



EVALUACIÓN DE LA METEORIZACIÓN DE LOS ALEROS RICCI-QUITILIPÍ (CERRO COLORADO-CÓRDOBA, ARGENTINA). DIAGNÓSTICO PARA LA GESTIÓN PATRIMONIAL

WEATHERING EVALUATION OF THE RICCI-QUITILIPÍ ROCKSHELTERS (CERRO COLORADO-CÓRDOBA-ARGENTINA). DIAGNOSIS FOR HERITAGE MANAGEMENT

María Marta Sampietro-Vattuone¹, José Luis Peña-Monné², Rosario García Giménez³, Walter Ariel Bález⁴, Luis E. Tissera⁵, Susana Y. Martínez Stagnaro⁶, Franco Matías Stábile⁷ y Walter Calzato⁸

El conocimiento de la litología de los soportes utilizados en tiempos prehistóricos para la realización de arte rupestre es importante para prever las consecuencias de los procesos de alteración que afectan a la roca y al patrimonio. Por otra parte, permite plantear metodologías de conservación adecuadas, tanto para preservar estas representaciones de los agentes naturales como de la presión humana. El objetivo de este trabajo es evaluar el grado en que los procesos de alteración afectan a las pinturas de los aleros Ricci-Quitilipi (Cerro Colorado, Córdoba, Argentina). Metodológicamente se optó por la aplicación de técnicas no invasivas mediante el levantamiento fotográfico sistemático para obtener modelos 3D que permitan reconstruir la microtopografía del soporte. Esto llevó a la creación de modelos de alteración mediante el diagnóstico de los procesos degradativos que presentan soporte y diseños según el caso. Entre los procesos más destacados se identificaron desplazaciones, descamación, disgregación, crecimiento de estructuras botroidales, veladura de polvo y carbonatos. El estado actual de los frentes de alteración hace indispensable el seguimiento temporal de los mismos, a la vez que permite identificar los procesos activos más importantes y reconocer las zonas de actuación urgente para la protección patrimonial. Se sugiere como medida de mitigación desviar la escorrentía que afecta de manera directa a las representaciones rupestres y/o el interior de los tafonis, eliminar los sedimentos y carbonatos adheridos sobre las pinturas, minimizar la llegada de sol directo sin afectar la circulación de aire.

Palabras claves: geoarqueología, arte rupestre, tafoni, degradación.

Knowledge about the lithology of rock art mediums is important to establish the consequences of weathering processes affecting the rock and its heritage. Besides, it allows us to determine the best methods for preserving rock art from natural and human impacts. The objective of this paper is to assess the degree to which degradative processes have affected the paintings of Ricci-Quitilipi rockshelters (Cerro Colorado, Córdoba, Argentina). Methodologically, we chose a non-invasive approach by making a systematic record of all the shelters followed by 3D models to reconstruct their microtopography. Weathering models were then drawn by characterizing and assessing the degradative processes. The most outstanding of these are flaking, spalling, disaggregation, botryoidal growths, dust, and carbonate veils. At present, alteration fronts show the importance of making a temporal analysis to determine the areas requiring urgent action to ensure their preservation. We suggest diverting the runoff affecting paintings and shelters, removing dust and carbonate veils that partially cover the rock art, and minimizing the irradiation of direct sunlight without affecting air circulation.

Key words: Geoarchaeology, rock art, tafoni, degradation.

¹ Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, CONICET. San Miguel de Tucumán, Argentina. sampietro@tucbbs.com.ar

² Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España. jlpena@unizar.es

³ Departamento de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, Ciudad Universitaria de Cantoblanco, Madrid, España. rosario.garcia@uam.es

⁴ Instituto de Bio y Geociencias del NOA, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta-CONICET, Salta, Argentina. geowbsalta@gmail.com

⁵ Museo Arqueológico Cerro Colorado, Dirección de Patrimonio de la Provincia de Córdoba, Córdoba, Argentina. luistissera@gmail.com

⁶ Instituto de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Procesos, Biotecnología y Energías Alternativas-PROBIEN, CONICET-Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires, Argentina. syms.05@hotmail.com

⁷ Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica-CETMIC, CCT CONICET La Plata/CICPBA, Buenos Aires, Argentina. mstable@cetmic.unlp.edu.ar

⁸ Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. calzato@gmail.com

Las areniscas son litologías muy abundantes en todo el mundo (Young et al. 2009), generando relieves de gran espectacularidad. Los procesos de alteración que afectan a estas rocas son comunes a los existentes en otras rocas compuestas de granos (granitos, calcarenitas, calizas oolíticas, etc.) y han sido descritos por diversos autores (Clark y Small 1982; Ollier 1984; Smith 1994; Twidale 1976, 1982; Young et al. 2009). Su estudio ha ido cambiando de escala de observación desde macroescala a microescala (Viles 2001), especialmente cuando estas rocas sirven de soporte para grabados y pinturas rupestres. Conocer el funcionamiento y consecuencias de los procesos de alteración es de vital importancia para promover medidas para su conservación y para proporcionar una protección adecuada ante la acción de los agentes naturales e incluso ante la actuación humana (Benito et al. 1993; Montes 2012; Peña-Monné y Longares 2015; Sancho et al. 1994).

Por otra parte, el estudio de las representaciones rupestres mediante nuevas técnicas de levantamiento fotogramétrico y scanner láser 3D (Barnett et al. 2005; Lerma et al. 2013; Plets et al. 2012; Ruiz et al. 2012) ha dado como resultado no solo un mejor conocimiento material de este patrimonio tan valioso, sino que además ha conducido a un necesario alejamiento de las antiguas técnicas invasivas de dibujo y calco (Angás Pajas et al. 2013; Chandler et al. 2005; Domingo et al. 2013; Sebastián López et al. 2010).

En este contexto, el objetivo de este trabajo es evaluar el grado en que los procesos de alteración afectan a las pinturas de los aleros Ricci-Quitilipi (Cerro Colorado, Córdoba, Argentina).

Para ello se seguirá la propuesta metodológica de Sampietro-Vattuone y Peña-Monné (2021) enfatizando la aplicación integral de técnicas digitales no invasivas, especialmente mediante levantamiento fotográfico detallado para la construcción de mapas de alteración, modelos 3D, la reconstrucción microtopográfica 3D del soporte, la creación de modelos de zonificación de la alteración, caracterización y previsión de la progresión de los procesos de alteración. La aplicación sistemática de este tipo de metodologías de bajo costo permite realizar una gestión más eficiente de los recursos patrimoniales con la implementación de medidas protectoras eficientes y desarrolladas específicamente para cada caso.

Área de Estudio

Los aleros Ricci-Quitilipi se encuentran ubicados en la Reserva Cultural Natural Cerro Colorado,

dependiente del gobierno de la Provincia de Córdoba, en el área urbana de Cerro Colorado. Se trata de dos abrigos rocosos formados en un escarpe de arenisca e incluyen diversos motivos: zoomorfos, antropomorfos, fitomorfos y geométricos pintados en blanco, negro y rojo (de acuerdo a los criterios descriptivos propuestos por Recalde (2015)). Entre los motivos más emblemáticos están las figuras antropomorfas denominadas “arqueros” (González 1963; Pérez Gollán 1968).

