



APLICACIÓN DE *SOFTWARE* DE ANÁLISIS DE IMÁGENES (SAI) EN LA CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS: ALCANCES, LIMITACIONES Y PERSPECTIVAS*

USING IMAGE ANALYSIS SOFTWARE (IAS) FOR THE TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF ARCHAEOLOGICAL CERAMICS: SCOPE, LIMITATIONS AND PERSPECTIVES

Guillermo Adrián De La Fuente^{1,2} y Sergio D. Vera¹

El *software* de análisis de imágenes (SAI) se ha empezado a utilizar en los últimos años crecientemente en arqueología. Las principales aplicaciones observadas han sido en los análisis de arte rupestre y cerámicas arqueológicas. La manipulación de las imágenes obtenidas por diferentes medios (cámaras digitales, escáners, microscopía electrónica de barrido, lupas binoculares y microscopios polarizadores) ha permitido maximizar la información contenida en cada una de ellas. En este trabajo presentamos una evaluación y testeo de la aplicación del SAI en la caracterización tecnológica de seis fragmentos de cerámicas arqueológicas pertenecientes a la Cultural Saujil del Período Agroalfarero Temprano (a.C. 200-400 d.C.) del noroeste argentino. Asimismo, se discuten críticamente los principales alcances y limitaciones de esta aproximación metodológica.

Palabras claves: tecnología cerámica, *software* de análisis de imágenes, cerámicas arqueológicas, Catamarca, noroeste argentino.

Image analysis software (IAS) has been increasingly applied in archaeology over the last years. The main observed applications have been in rock art studies and archaeological ceramic analyses. The manipulation of images obtained by different means, such as digital cameras, scanners, scanning electron microscopy, binocular and petrographic microscopes, has allowed to maximize the information contained in each of the images obtained. In this paper, we present an evaluation and testing of the application of IAS for the technological characterization of six archaeological sherds belonging to Saujil Culture from the Early Period (200 BC- AD 400) in the Northwestern region of Argentine. We also discuss the main scopes and limitations of this methodological approach.

Key words: Ceramic technology, image analysis software (IAS), archaeological ceramics, Catamarca, Northwestern Argentine region.

La aplicación de *software* de análisis de imágenes (SAI) en arqueología ha ido creciendo gradualmente en las últimas dos décadas, siendo su principal desarrollo en los estudios de arte rupestre (Bertani et al. 1997; Buchner et al. 2000; Clogg et al. 2000; Gunn et al. 2010; Harman 2008; Mark y Billo 2002; Montero Ruiz et al. 1998; Vincent et al. 1997; entre otros) y en los últimos años en cerámicas arqueológicas (Frahm et al. 2008; Livingood y Cordell 2009; Pendleton et al. 2012; Reedy 2006, 2008; Velde y Druc 1998). La disponibilidad de un

número interesante de paquetes de *software* para la manipulación, tratamiento y análisis de imágenes (Corel Graphics®, Adobe Photoshop®, Micrograph Publisher®, Image-Pro Plus®, Colormod®, Clemex Vision PE®, Matlab®, DStretch®, ImageJ®) ha requerido la adaptación de los mismos al estudio de casos arqueológicos específicos, básicamente mediante la elaboración de rutinas o macros que permiten optimizar y maximizar las funciones matemáticas accesibles en cada uno de ellos, como por ejemplo el programa DStretch® para el análisis

* Artículo seleccionado del conjunto de ponencias presentadas en el III Congreso Latinoamericano de Arqueometría, realizado en Arica, Chile 2011. Este manuscrito fue evaluado por investigadores externos y editado por Marcela Sepúlveda y Verónica Silva, en su calidad de editoras invitadas de la Revista.

¹ Laboratorio de Petrología y Conservación Cerámica, Escuela de Arqueología, Universidad Nacional de Catamarca, Belgrano N° 300, 4700-Catamarca, Argentina. gfuente2004@yahoo.com.ar; david_132_44@hotmail.com

² CONICET. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Av. Rivadavia 1917 (C1033AAJ), Buenos Aires, Argentina.

de imágenes de pictografías de arte rupestre que se presenta como un *plugin* del paquete ImageJ® (Harman 2008). Sin embargo, se han realizado escasos intentos de comparar la utilidad de diversos paquetes de *software* en aplicaciones arqueológicas específicas. Los trabajos de Reedy y Kamboj (2004a, 2004b) y Reedy y Vallamsetla (2004a, 2004b) son un avance interesante en este sentido.

El objetivo de este trabajo es presentar una evaluación de la aplicación del SAI, por medio del paquete ImageJ®, en la caracterización tecnológica submacroscópica de pastas de cerámicas arqueológicas, su potencial en la generación de diferentes tipos de imágenes procesadas, y su aplicación en la cuantificación de las inclusiones clasificadas como antiplástico (inclusiones minerales y fragmentos de roca).

