Minería. 37 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1997. Edición Preliminar, 1994-1996. Secretaría de Industria, Comercio y Minería. 56 p. Buenos Aires.

Estadística Minera de la República Argentina 1999. Producción por Sustancia Mineral y Provincia Productora, 1997. Secretaría de Minería de la Nación. 31 p. Buenos Aires.

Epstein, D.S. 1988. Amethyst mining in Brazil. Gems and Gemology 24(4): 214-228.

Flörke, O. W., Köhler-Herbertz, B., Langer, K., Tönges, I. 1982. Water in microcrystalline quartz of volcanic origin: agates. Contributions to Mineralogy and Petrology, 80(4): 324-333.

Gentili, C.A. y Rimoldi, H.V. 1979. Mesopotamia. Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. 2: 185-223.

Goso, H. 1965. El Cenozoico en el Uruguay. Instituto Geológico del Uruguay, 125 p., Montevideo.

Goso Aguilar, C., Perea, D. y Perinotto, J.A.J. 1999. Análisis de facies y paleogeografía de la formación Guichón (Cretácico Inferior) en la cuenca del litoral, Uruguay. Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología. 3(6): 2-15.

Götze, J., Möckel, R. y Pan, Y. 2020. Mineralogy, geochemistry and genesis of agate - A review. Minerals, 10(11): 1037

Herbst, R., Santa Cruz, J. N., Popolizio, E., Capurro, R. A. y Escobar, E. H. 1999. Mapa litoestratigráfico de la provincia de Corrientes. D'orbignyana. 2: 1-69.

IGS 2025. https://www.gemsociety.org/

Iriondo, M. 1980. El Cuaternario de Entre Ríos. Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral. 11: 125-141.

Iriondo, M. 1996. Estratigrafía del Cuaternario de la cuenca del río Uruguay. 13 Congreso Geológico Argentino y 3 Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas 4: 15-25.

Iriondo, M. y Kröhling, D. 2003. A neoformed kaolinitic mineral in the upper Pleistocene of northeastem Argentina. 2001. A Clay Odyssey, 1:109.

Iriondo, M. y Kröhling, D. 2008. Cambios ambientales en la cuenca del río Uruguay. Desde dos millones de años hasta el presente. Ediciones Universidad Nacional del Litoral, 358p. Santa Fe.

Kendall, M. 1938. A New Measure of Rank Correlation. Biometrika, 30: 81-89. https://doi.org/10.1093/biomet/30.1-2.81

Kigai, I. N. 2019. The genesis of agates and amethyst geodes. The Canadian Mineralogist, 57(6): 867-883.

Klein, C. y Hurlbut C.S. 1998. Manual de mineralogía: basado en la obra de JD Dana. Tomo II. Cuarta Edición. Reverté (ed.). 368 p. Mexico

Kröhling, D.M.I. 2009. La Formación El Palmar, una unidad fluvial asignable al subestadio cálido EIO 5a (Pleistoceno Tardío) de la cuenca del río Uruguay. Natura Neotropicalis. 40(1-2): 61-86.

Lambert, R. 1940. Memoria explicativa de un mapa geológico de reconocimiento del Departamento de Paysandú y de los alrededores de Salto. Instituto Geológico del Uruguay, Boletín 27b, 41 p., Montevideo.

Lutz, A. I. 1980. Palmoxylon concordiense n. sp. del Plioceno de la provincia de Entre Ríos, República Argentina. 2° Congreso Argentino de Paleontología y Biostratigrafía y I Congreso Latinoamericano de Paleontología. 3: 129-140.

Martin de Moussy, V. 1860. Description géographique et statistique de la Confédération Argentine. Librairie de Firmin Didot Fréres, Fils et Cia, Tome Premier, 582 p., Paris.

Masú, J.I. 2024. Geología de la cuenca del arroyo El Palmar, Provincia de Entre Ríos. Trabajo Final de Licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. (inédito).

Morteani, G., Kostitsyn, Y., Preinfalk, C.A.N.D., y Gilg, H.A. 2010. The genesis of the amethyst geodes at Artigas (Uruguay) and the paleohydrology of the Guaraní aquifer: structural, geochemical, oxygen, carbon, strontium isotope and fluid inclusion study. International Journal of Earth Sciences, 99(4): 927-947.

Moxon, T. 2002. Agate: a study of ageing. European Journal of mineralogy. 14:1109-1118.