La latitud de las sierras de Cerro Colorado está en torno a los 30° S y sus altitudes varían entre 540 y 830 msm. El clima es templado subtropical. Sus precipitaciones medias anuales (periodo 2000-2018) son de 578 mm, pudiendo calificarse como clima subhúmedo, aunque son lluvias de una gran irregularidad interanual variando en ese periodo entre 417 mm y 814 mm (años 2012 y 2015, respectivamente, del periodo tomado como referencia). Las lluvias se producen entre octubre y abril principalmente (93%) y el invierno es seco (mayo-septiembre), siendo frecuentes los registros de 0 mm entre junio y agosto, lo que determina un importante déficit hídrico estacional. En la clasificación de Köppen-Geiger (1936) correspondería a un clima de tipo Cwa, es decir, subtropical con invierno seco. Por otra parte, en la zona de Cerro Colorado se producen heladas durante el invierno y también son frecuentes las nieblas, siendo estos dos factores climáticos de gran importancia en determinados procesos de alteración.

Los relieves de areniscas de Cerro Colorado forman parte de las Sierras Pampeanas cordobesas. Esta unidad montañosa corresponde a un macizo muy aplanado por superficies erosivas antiguas y posteriormente reelevado en forma de bloques, con basculamientos internos que dejan depresiones o bolsones intermedios. Las areniscas se apoyan discordantes sobre un basamento compuesto de granodioritas y monzogranitos porfíricos del Complejo Ígneo Sierra Norte (Candiani 2008; Candiani et al. 2001); corresponden a la unidad geológica Areniscas Cerro Colorado (Candiani et al. 2001) y se conservan formando una estrecha alineación alargada de N a S debido a la tectónica y a la erosión posterior (Figura 1A y 1B). Cronológicamente se las ha relacionado con el Cretácico del Grupo El Pungo (Candiani 2008). Su sedimentación se produjo en ambientes continentales fluviales en forma de abanicos aluviales y canales fluviales que transportaron los materiales erosionados desde los macizos montañosos graníticos. Debido

a las deformaciones postsedimentarias, las capas de arenisca buzcan al este entre 4 y 15° y mantienen un rumbo NNE en la estratificación. En conjunto constituyen una formación rocosa muy compacta, aunque muy afectada por fracturación, que mantiene planos verticales y oblicuos con varias direcciones. Estas fracturas se encuentran en muchos casos selladas con sílice, por lo que componen -en principio- un conjunto muy resistente a la erosión.

El arte rupestre de Cerro Colorado

La primera descripción somera sobre el arte rupestre de Cerro Colorado data de comienzos del siglo XX (Lugones 1903); posteriormente se realizaron registros más sistemáticos de las representaciones (Gardner 1931; González 1940; Pedersen 1959, 1961; Serrano 1945, entre otros). Desde mediados del siglo XX los estudios en la materia ampliaron el campo interpretativo proponiendo análisis comparativos (Berberían y Nielsen 1985; Pedersen 1961; Schobinger y Gradín

1985) o hipótesis contextuales funcionales (González 1977; Pedersen 1961; Pérez Gollán 1968). Hasta el momento se han registrado 55 sitios con arte rupestre -en general pinturas- situados mayoritariamente en abrigos rocosos y farallones (75%) de las formaciones de areniscas, mientras que el resto están en zonas bajas (Colqui 2016; Recalde 2015). Las evidencias de recurrencia en el uso de los abrigos brindadas por las investigaciones arqueológicas permiten inferir que la ejecución de los motivos representados no son producto de un solo acto, sino que se realizó el agregado de motivos y temas a lo largo del tiempo (Recalde 2018). Los fechados obtenidos permiten asignar una edad mínima a las representaciones en 1181 ± 23 AP, que continuaron realizándose hasta tiempos hispanos (Recalde 2019). En total se han caracterizado tipológicamente 3.974 motivos que se agrupan en figurativos -antropomorfos, zoomorfos, objetos e hispánicos-, no figurativos -geométricos-, e indefinidos -imposible establecer un referente real por su diseño o condiciones de preservación (Recalde 2019). Respecto a la problemática del deterioro y

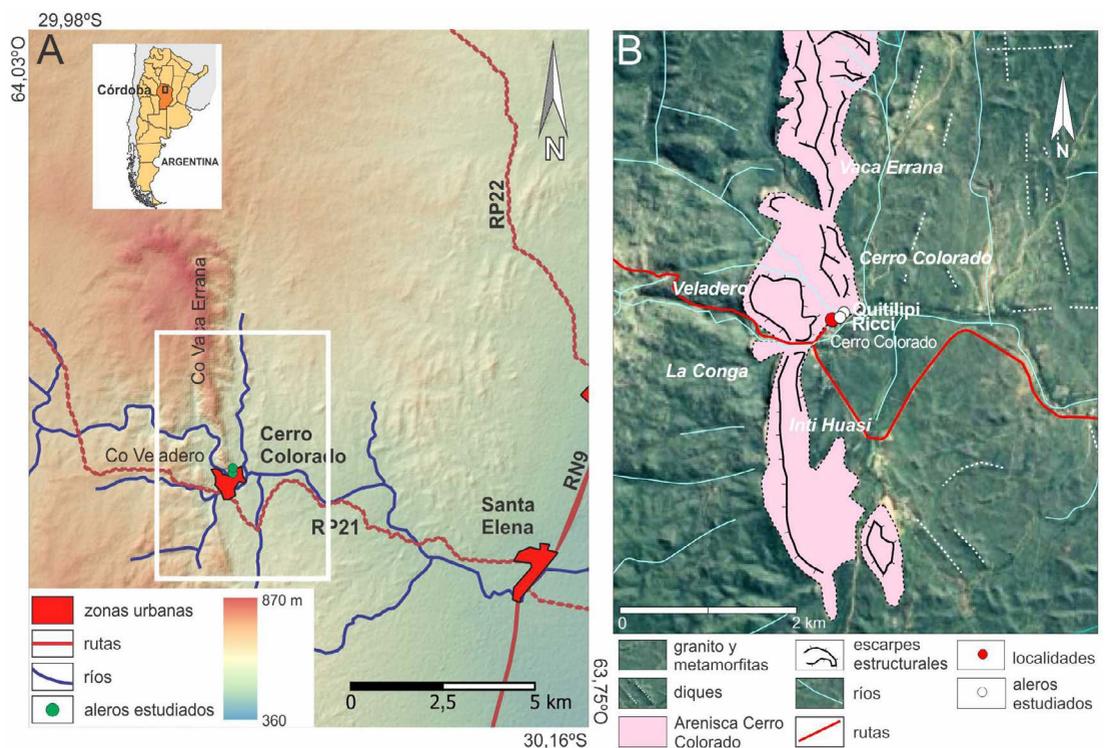


Figura 1. (A) Mapa de ubicación de la localidad Cerro Colorado (Córdoba, Argentina), con los principales relieves y la localización de los aleros Ricci y Quitilipi; (B) esquema geológico de la zona de estudio.