Análisis de Imágenes en los Estudios Tecnológicos de Cerámicas Arqueológicas: Antecedentes de Investigación

El análisis digital de imágenes se ha propuesto en los últimos años como una alternativa eficiente para caracterizar tecnológicamente las cerámicas y como un complemento a los estudios tecnológicos tradicionales por lupa binocular y petrología cerámica (Hansen 2000; Livingood 2007; Livingood y Cordell 2009). En el caso de los estudios tecnológicos de cerámicas arqueológicas se pueden mencionar los trabajos de Frahm et al. (2008), Livingood y Cordell (2009), Reedy (2006, 2008), y de Whitbread (1991). Frahm et al. (2008) utilizó SAI (Colormod®) para correlacionar superficies transversales pulidas de cerámicas arqueológicas con mapeos elementales de Rayos X obtenidos en análisis por microsonda (EPMA) y discriminar en última instancia tipos de pastas cerámicas en muestras extensas. Por otro lado, Livingood y Cordell (2009) aplicaron SAI (Image Processing Toolkit®) en el análisis de secciones delgadas de cerámica del período Mississipi con el objetivo de evaluar la identificación y cuantificación de dos tipos diferentes de antiplástico (tiesto molido y moluscos) y efectuar una comparación con los métodos petrográficos convencionales en términos de adecuación, precisión, costos involucrados y tiempo insumido (Livingood y Cordell 2009:869-861). En términos generales, estos autores concluyen que el análisis digital de imágenes, sea de secciones cerámicas pulidas o de secciones delgadas petrográficas, debería ser un complemento a los

métodos clásicos de caracterización tecnológica (Frahm et al. 2008; Livingood y Cordell 2009). Una excelente revisión de los diferentes métodos utilizados en el análisis digital de imágenes de secciones delgadas de cerámica la podemos encontrar en Reedy (2006).

Programa de Análisis de Imágenes ImageJ®

ImageJ® es un programa de análisis y procesamiento de imágenes de dominio público desarrollado por Wayne Rasband del National Institutes of Health¹. El SAI ImageJ® puede visualizar, editar, analizar, procesar, guardar e imprimir imágenes en 8-bit, 16-bit y 32-bit; adicionalmente puede leer múltiples formatos de imágenes incluyendo TIFF, GIF, JPEG, BMP, etc. Soporta el despliegue de varias imágenes con diferentes tipos de procesamientos en una ventana única, por lo que el operador puede ver la evolución de la imagen original hasta su ulterior procesamiento. El SAI ImageJ® puede calcular áreas y realizar estadísticas de los valores de los píxeles analizados, medir distancias y ángulos, crear histogramas de densidad y ploteos de perfiles de línea. Las funciones de procesamiento estándar de las imágenes son: manipulación del contraste, brillo e intensidad, suavizado, adición o extracción de ruido, umbralización, detección de bordes y la aplicación de diferentes tipos de filtros.

El programa presenta un Menú (Archivo, Edición, Imagen, Procesamiento, Análisis, *Plugins*, Ventanas y Ayuda) que permite al usuario la apertura de una imagen, su posterior manipulación por medio del menú Imagen (Figura 1), el procesamiento de la misma en función de las opciones presentes en el menú Procesamiento (Figura 2) y luego la aplicación de diferentes tipos de rutina de medición en el menú Análisis (p.ej., el análisis de partículas) (Figura 3) (Ferreira y Rasband 2012).

Materiales y Métodos

La muestra analizada y testeada por SAI se conformó por seis fragmentos de cerámica Saujil (LF084, LF122, LF130, LF138, LF146 y LF153), período Agroalfarero Temprano (a.C. 200-400 d.C.), procedentes del sitio La Florida, Dpto. de Tinogasta, Catamarca, noroeste argentino (González y Sempé 1975; Sempé 1976, 1977), los que fueron seleccionados de una muestra más amplia de 145

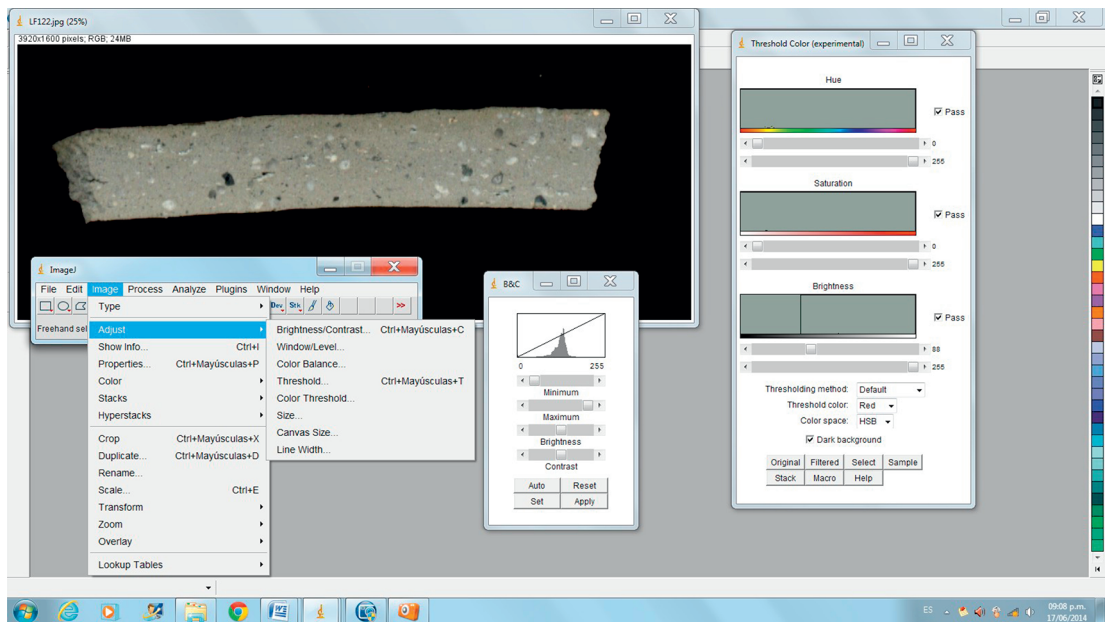


Figura 1. Apertura de imagen con el programa ImageJ® y calibración con el menú Imagen.
Image aperture with ImageJ® software and calibration with the Image menu.