Moxon, T., Petrone, C.M., y Reed, S.J.B. 2013. Characterization and genesis of horizontal banding in Brazilian agate: an X-ray diffraction, thermogravimetric and electron microprobe study. Mineralogical Magazine, 77(3): 227-248.

Moxon, T., y Palyanova, G. 2020. Agate genesis: A continuing enigma. Minerals, 10(11): 953. 1-26p

Muñoz, L., Calvo, F. y Pérez, H. 2013. Aprovechamiento integral de materiales en canteras de canto rodado del centro este de la Provincia de Entre Ríos. VII Congreso Uruguayo de Geología y I Simposio de Minería y Desarrollo del Cono Sur. 38-42. 13 al 15 de noviembre. Uruguay

Pabian, R.K. y Zarins, A. 1994. Banded Agates, Origins and Inclusions. University of Nebraska, Lincoln. Educational Circular, 12: 32p.

Riggi, A. 1936. Datos Geológicos sobre el Departamento Paso de los Libres (Corrientes). Physis 12: 153-160. Buenos Aires.

Rimoldi, H. 1963. Aprovechamiento del Río Uruguay en la zona de Salto Grande. Estudio geológico-geotécnico para la presa de compensación proyectada en el Paso Hervidero. 1º Jornadas Geológicas Argentinas, Anales 2: 287-310, Buenos Aires.

Saadi, J.A. y Kuck, A.M. 2010. Agate-Jasper nodule with native copper inclusions. 10 Congreso de Mineralogía y Metalogenia (MinMet). Universidad Nacional de Río Cuarto. 123-128. Córdoba.

Santa Cruz, J. N., Orfeo, O. y Gulisano, F. 2020. Geología de la provincia de Corrientes-Argentina-y cuencas geotectónicas relacionadas. Moglia Ediciones. 273p.

Silva Busso, A. y Amato, S. 2013. Posibilidades de Explotación y Demanda Hídrica sobre el Acuífero Ubajay en el Sector Oriental de la Provincia de Entre Ríos, Congreso Nacional del Agua 24 CONAGUA 2013 del 14 al 18 de Octubre del 2013, San Juan. Actas en CD.

Silva Busso, A. y Amato, S. 2017. Depósitos fluviales del Pliopleistoceno-holoceno de la Provincia de Entre Ríos y sus Implicancias Hidro-

geológicas. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 74(3): 338-356.

Silva Busso, A. y Machado, P. 2019. Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos del Parque Nacional El Palmar, Entre Ríos, Argentina. Boletín Geológico y Minero, 130 (4): 773-788.

Sneed, E.D. y Folk, R.L. 1958. Pebbles in the lower Colorado River, Texas a study in particle morphogenesis. The Journal of Geology. 66(2): 114-150.

Techera, J., Loureiro, J. y Spoturno, J. 2007a. Geología y Estratigrafía del Distrito Gemológico Los Catalanes-Artigas, Uruguay. V Congreso Uruguayo de Geología. 4-13. 10-12 de octubre. Montevideo.

Techera, J., Loureiro, J. y Spoturno, J. 2007b. Cartografía geológica y relevamiento minero en el Distrito Gemológico Los Catalanes, Artigas – Uruguay. Proyecto Agatas y Amatistas - Fase I. DINMAIGE, División Geología. 4-12.

Tomás, J.R. 2005. Actualidad Minera de la Provincia de Entre Ríos. 8 Congreso Argentino de Geología Económica. 423-427. 15-17 de noviembre, Ciudad de Buenos Aires.

Tonni, E.P. 1987. Stegomastodon platensis (Mammalia, Proboscidea, Gomphotheriidae) y la antigüedad de la Formación El Palmar en el Departamento Colon, provincia de Entre Ríos, República Argentina. Ameghiniana, 24(3-4): 323-324.

Veroslavsky, G. y Ubilla, M. 2007. A 'snapshot'of the evolution of the Uruguay River (Del Plata Basin): the Salto depositional sequence (Pleistocene, Uruguay, South America). Quaternary Science Reviews, 26(22-24): 2913-2923.

Wickham, H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4, https://ggplot2.tidyverse.org.

Warr, L. N. 2021. IMA–CNMNC approved mineral symbols. Mineralogical Magazine, 85(3): 291-320.

Zingg, T. 1935. Beitrage zur Schotteranalyse. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 15: 39-140.