(A) Location map of Cerro Colorado (Córdoba, Argentina), main reliefs and location of the Ricci-Quitilipi rockshelters; (B) geological scheme of the study area.

estado de preservación de las pinturas, se destacan los aportes de Bolle (1987), quien documentó daños antrópicos y naturales en algunos abrigos rupestres. También es de gran importancia en este aspecto el trabajo realizado por Herrero (1999) sobre los procesos de formación de tafonis y alteración en los aleros con pinturas rupestres.

Metodología

Para la presente investigación se siguió la propuesta metodológica realizada por Sampietro-Vattuone y Peña-Monné (2021). La primera aproximación al objeto de estudio fue mediante el reconocimiento de la zona donde se ubican los aleros, ubicación topográfica relativa, orientación geográfica, registro de la insolación y humedad que reciben (directa por lluvias o nieblas e indirecta por infiltración). Además, se analizó el estado general del afloramiento rocoso y su entorno, presencia de fracturas que faciliten la infiltración y flujo interno de agua, y la presencia y tipo de vegetación.

A continuación, se procedió a la toma sistemática de imágenes fotográficas para crear modelos 3D basados en visión artificial (Carrero-Pazos et al. 2018). Junto al registro fotográfico se ingresaron referencias geográficas utilizando un GPS de precisión para marcar puntos de referencia sobre el frente de areniscas, conjuntamente con una cinta métrica utilizada para tener referencias verticales en algunas fotografías que permitan incrementar modelos a escala en la reconstrucción fotogramétrica utilizando la técnica de *Structure from Motion* (Carrivick et al. 2016). Los modelos fueron procesados con Agisoft Metashape Professional v.1.5.1. Para ello, se seleccionaron 773 fotografías por su calidad, que fueron preprocesadas con Adobe Lightroom CC 2019 -para optimizar la exposición y color- y luego introducidas en Agisoft Metashape v.1.5.1. y procesadas como un solo bloque.

Una vez terminados los modelos 3D, se realizaron cortes verticales de los mismos para obtener las siluetas definitivas del soporte rocoso, especialmente en las zonas críticas donde los tafonis tuvieran máximo desarrollo afectando las pinturas, o zonas donde las viseras ocultan los motivos.

Para el análisis de alteración se identificaron los paneles de interés en cada caso y se realizaron panorámicas generales de alta definición procesadas con Panorama Maker v.6. A partir de las mismas, mediante análisis visual de las imágenes y de las reconstrucciones obtenidas con ayuda de Agisoft

Metashape, se identificaron los procesos activos e inactivos que han actuado sobre el soporte y las pinturas. En cada caso, se desarrolló una leyenda interpretativa ad-hoc para concretar representaciones gráficas explicativas de los procesos y el grado de afección que presenta cada sector, indicando además cuáles son los más vulnerables. Con el objeto de identificar cambios superficiales basados en los principios de visión artificial (*computer vision*), se aplicó sistemáticamente el software ImageJ (Image Processing and Analysis in Java) con el complemento DStretch, que realiza una decorrelación entre las bandas de imágenes multibanda con alto grado de homogeneidad (Cerrillo-Cuenca y Sepúlveda 2015; Harman 2008). La aplicación de los algoritmos permite mejorar la visualización de pinturas, superposición de motivos, áreas difuminadas, etc. (Cerrillo-Cuenca y Sepúlveda 2015; Fraile et al. 2016; Gunn et al. 2014, entre otros) y, conjuntamente, mejorar la percepción de los procesos de degradación tales como veladuras de polvo, diversos tipos de pátinas (incluyendo biológicas), grietas, fracturas, descamaciones e incluso, en algunos casos, también permite diferenciar entre pigmentos, costras y pátinas.

Las reconstrucciones panorámicas de alta resolución, conjuntamente con los datos topográficos del modelo 3D, sirvieron como fondo cartográfico donde, además, están situados los motivos rupestres. La reconstrucción fue introducida en un software de sistema de información geográfica, en nuestro caso QGIS 3.14, y referenciada métricamente para obtener parámetros espaciales adecuados. Las imágenes incorporadas a QGIS fueron tratadas como imágenes de base cartográfica y se definieron capas vectoriales conteniendo información temática, obtenida por interpretación visual con apoyatura de las notas de campo, sobre: (a) zonificación de sectores de la roca con características homogéneas (areniscas, microconglomerados, conglomerados) y de estructuras sedimentarias (planos de estratificación, estratificación cruzada, formas canalizadas, anillos de Liesegang, capas blandas interestratificadas, etc.); (b) red de fracturación y otras deformaciones que afectan a la roca; (c) ubicación de las representaciones rupestres, se trate de motivos individuales o conjuntos; (d) vías de entrada de humedad y trayectoria del escurrimiento/humedad; (e) frentes de alteración, identificando la línea frontal, las aureolas de progresión y diferenciando la intensidad de progresión de la alteración (baja o alta); (f) indicadores de alteración mecánica (descamaciones, desplazaciones, disgregación

granular); (g) indicadores químicos (eflorescencias salinas, costras, pátinas, crecimientos botroidales, etc.); (h) indicadores biológicos (costras y pátinas biológicas); (i) morfologías de alteración (tafonis, *honeycombs*, etc.); (j) otros (actividad de animales y humana, crecimiento de plantas). Tras el procesamiento en QGIS los resultados fueron exportados a un formato raster adecuado para terminar su procesamiento en Freehand 11.

Las ventajas del registro 3D sobre el predecesor (2D) radican en: (a) la posibilidad de contar con imágenes tridimensionales de alta precisión en el laboratorio para corroborar y/o mejorar las observaciones de campo; (b) permiten modificar los puntos de vista de los sectores de interés, incluyendo representaciones en perspectivas inalcanzables en el campo; (c) permiten la representación de cualquier sector con la incorporación de las características de rugosidad del soporte, representando o no el lienzo en colores reales, lo cual da una idea más acertada de las cualidades texturales, estructurales y el estado de integridad del soporte; (d) facilita la sectorización del universo de estudio de acuerdo a las variables específicas que componen cada zona; (e) no se realiza ningún contacto ni con el soporte ni con las representaciones, obteniéndose calcos de alta resolución y fidelidad directamente a partir de las representaciones 3D; (f) promueve la recolección de datos para la generación de representaciones de realidad aumentada mediante el uso de dispositivos personales (celulares y tabletas), mejorando las posibilidades de exhibición; y (g) permiten simular la visibilidad de las representaciones con diversa intensidad, tipo y ángulo de iluminación mediante la generación de visualizaciones de imágenes digitales inmersivas para la gestión del patrimonio (Blanco-Pons y García 2021; Martínez 2013; Ruiz et al. 2012; Sampietro-Vattuone y Peña-Monné 2021).