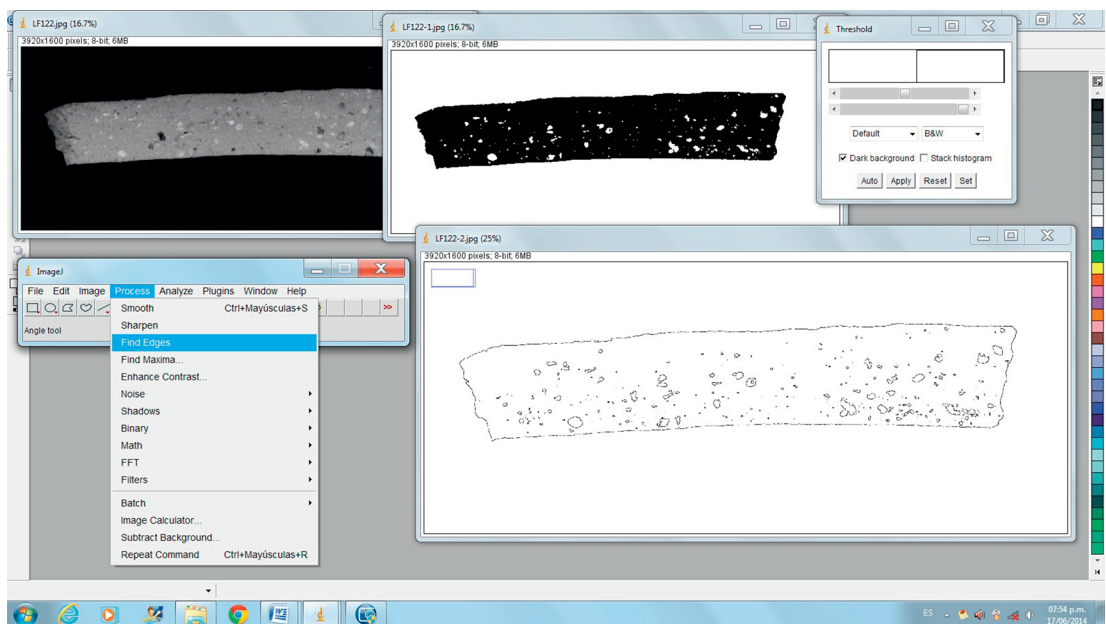


Figura 2. Transformación de la imagen en 8-bit, proceso de umbralización y detección de bordes con el programa ImageJ®.
Transformation into 8-bit image, thresholding process, and edge displayed with ImageJ® software.

fragmentos previamente analizados por lupa binocular (20X y 40X) y petrografía cerámica (40X-100X) (De La Fuente et al. 2014). Los fragmentos fueron cortados con una sierra circular (Downen Piaggio AB 150 SP, con un disco de diamante de 100 mm)

y luego fueron pulidos con esmeriles en polvo de carburo de silicio de granulometrías de 80, 180, 220, 3f y 600, lo que permitió obtener secciones transversales pulidas a los efectos de ser escaneadas (cf. Frahm et al. 2008:9 para otra metodología)².

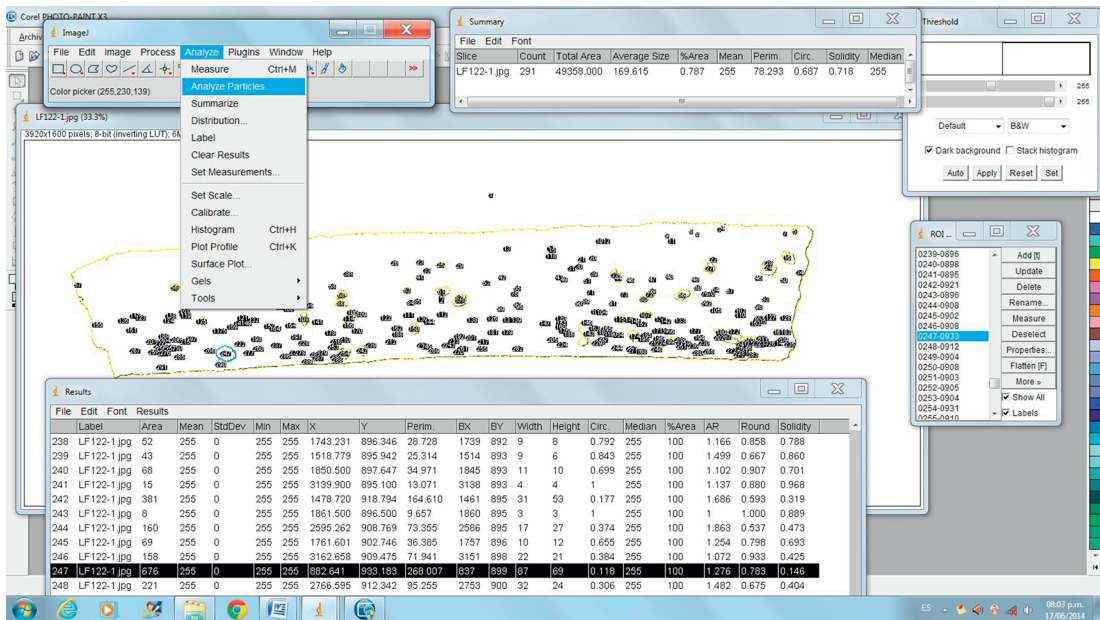


Figura 3. Análisis de la imagen. Aplicación del análisis de partículas a la imagen y obtención de resultados en formato de tabla. *Image analysis. Application of particle analysis routine to the image, and results obtention in table format.*

Las secciones se escanearon con un escáner Epson Perfection V-330 Photo a 4.800 y 9.600 ppp (puntos por pulgada) (Figura 4). Las imágenes obtenidas fueron procesadas utilizando el *software* de análisis de imágenes ImageJ® 1.44p (Java 1.6.0_20 (32-bit)). La elección del *software* de análisis de imágenes ImageJ® responde básicamente a que el mismo es de uso libre y de dominio público, contando actualmente con más de 200 macros desarrolladas por los usuarios y una vasta literatura sobre su uso y potencial que es difícil encontrar para los otros SAI. Una introducción excelente, comprensiva y no técnica al SAI ImageJ® puede encontrarse en Ferreira y Rasband (2012).

Resultados

La aplicación del SAI ImageJ® permitió obtener rápidamente diferentes mapeos visuales de la imagen original, en los que previa edición de la misma, se pueden discriminar las inclusiones de antiplástico, cavidades o poros, microfracturas y el resto de la matriz cerámica (Figuras 5a-d y 6a-d). Los mapeos visuales son obtenidos con el proceso denominado umbralización (*thresholding*) realizados sobre una imagen B&N 8-bit (Figura 2). Los resultados obtenidos por lupa binocular y petrografía cerámica

indican que la cerámica Saujil está caracterizada por presentar inclusiones de minerales félsicos en granulometrías muy finas a finas en la escala Wentworth (Folk 1965; Orton et al. 1993; Rice 1987:38), primando el cuarzo cristalino, moscovita, biotita, inclusiones de calcita y fragmentos de roca ígnea (granitos); en menor porcentaje se registró la presencia de minerales secundarios como anfíbol (hornblenda) y piroxenos (De La Fuente et al. 2014). La Figura 5d ilustra el mapa final de las inclusiones minerales o antiplásticos identificados para esta sección: (1) cuarzo (color gris), (2) feldespatos plagioclasas (color rojo), (3) matriz (color verde musgo) y (4) poros (color blanco). El SAI permite realizar una cuantificación total o parcial de las inclusiones detectadas y previamente identificadas por lupa binocular y petrografía cerámica. El programa detecta todas las partículas, las numera y luego las mide pudiendo el operador seleccionar qué tipo de variable desea cuantificar (Figuras 3 y 7). Entre las variables más significativas a nivel arqueológico están: (1) la fracción de área cubierta por las partículas dentro de la pasta, (2) los descriptores de forma: redondez y circularidad, (3) perímetro de cada partícula, y (4) el tamaño, expresado en área, de cada partícula individual. La variable circularidad se refiere a la forma de la partícula medida y oscila

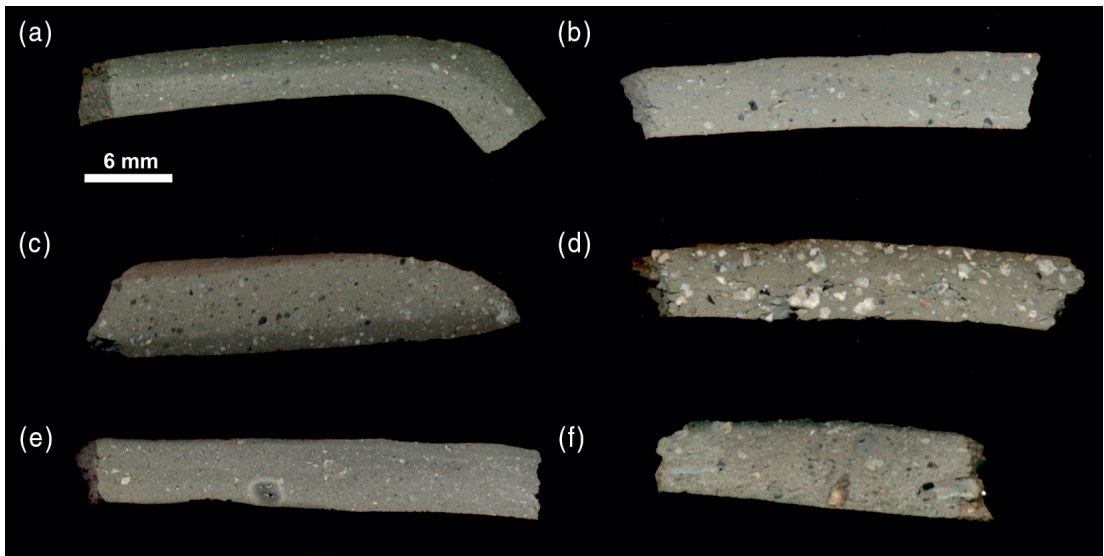


Figura 4. Cortes transversales de los fragmentos cerámicos pulidos y escaneados a 4.800 ppp: (a) LF084, (b) LF122, (c) LF130, (d) LF138, (e) LF146 y (f) LF 153.

Polished ceramic cross-sections scanned at 4,800 dpi: (a) LF084, (b) LF122, (c) LF130, (d) LF138, (e) LF146 y (f) LF153.