Resultados

La roca y los procesos de alteración en los aleros Ricci-Quitilipi

Las areniscas de Cerro Colorado son de color gris a rosadas y rojas, dispuestas en estratificación laminar y cruzada, con intercalaciones de canales de gravas y gravillas en numerosos puntos. Los granos son subredondeados, predominando el cuarzo con cemento silíceo principalmente, aunque también presentan cementaciones menores de carbonato y

ferruginosas. Hay nódulos de hierro también dispersos en la arenisca cuya oxidación otorga el color rojizo que caracteriza esta roca, ya que su color original es grisáceo. La estructura interna no es uniforme debido a la presencia de discontinuidades sedimentarias, estratificación cruzada, cambios granulométricos, anillos de Liesegang, interferencia entre canales fluviales, red de fracturación, etc.

Los factores que pueden activar los mecanismos de alteración de la Arenisca Cerro Colorado son muy diversos, dependiendo principalmente de la composición y estructura de la roca y de las condiciones ambientales. A esto hay que añadir la existencia de macromorfologías de alteración heredadas de fases climáticas previas caracterizadas por mayor humedad.

Los principales mecanismos de alteración observados se relacionan con la acción mecánica, sumado a actividad secundaria de los procesos químicos y cierta importancia de la alteración de origen biológico. Las paleoformas heredadas actúan como receptoras de las nuevas alteraciones al crear microambientes especiales en donde desarrollarse, como es el caso de los profundos aleros, que incluso llegan a tener circulación de agua dirigida por las discontinuidades lito-estructurales. Predominan los procesos de descamación, desplazación y disgregación granular debido a mecanismos de hidroclastía y haloclastía. Las sales pueden provenir de la roca, lo cual es mínimo en las areniscas de Cerro Colorado, pero es más frecuente que provengan de la evaporación en áreas de alta salinidad, como los salares cercanos, llegando a la roca a través de la lluvia o directamente del aire (sales higroscópicas). La huella más visible, indicadora de la presencia de sales como agente de alteración, la encontramos en forma de eflorescencias salinas en la roca, ya sea en el interior de los tafonis o como frentes de alteración.

En los aleros Ricci-Quitilipi las formas resultantes de la alteración dominantes son los tafonis y algunos alveolos menores (*honeycombs*). El modelo de reconstrucción 3D muestra la morfología general de los dos aleros, situados en un escarpe rocoso de unos 8 m de altura separados por un saliente intermedio que rompe la continuidad morfológica (Figura 2). Se puede observar en ambos la existencia de un alero central cuyo desarrollo fue favorecido por una discontinuidad entre las capas de arenisca, que constituye la principal zona de entrada de agua y en cuyo techo aparecen las principales pinturas. Sin embargo, la morfología de detalle del resto de la pared es muy distinta entre ambos aleros.

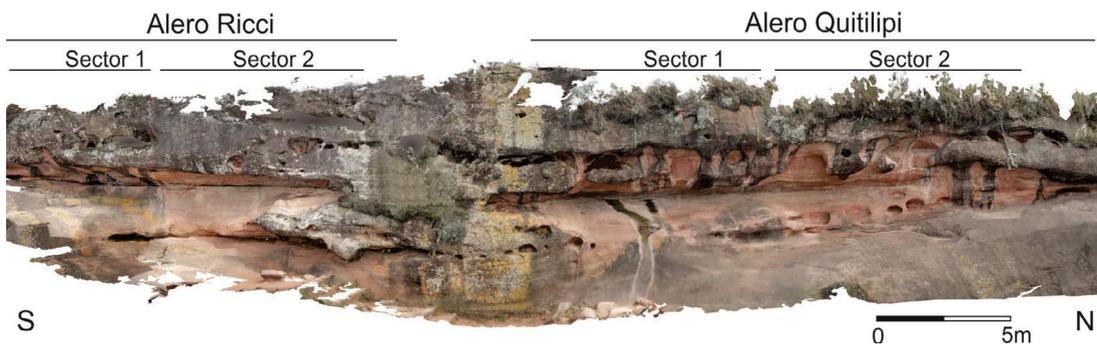


Figura 2. Reconstrucción 3D del frente de areniscas donde se encuentran los aleros Ricci y Quitilipi. Sectorización realizada para su estudio.

3D reconstruction of the sandstone front where the Ricci and Quitilipi shelters are located. Study area sectors.

Los modelos 3D

Las vistas frontales del alero Ricci, obtenidas mediante la reconstrucción 3D (Figura 3A) permiten clasificarlo como un alero de tipo mixto debido a la existencia de una discontinuidad intermedia generada por la combinación de erosión diferencial y también procesos de alteración de la roca, con formación de tafonis en el techo del alero. La reconstrucción microtopográfica del escarpe (Figura 3A) muestra cinco unidades superpuestas verticalmente (A a E); lateralmente podemos diferenciar dos sectores que hemos denominado 1 (sector sur) y 2 (sector norte) (Figuras 2, 3A), cuyos perfiles verticales quedan reflejados en la Figura 3B. El primero se caracteriza por presentar un escarpe superior muy masivo (unidad A), excepto en algunos puntos en que se han formado tafonis de pequeño tamaño alineados siguiendo contactos sedimentarios (unidad B) (Figura 3A, 3B.1). En el sector 2 (norte) es menor la presencia de tafonis en el escarpe superior, de manera que la diferenciación entre A y B es menos apreciable (Figura 3A, 3B.2). Todo este escarpe superior presenta una pátina negra de origen biológico y en su superficie hay abundantes líquenes activos. La unidad C también presenta cambios, ya que mientras en el sector 1 se desarrollan numerosos tafonis de fuerte crecimiento vertical hacia la unidad B, en el sector 2 el alero es más profundo (Figura 3A, 3B.2) y está menos subdividido por tafonis, aunque con numerosas irregularidades internas debidas a la alteración. Hacia abajo, otras dos unidades sedimentarias dan lugar a un primer saliente compacto (unidad D) y a una rampa que se va verticalizando hacia el norte (unidad E), quedando separados por una discontinuidad sedimentaria (Figura 3A).

Longitudinalmente, el alero Quitilipi presenta dos sectores (Figura 4A): el sector 1 se extiende desde su inicio al sur hasta el primer gran tafoni con pinturas de la unidad B. A partir de este tafoni se inicia el sector 2 hasta el extremo norte (Figura 4A). Aunque este alero se configura con las mismas unidades que Ricci (Figura 4A), presenta cambios importantes, como un mayor crecimiento vertical de grandes tafonis. Su morfología irregular en algunos casos nos indica que son resultado de coalescencia lateral, ascendiendo desde la unidad C hacia la B, separados por estrechas divisorias por donde se prolonga la cornisa superior y que están cubiertas por una pátina biológica negra. Los perfiles verticales (Figura 4B) muestran que el alero propiamente dicho (unidad C) está menos desarrollado en profundidad que en Ricci, especialmente en la parte sur (Figura 4B.1), con menor espacio para contener pinturas en los techos de los tafonis. En la parte central (Figura 4B.2) los tafoni de la unidad B conservan paneles con pinturas, mientras la base del alero muestra una fuerte alteración. En la parte N, nuevamente se conservan representaciones en el espacio reducido del techo saliente (Figura 4B.3). Por último, la unidad D presenta un buen desarrollo de tafonis alineados siguiendo discontinuidades sedimentarias de la roca.

Mapas de alteración y DStretch

En el alero Ricci, la mayor concentración de pinturas corresponde al sector 2 (Figura 3B.2), que además es la zona con mayores problemas de alteración de la roca y de conservación de las pinturas. Se ha elaborado una cartografía de alteración de este sector para tener una visión general del problema (Figura 5a).

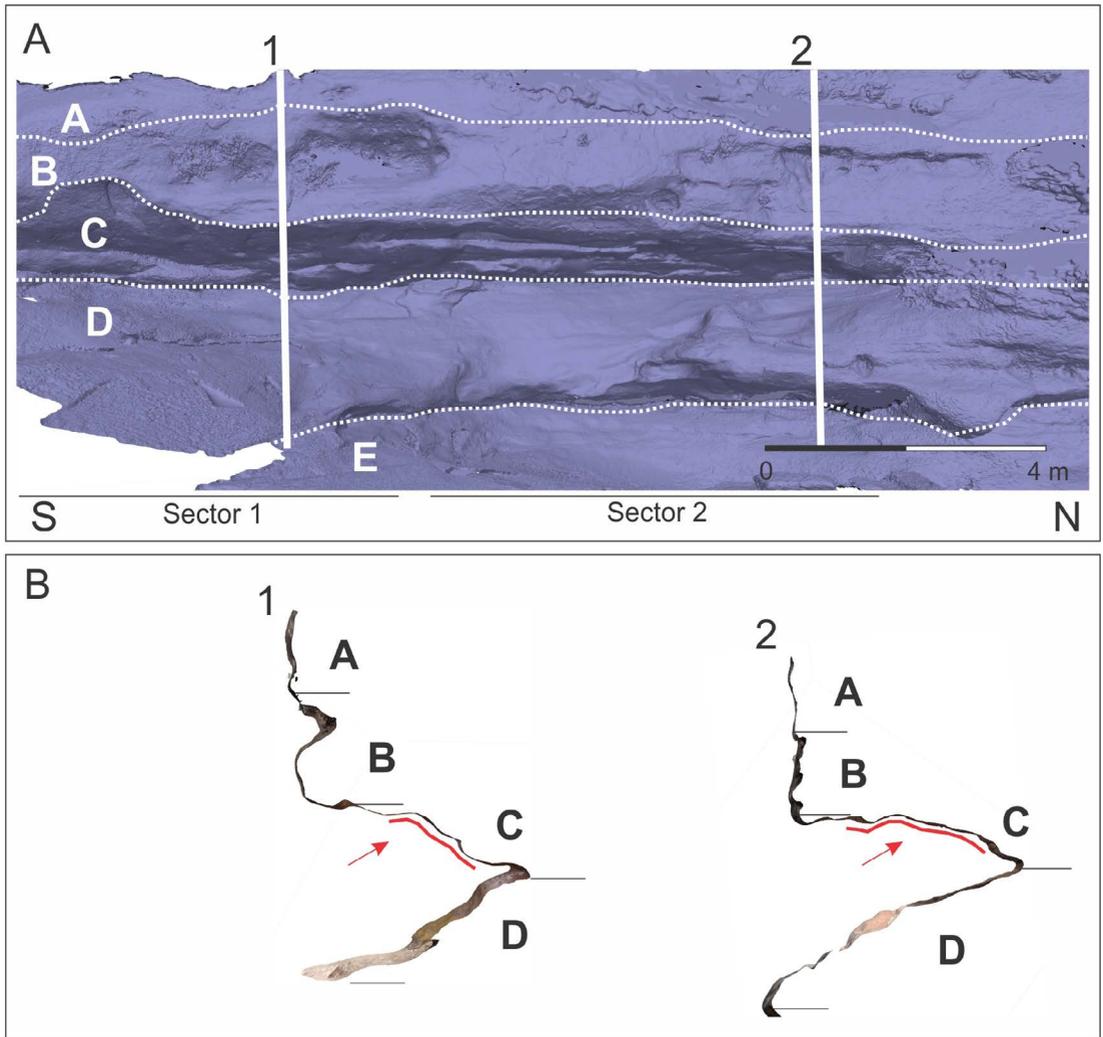


Figura 3. (A) Vista frontal de la microtopografía del alero Ricci destacando las unidades estratigráficas que lo componen (A - E) y los sectores en los cuales fue dividido para su estudio; (B) cortes verticales del abrigo indicando las unidades estratigráficas. Las flechas y líneas rojas señalan la ubicación de las representaciones rupestres.

(A) Frontal view of the microtopography of Ricci shelter highlighting the stratigraphic units (A-E) and the sectors on which it was divided for its study; (B) vertical cross sections showing stratigraphic units. Arrows and red lines point the rock art location.

Las pinturas, al menos las que han llegado hasta la actualidad, ocupan la franja central del techo del alero, formando un panel alargado de N a S, en el que se conservan algunas pátinas rojizas que han servido de soporte a las representaciones rupestres. Arriba del mismo, la alteración presenta frentes de avance importantes causados por la entrada de humedad de forma difusa desde la visera superior (Figura 5a). En la parte inferior, la discontinuidad que favoreció la formación del alero sigue aportando agua que asciende por capilaridad a causa de las abundantes líneas de capa, formas canalizadas y estratificaciones

cruzadas de la arenisca. Ambos avances comprometen la conservación de las pinturas y llegan a afectar a algunas de ellas (Figura 5a).

Además, hay dos puntos con alteración muy activa correspondientes a una gran desplazación funcional (zona b en Figura 5a, detalle en Figura 5a) y a un tafoni, con funcionalidad interna (zona c en Figura 5a, detalle en Figura 5c). Una aproximación en detalle permite apreciar mejor algunos de estos problemas. La primera zona (Figura 5b, 5b') está situada en la parte frontal del techo y se compone de una escena de pinturas a la que parece dar unidad la presencia