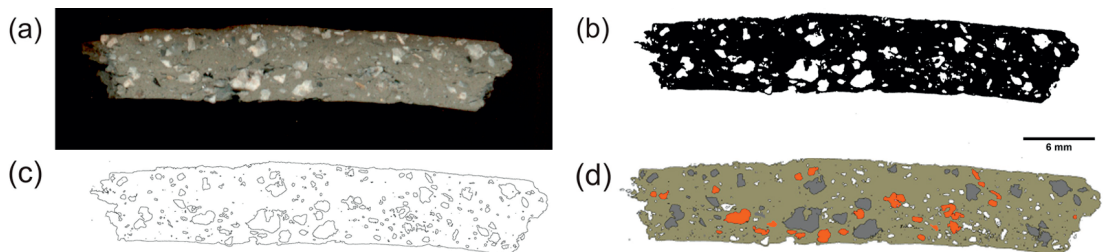


Figura 5. Mapeos digitales obtenidos con el programa ImageJ® del fragmento cerámico LF138: (a) imagen digitalizada con el escáner, (b) umbralización, (c) detección de bordes y (d) selección de diferentes inclusiones minerales.

Digital mapping of LF138 ceramic sherd obtained by applying ImageJ® software: (a) digital image from scanner, (b) thresholding, (c) edges detection, and (d) mineral inclusions selection process.

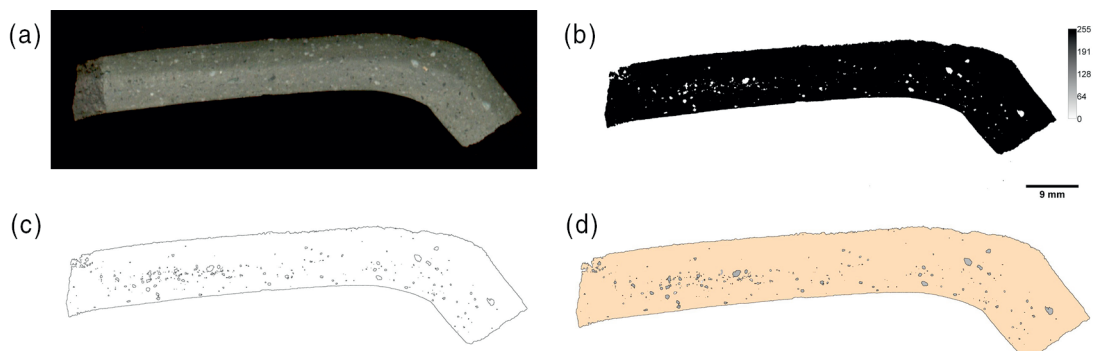


Figura 6. Mapeos digitales obtenidos con el programa ImageJ® del fragmento cerámico LF084: (a) imagen digitalizada con el escáner, (b) umbralización, (c) detección de bordes, (d) selección de diferentes inclusiones minerales.

Digital mapping obtained by applying ImageJ® software for LF084 ceramic sherd: (a) digital image from scanner, (b) thresholding, (c) edges detection, and (d) mineral inclusions selection process.

entre los valores 1 (círculo perfecto) y 0 (forma elongada), mientras que la redondez o esfericidad (valores entre 0 y 1) es un índice obtenido entre el área y el eje longitudinal mayor de la partícula y da cuenta básicamente de la forma de las aristas de la partícula medida (Ferreira y Rasband 2012:137).

La Tabla 1 presenta los datos completos de las inclusiones minerales, fragmentos de roca, cavidades y porcentajes de matriz obtenidas luego de aplicar la rutina de Análisis de Partículas del SAI para cada uno de los fragmentos analizados. Para el fragmento LF138 (LF138, 8-bit B&N, 43,20 mm x 15,20 mm, 100 pixeles por mm, con un tamaño de pixel de 0,01x0,01 mm, rango de display 0-255) se cuantificaron 355 partículas, incluyendo inclusiones minerales, fragmentos de roca y cavidades (Tabla 1). Una selección de estas partículas y su posterior cuantificación se presentan en la Figura 7. Asimismo, se presentan las medias para cada una de estas variables en el análisis total del fragmento. De la tabla parcial presentada en la Figura 7 se puede observar que las partículas 161, 235 y 50 son las que presentan mayor tamaño; en la columna de área se puede observar que la partícula 161 presenta 0,295 mm², la 235 presenta 0,163 mm² y la partícula 50 posee un tamaño de 0,156 mm². La única partícula que entra en la categoría fina es la 161 y el resto pertenecen a la categoría muy fina en la escala Wentworth. Para la variable redondez se puede observar que la partícula de feldespato número 40 es la que más redondez presenta con un valor de 0,921, seguidas por las partículas 277, 201 y 131, cuyos valores respectivos son 0,850, 0,777 y 0,765. Como se observa a partir de la Tabla en la Figura 7 y de la Tabla 2 se puede realizar una cuantificación por tamaño, redondez, perímetro y circularidad sobre todas las partículas,

o una selección de las mismas, que el programa automáticamente detecta y mide. El SAI realizó los conteos automáticos de partículas para todos los fragmentos analizados incluyendo inclusiones minerales, fragmentos de roca, cavidades o poros y microfracturas (Tabla 2). Se puede observar el área que ocupa la fracción de antiplástico + poros *versus* la matriz, las medias de los tamaños en mm² para todas las partículas, el perímetro promedio y la media para la variable circularidad (Tabla 2). Adicionalmente el SAI permite a partir del manejo del ROI (región de interés) seleccionar las partículas específicas que deseamos medir y generar un mapeo visual de las inclusiones minerales, fragmentos de roca y cavidades que sean de interés para el usuario (Figuras 3 y 7).

Discusión y Conclusiones

En términos generales, el análisis digital de imágenes involucra al menos una serie de pasos: (1) un conocimiento de cómo están compuestas las imágenes, (2) el origen y los medios por los que se adquiere una imagen, (3) la manipulación de la imagen, y (4) el conocimiento de la información que puede brindar una imagen digital (Reedy y Kamboj 2004a, 2004b; Reedy y Vallamsetla 2004a, 2004b). La utilización del SAI ImageJ® permite obtener con gran rapidez diferentes tipos de mapeos de las imágenes capturadas mediante un escáner o de una cámara digital. El SAI utilizado permite al usuario, previa edición de la imagen con el uso del ROI, realizar cuantificaciones tanto de las partículas de antiplástico (inclusiones minerales y fragmentos de roca) como de las cavidades o poros que conforman la pasta cerámica junto con la matriz. Estas cuantificaciones pueden ser

Tabla 1. Conteos totales para cada uno de los fragmentos analizados: (a) inclusiones minerales, fragmentos de roca y cavidades (conteos de partículas) y (b) matriz (expresada en %).
Total countings for each of the sherds analysed: (a) mineral inclusions, rock fragments, and voids (particle count), and (b) matrix (expressed in %).

Fragmento	Conteo total	Cavidades	Matriz	Cuarzo	Feldespato plagioclasa	Muscovita	Biotita	Fragmentos de roca	Anfibol	Piroxeno	Calcita
LF084	254	136	82,19%	78	21	6	3	5	2	1	2
LF122	292	174	81,11%	59	24		7	16	3		9
LF130	327	184	79,79%	67	32	7	3	24	4	2	4
LF138	355	246	84,94%	58	22		6	13	2		8
LF146	831	335	78,51%	324	81	19	15	32	10	2	13
LF153	386	294	82,19%	44	16	3	7	12	2	3	5

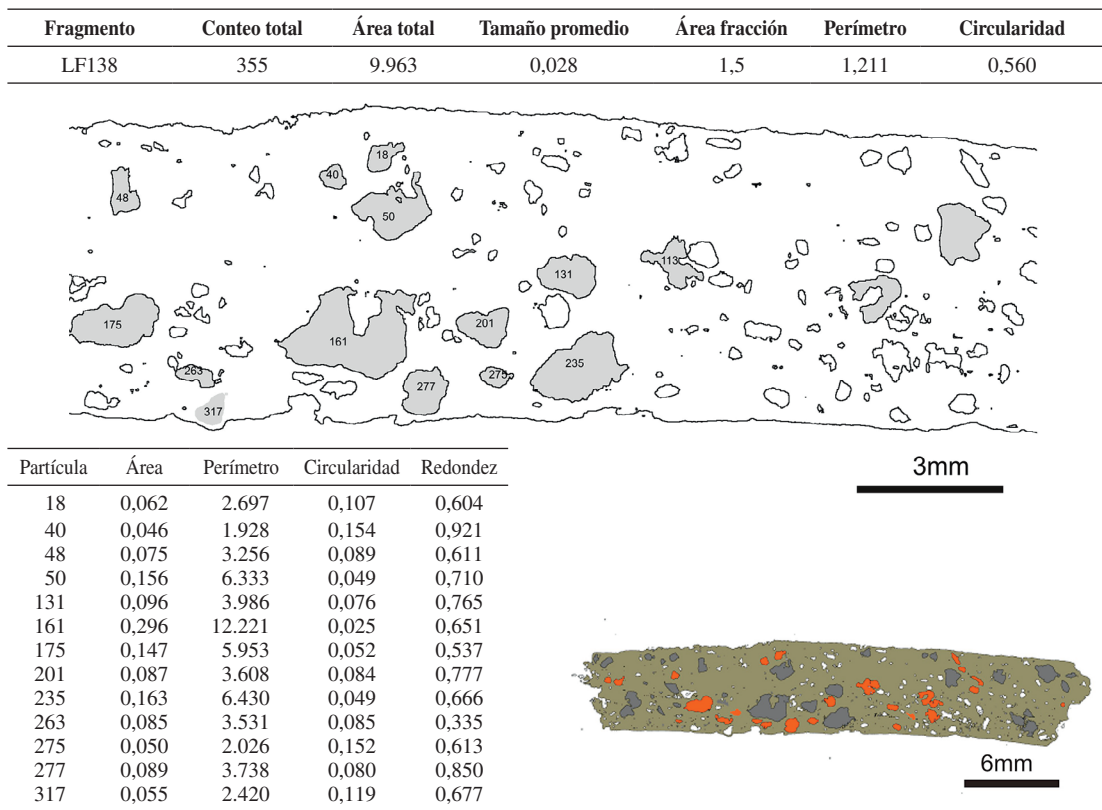


Figura 7. Cuantificación automática de las partículas seleccionadas (cuarzo cristalino) en el fragmento LF138. Se observa un extracto de los valores obtenidos en 13 inclusiones seleccionadas para las variables área, perímetro, circularidad y redondez. *Automatic quantification for selected particles (crystalline quartz) in LF138 ceramic sherd. It is observed an extract of the values obtained for 13 selected mineral inclusions for variables like area, perimeter, circularity and roundness.*

Tabla 2. Área total, tamaño promedio, fracción de área, perímetro y circularidad (mm). *Total area, mean size, area fraction, perimeter, and circularity (mm).*