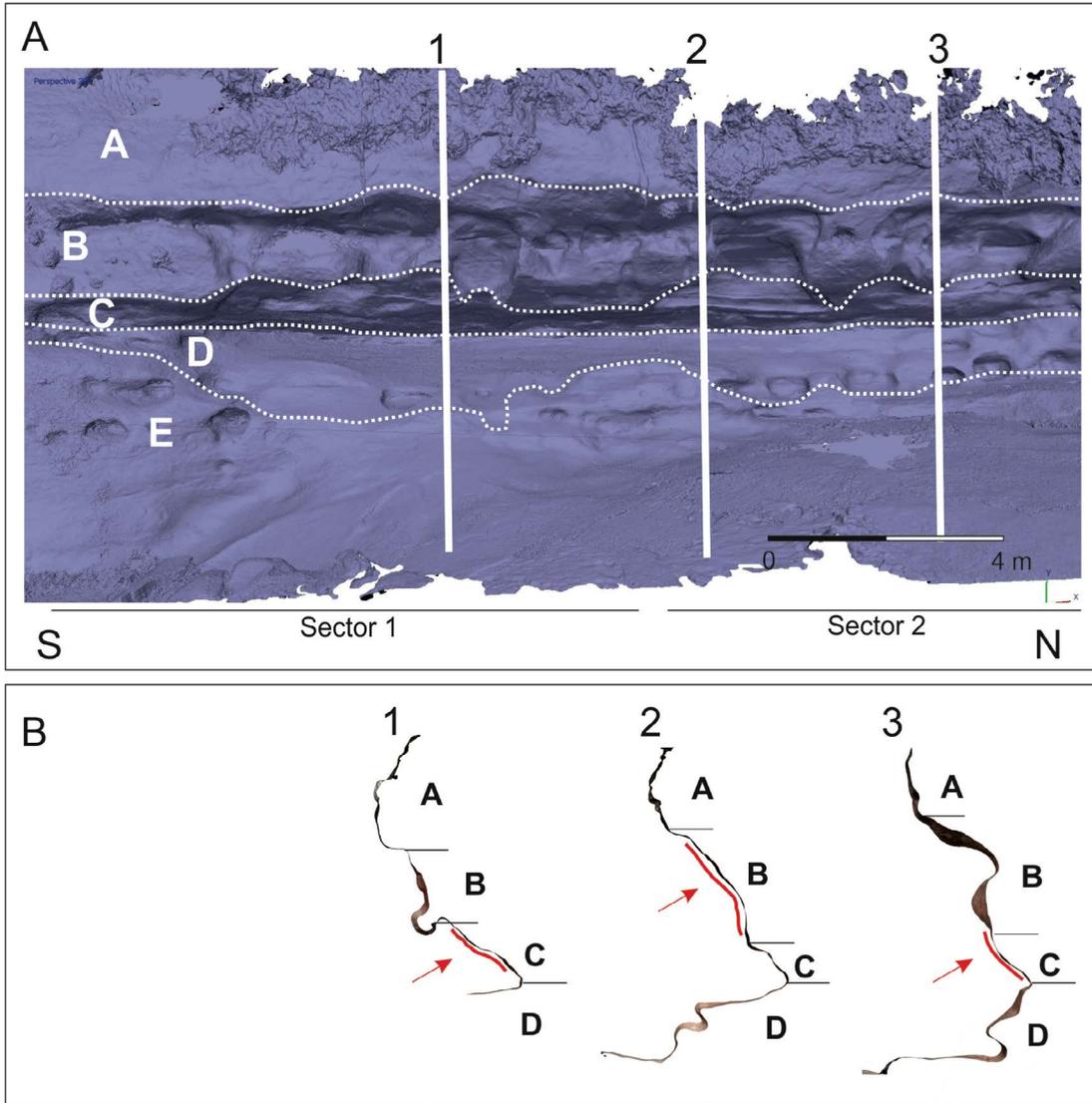


Figura 4. (A) Vista frontal de la microtopografía del alero Quitilipi con las unidades estratigráficas que lo componen (A - E) y los sectores diferenciados; (B) perfiles verticales del abrigo con las unidades estratigráficas. Las flechas y líneas rojas indican la ubicación de las representaciones rupestres.

A) Frontal view of the Ricci shelter's microtopography, highlighting the stratigraphic units (A-E) and differentiated sectors; (B) vertical cross sections showing stratigraphic units. Arrows and red lines show the rock art location.

de una línea con una orla superior de semicírculos. La escena se asienta sobre una costra roja que queda limitada arriba por el frente de alteración, sobre el cual se dibujaron algunos de los semicírculos mencionados. Abajo, es bien visible la gran desplazación, en cuyo interior está muy activa la disgregación granular con presencia de eflorescencias salinas y descamaciones en sus márgenes. En la derecha, la desplazación alcanza

hasta un flechero que prácticamente ha desaparecido, quedando solamente los ornamentos de la parte dorsal y lo que parece ser parte de la cabeza. Esto ha sucedido con posterioridad a 1931, ya que la figura aparece entera en el trabajo de Gardner (1931). Esta macrodesplazación y los procesos activos parecen estar relacionados con dos fracturas que se prolongan hacia derecha de la escena, que pueden ser el germen

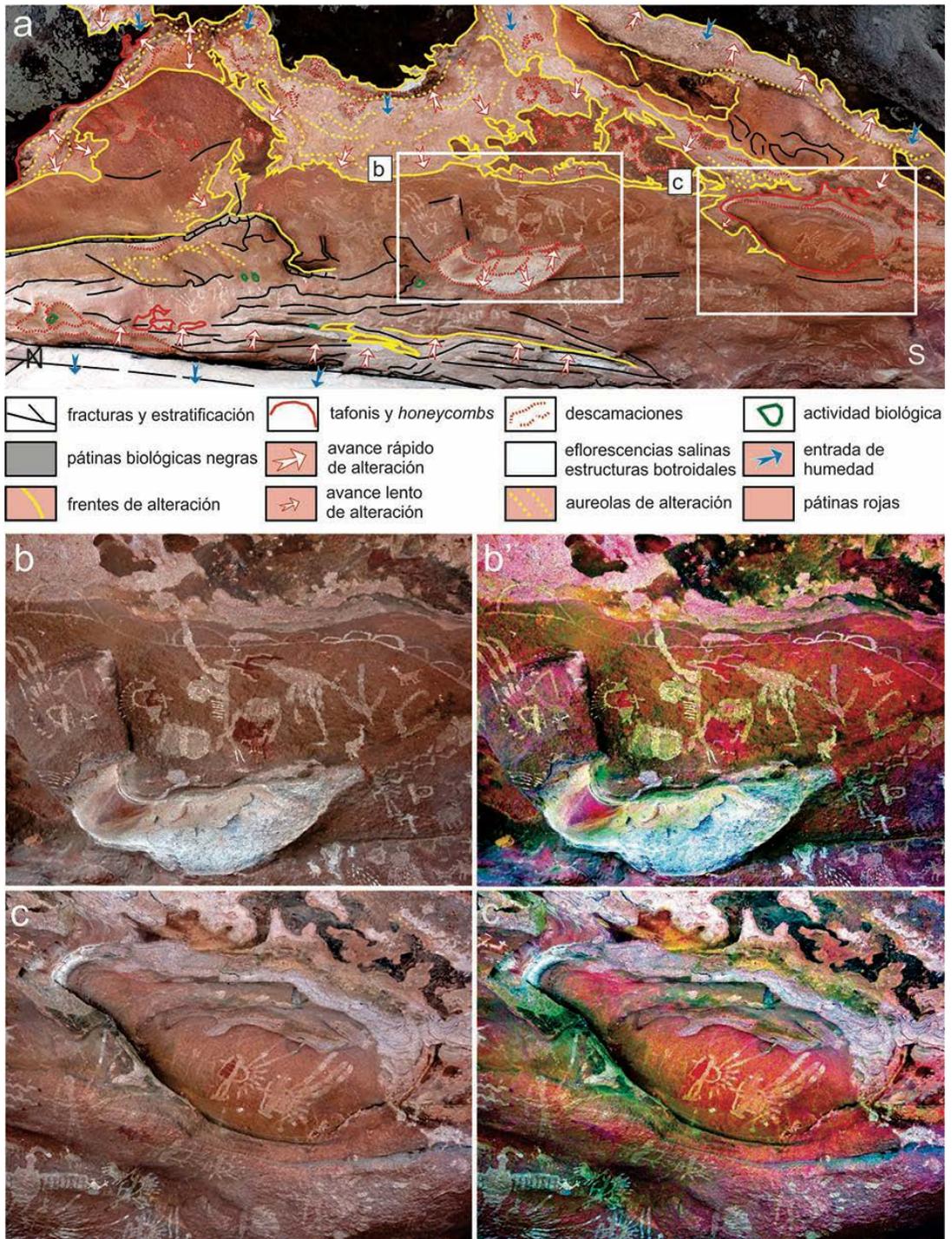


Figura 5. (a) Mapa de distribución de la alteración de los paneles más degradados del sector 2 del alero Ricci; los rectángulos blancos delimitan la situación de los detalles mostrados en las siguientes figuras (b y c) y sus correspondientes imágenes DStretch con filtros ac-lab (b' y c'); (b) gran desplazación generada por escurrimiento desde la visera; (c) frente de alteración producida por infiltración en discontinuidades del techo del tafoni.