Fragmento	Conteo total	Área total	Tamaño promedio	Área fracción	Perímetro	Circularidad
LF084	254	3,156	0,034	0,562	0,643	0,582
LF122	292	4,179	0,014	0,789	0,719	0,687
LF130	327	4,745	0,015	0,963	0,684	0,676
LF138	355	9,963	0,028	1,512	1,211	0,56
LF146	831	7,690	0,009	1,652	0,508	0,726
LF153	386	7,260	0,019	1,293	0,774	0,667

expresadas en diferentes medidas (micrones, milímetros, o aun en pixeles) y el programa le ofrece al usuario los resultados numéricos en tablas que fácilmente pueden convertirse en formato Excel para trabajarlas posteriormente a nivel estadístico. La principal ventaja del análisis digital sobre el análisis por lupa binocular es que la información puede

expresarse rápidamente a nivel visual y numérico por la elaboración de mapeos de las imágenes. Otra ventaja observada es que el usuario puede crear sus propias macros para rutinar los análisis, con ello se optimiza el tiempo de procesamiento de las imágenes. Entre las principales desventajas observadas se destaca que el SAI ImageJ® cuando

se trabaja con imágenes 8-bit B&N cuantifica todas las partículas detectadas sin discriminar entre las inclusiones minerales, los fragmentos de roca y las cavidades. Este es un proceso que debe realizar el usuario con la edición de la imagen en función de los datos obtenidos previamente por lupa binocular y petrografía, para posteriormente proceder a su cuantificación y medición. Sin embargo, el SAI ImageJ® presenta una opción para umbralizar las imágenes en modo RGB, lo que permitiría en el curso de la generación de una macro la asignación de coordenadas a un color específico para cada una de las inclusiones minerales, fragmentos de roca y cavidades (cf. Reedy y Vallamsetla 2004b). Es interesante observar que el análisis digital no reemplaza la lupa binocular ni mucho menos el análisis petrográfico de secciones delgadas de cerámica, sino que lo complementa para cierto tipo de análisis o rasgos que deseen mostrarse³.

El proceso de cuantificación extensivo de las partículas seleccionadas (p.ej., antiplástico) y la generación de diferentes tipos de mapeos de las imágenes obtenidas es la ventaja más clara sobre la lupa binocular.

Agradecimientos: Una versión preliminar de este trabajo fue presentado en formato de póster en el III Congreso Latinoamericano de Arqueometría, realizado durante los días 14-18 de noviembre de 2011, en la ciudad de Arica, Chile. Durante su presentación se recibieron comentarios de otros colegas que beneficiaron la calidad del mismo. Los comentarios críticos de tres revisores anónimos ayudaron a mejorar sustancialmente las versiones anteriores del mismo. CONICET y la Escuela de Arqueología, Universidad Nacional de Catamarca, posibilitaron los recursos financieros para poder desarrollar este trabajo.

Referencias Citadas

- Bertani, D., A. Capanni, M. Cetica, L. Pezzati y C. Pagliara 1997. Digitised recording of petroglyphs in Poesia cave, Italy. *Rock Art Research* 14:137-142.
- Buchner, A.P., S. Hathout y B. Russell 2000. Digital enhancement of prehistoric rock painting from Hazlet, Saskatchewan. En *1999 International Rock Art Congress Proceedings*, vol. 1, editado por P. Whitehead y L. Loendorf, pp. 19-24. American Rock Art Research Association, Tucson, Arizona.
- Clogg, P., M. Díaz-Andreu y B. Larkman 2000. Digital image processing and the recording of rock art. *Journal of Archaeological Science* 27:837-843.
- De La Fuente, G.A., S.D. Vera, K.L. Rasmussen y M.C. Sempé 2014. Producción de alfarería y elecciones tecnológicas durante el período agroalfarero temprano (ca. 200 a. C. - 600 d. C.) en el sector meridional del valle de Abaucán: la cerámica gris Saujil del sitio La Florida. *Materialidades. Perspectivas Actuales en Cultura Material*, manuscrito en poder del autor.
- Ferreira, T. y W. Rasband 2012. *ImageJ User Guide. IJ1 46r*. (20 mayo 2013) <http://imagej.nih.gov/ij/docs/guide>.
- Folk, R.L. 1965. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill's, Austin.
- Frahm, E., M. Nikolaidou y M. Kelly-Bucellati 2008. Using image analysis software to correlate sherd scans in the field and x-ray element maps in the laboratory. *Bulletin of the Society for Archaeological Sciences* 31:8-12.
- González, A.R. y M.C. Sempé de Gómez Llanes 1975. Prospección arqueológica en el valle de Abaucán. *Revista del Instituto de Antropología* (3ra. Serie), II:49-129.
- Gunn, R.G., C.L. Ogleby, D. Lee y R.L. Whear 2010. A method to visually rationalize superimposed pigment motifs. *Rock Art Research* 27:131-136.
- Harman, J., 2008. Using decorrelation stretch to enhance rock art images, [online], <http://www.dstretch.com/AlgorithmDescription.html> (6 de Febrero de 2013).
- Livingood, P.C. 2007. Plaquemine recipes: using computer-assisted petrographic analysis to investigate Plaquemine ceramic recipes. En *Plaquemine Archaeology*, edited por M. Rees y P. Livingood, pp. 108-126. University of Alabama Press, Tuscaloosa, Alabama.
- Livingood, P.C. y A.S. Cordell 2009. Point/counter point: the accuracy and feasibility of digital image techniques in the analysis of ceramic thin-sections. *Journal of Archaeological Science* 36:867-872.
- Mark, R. y E. Billo 2002. Application of digital image enhancement in rock art recording. En *American Indian Rock Art* Vol 28, editado por A. Woody, pp. 121-28. American Rock Art Research Association, Tucson, Arizona.
- Montero Ruiz, I., A.L. Rodríguez Alcalde, J.M. Vicent García y M. Cruz Berrocal 1998. Técnicas digitales para la elaboración de calcos de arte rupestre (Digital image processing applied to rock art recording). *Trabajos de Prehistoria* 55:155-169.
- Orton, C., P. Tyers y A. Vince 1993. *Pottery in Archaeology*. Cambridge Manuals in Archaeology, Cambridge.
- Pendleton, M., E.A. Ellis, B.B. Pendleton y D.K. Washburn 2012. Archaeological pottery SEM-EDS analysis. *Imaging and Microscopy* 4:1-6.
- Sempé de Gómez Llanes, M.C. 1976. *Contribución a la Arqueología del Valle de Abaucán*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, La Plata.
- Sempé de Gómez Llanes, M.C. 1977. Caracterización de la cultura Saujil. *Obra del Centenario del Museo de La Plata* 2:211-235. La Plata.