(a) Alteration maps of the Ricci shelter's most degraded panels from Sector 2; white rectangles showing the location of Figures b and c and their DStretch images using ac-lab filters (b' and c'); (b) large flaking produced by runoff from the overhang; (c) alteration front produced by infiltration across lithological discontinuities from the tafone roof.

de una futura ampliación de la desplazación hacia varios motivos situados más arriba.

La segunda área activa (Figura 5c, 5c') corresponde a un tafoni del techo de forma más o menos elíptica, en cuyo interior y márgenes hay pinturas. Se aprecia un frente de alteración muy activo en la parte superior, propiciado por la entrada de humedad desde la parte alta y que se prolonga bordeando el tafoni. El frente se sitúa muy cerca de una de las figuras de flecheros afectando parte de sus ornamentos dorsales. Lo mismo ocurre en su límite derecho, donde se inicia un frente de avance que ha afectado a algunas de las figuras hasta prácticamente hacerlas invisibles. Entre este frente de alteración y el que desciende desde el techo, quedan restos de figuras también profundamente degradadas (Figura 5c, 5c').

Los dos sectores del alero Quitilipi presentan pinturas, pero nos centraremos en la alteración del sector 2, el más septentrional, por contener mayor cantidad de pinturas y exhibir problemas más importantes de alteración. Una serie de tafonis asciende desde el alero principal (unidad C) hacia la unidad B penetrando en el escarpe de areniscas. Los espacios entre los tafonis aparecen cubiertos de la pátina negra biológica y los procesos de alteración son muy activos, especialmente en las zonas altas de los tafonis (Figura 6a). Todo el sector recibe humedad de la parte alta del escarpe, cubierta además por un buen recubrimiento vegetal. Las pinturas ocupan principalmente los espacios internos de los tafonis y están realizadas sobre algunas pátinas rojas más resistentes. Los tafonis centrales son los más activos, con aureolas de avance de alteración muy visibles (Figura 6a), destacando el gran tafoni de la derecha, que presenta varias cabeceras de crecimiento vertical, posiblemente como resultado de la coalescencia de varios tafonis. En su interior hay una entrada de agua visible con depósitos de barros carbonatados que afectan notablemente tanto a las pinturas del tafoni como a las del pequeño alero de la unidad C que hay más abajo. Para analizar en detalle hemos seleccionado tres ejemplos (Figura 5a). En el detalle B hay diversas pinturas, entre las que destacaremos una figura blanca con cuatro apéndices superiores que presenta importante disgregación granular y descamaciones en el cuerpo central (Figura 6b y 6b'). En el extremo superior de la figura se encuentran concreciones de estructura botroidal que llegan a afectarla. Se da la circunstancia de que estas figuras están en un sector por donde circula agua de escorrentía desde la parte superior (Figura 6a). Por debajo de este gran tafoni,

se extiende el alero propiamente dicho (unidad C) que se inicia en su base por la presencia de varias discontinuidades entre formaciones de arenisca con pinturas en diversos estados de conservación (Figura 6a). Así, hacia la derecha (detalle c en Figura 6a) hay un sector muy afectado por estructuras botroidales que afectan a un cóndor, junto con alguna desplazación (Figura 6c y 6c'). Hacia el ala izquierda del cóndor quedan restos de una pintura roja muy difuminada. Todo el conjunto presenta un recubrimiento de polvo adherido, pero la repisa le protege parcialmente del escurrimiento de agua proveniente desde el gran tafoni superior. A la izquierda del cóndor de referencia se observan la representación de otro cóndor muy degradada, donde solo es posible distinguir con claridad el cuello, la cabeza y parte del ala izquierda y del cuerpo (Figura 6c y 6c'). En el primer tafoni de zona central (detalle d en Figura 6a), la entrada de agua ha generado la presencia de veladuras de carbonatos y pequeñas desplazaciones que afectan al pigmento y decoloraciones de dos diseños negros (Figura 6d y 6d'). De tal manera que es difícil distinguir algunas pinturas que aparecían en Gardner (1931). Todavía es posible ver, bajo la veladura del carbonato, unos trazos blancos y, en el límite con la unidad C, un diseño abstracto horizontal afectado tanto por los carbonatos como por desplazaciones (Figura 6d y 6d'). A la izquierda del gran tafoni, bajo el saliente marginal cubierto de pátina negra, hay otras pinturas con colores mejor conservados, pero situadas entre desplazaciones muy activas (Figura 6d y 6d'). De nuevo, la línea de discontinuidad de tránsito entre las unidades C y D se convierte, en este sector, en área de intensa alteración por la llegada de humedad, quedando algunas pinturas dispersas.

Discusión

Los estudios de alteración del arte rupestre han cobrado cada vez más importancia debido al creciente interés conservacionista (Hall et al. 2007; Hoerlé 2005; Meiklejohn et al. 2009; Mol y Viles 2010; Sumner et al. 2009, mencionando algunos de los trabajos realizados en areniscas). Sin embargo, en Argentina las investigaciones de arte rupestre se centran principalmente en cuestiones de índole estilístico, técnico, cronológico, social e identitario (Gheco et al. 2013; Martel et al. 2012; Pastor 2012; Troncoso et al. 2017, entre otros), con algunas excepciones (Bolle 1987; Herrero et al. 1998; Rolandi de Perrot et al. 1996).