- Reedy, Ch.L. 2006. Review of digital image analysis of petrographic thin-sections in conservation research. *Journal of the American Institute for Conservation* 45:127-146.
- Reedy, Ch.L. 2008. *Thin-Section Petrography of Stone and Ceramic Cultural Materials*. Archetype Publications, London.
- Reedy, Ch.L. y S. Kamboj 2004a. Image Analysis Protocol Instructions #1: Spatial Calibration of Images. Report Submitted to National Center for Preservation Technology and Training, Materials Research Program, Natchitoches, LA. (22 septiembre 2008) <http://ncptt.nps.gov/digital-image-analysis-of-petrographic-thin-sections-in-conservation-research-2004-01/> (10 agosto 2012)
- Reedy, Ch.L. y S. Kamboj 2004b. Image Analysis Protocol Instructions #3: Measuring the Thickness of Layers. Report Submitted to National Center for Preservation Technology and Training, Materials Research Program, Natchitoches, LA. (22 septiembre 2008) <http://ncptt.nps.gov/digital-image-analysis-of-petrographic-thin-sections-in-conservation-research-2004-01/> (10 agosto 2012)
- Reedy, Ch.L. y S. Vallamsetla 2004a. Image Analysis Protocol Instructions #2: Measuring Microcracks in Quartz Grains. Report Submitted to National Center for Preservation Technology and Training, Materials Research Program, Natchitoches, LA. (22 septiembre 2008) <http://ncptt.nps.gov/digital-image-analysis-of-petrographic-thin-sections-in-conservation-research-2004-01/> (10 agosto 2012)
- Reedy, Ch.L. y S. Vallamsetla 2004b. Image Analysis Protocol Instructions #4: Measuring the Area Percent, Size and Shape of Phases in a Ceramic Thin Section. Report Submitted to National Center for Preservation Technology and Training, Materials Research Program, Natchitoches, LA. (22 septiembre 2008) <http://ncptt.nps.gov/digital-image-analysis-of-petrographic-thin-sections-in-conservation-research-2004-01/> (10 agosto 2012)
- Rice, P.M. 1987. *Pottery Analysis: a Sourcebook*. The University of Chicago Press, University of Chicago, Chicago.
- Velde, B. e I.C. Druc 1998. *Archaeological Ceramic Materials*. Springer-Verlag, Berlin.
- Vicent, J.M., I. Montero y A.L. Rodríguez Alcalde 1997. Digital image processing and prehistoric art. The digitalizing of the rockart archives of the Departamento de Prehistoria (Centro de Estudios Históricos, CSIC). *Tracce On line Rock Rock art Bulletin* 8: <http://www.geocities.com/AThens/3857/levant.html> (14 de diciembre de 2012)
- Whitbread, I.K. 1991. Image and data processing in ceramic petrology. En *Recent Developments in Ceramic Petrology*, editado por A. Middleton I. Freestone, pp. 369-386. London. British Museum Occasional Paper N° 81.

Notas

- ¹ Accesible en <http://imagej.nih.gov/ij> (Ferreira y Rasband 2012). El programa puede ser instalado como un *plugin* de otros programas o directamente como una aplicación independiente en un computador personal.
- ² La metodología desarrollada por Frahm et al. (2008) difiere parcialmente con aquella escogida en este trabajo y consiste en seccionar los fragmentos cerámicos con una sierra y pulir las secciones transversales de los mismos con papeles de lija de carburo de silicio de granulometrías 80, 150 y 220 para eliminar las marcas de la sierra (Frahm et al. 2008:9).
- ³ Es importante destacar que la identificación submacroscópica de inclusiones minerales por lupa binocular (20X-40X) posee ciertas limitantes. En mi experiencia, luego de haber examinado más de 10.000 fragmentos de cerámica en corte fresco, el uso de lupa binocular se restringe a la identificación de los siguientes minerales: cuarzo cristalino, moscovita, biotita, inclusiones de carbonatos de calcio (previo test con ácido clorhídrico), inclusiones arcillosas, inclusiones orgánicas, moluscos y fragmentos de roca a nivel genérico (cuando pueden reconocerse la presencia de más de un mineral en la inclusión). En algunos casos se puede identificar el feldespato potásico cuando las inclusiones son mayores a 1 mm y presentan clivaje claramente distinguible con luz incidente.