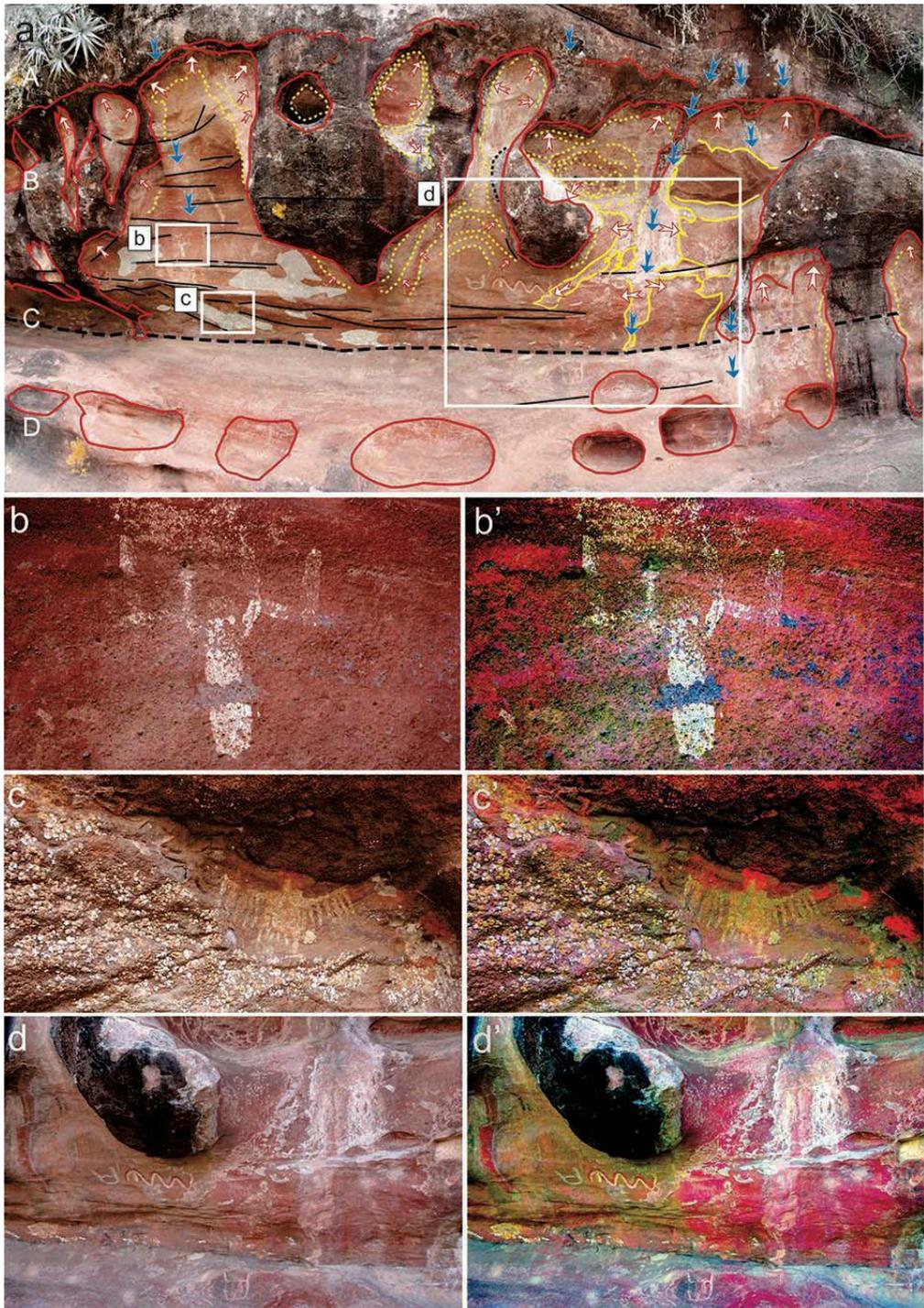


Figura 6. (a) Mapa de distribución de la alteración de los paneles más degradados del sector 2 del alero Quitilipi. Los rectángulos blancos indican las zonas de detalle mostradas en las siguientes figuras (b, c y d) y sus correspondientes imágenes DStretch con filtros ac-lab (b', c' y d') (ver referencias en Figura 5); (b) desplazamientos sobre motivo blanco; (c) crecimientos botroidales alrededor de cóndor; (d) veladuras de polvo y carbonato.

(a) Alteration maps of the most degraded panels from the Sector 2 of Quitilipi shelter; white rectangles showing the location of Figures b, c and d with their DStretch with ac-lab filters (b', c' and d'); (b) flaking over white motif; (c) botryoidal growth surrounding a condor representation; (d) dust and carbonate veils.

En los últimos 10 años, se han presentado propuestas metodológicas sistemáticas interesantes incorporando los aportes de la tecnología digital que involucran diversos tipos de registros orientados esencialmente a aplicaciones digitales (i.e. De Reu et al. 2013; López-Montalvo 2010). Existen antecedentes muy importantes de avances en la materia en Argentina (Acevedo y Franco 2012; Ávido y Vitores 2015, 2016; Vitores y Ávido 2016, entre otros), entre los que destaca el trabajo de Rodríguez Curletto (2018) sobre diagnósticos parietales para la conservación; sin embargo, no hay aportes sistemáticos que se enfoquen en el registro profundo de la alteración.

En nuestro caso, la metodología aplicada (Sampietro-Vattuone y Peña-Monné 2021) integra el análisis geológico/geomorfológico no solo de la cavidad que se estudia, sino también del entorno donde esta se ubica. La integración de los factores ambientales a los cuales está sujeto el conjunto analizado excede con creces lo que ocurre a cada motivo o panel en particular (Pope et al. 2002), pero condiciona su conservación. Las particularidades del soporte, tales como estratificaciones cruzadas, canalizaciones, cambios granulométricos, entre otras, en conjunto con la exposición a los factores ambientales marcan las características del deterioro de los diversos sectores de los aleros estudiados. Esto realza la importancia de iniciar el estudio de alteración desde el exterior de la cavidad.

La etapa de registro digital panorámico 2D se aplicó para generar las áreas de alteración cartografiadas que integran el conjunto de las variables de alteración, considerando cada panel o sector de la cavidad como unidad de análisis discreta que en conjunto engloban los factores determinantes en el soporte y sus representaciones. Las definiciones de tales sectores y/o unidades están condicionadas por el diagnóstico preliminar realizado mediante el conocimiento de la estructura de la cavidad y la presencia de los paneles pintados. Consideramos que el análisis de alteración no puede estar desvinculado de la recuperación de la información de los motivos rupestres presentes, ya que los procesos de alteración condicionan su presencia, visibilidad y posibilidades de permanencia. La cartografía de los sectores de interés dentro de cada cavidad proporciona una vía de acceso sencilla para tener una visión de conjunto de los procesos activos a nivel local, permitiendo prever cual será la eventual evolución de tales procesos y las magnitudes relativas con que se presentan, así como los sectores potencialmente más expuestos o vulnerables. Este

análisis es significativo para poder monitorear el progreso de las afecciones a lo largo del tiempo y proponer medidas de mitigación que propendan a la conservación de los paneles. El relevamiento sistemático de los paneles a intervalos regulares permitirá establecer las tasas de deterioro y cambios en las zonas críticas. Por otra parte, la implementación de medidas de mitigación y su seguimiento mostrará la efectividad de las acciones aplicadas.

En los casos analizados existen algunas situaciones críticas, tales como el panel del sector 2 del alero Ricci (Figura 5a), donde la filtración del agua que escurre por la visera mantiene activo un frente de alteración que compromete la estabilidad de las pinturas presentes. A esto se suma otro sector de gran alteración, en el techo propiamente del tafoni, debido a filtración por contactos entre fracturas de la roca que generan una gran desplazación (Figura 5b) y una zona de cierta meteorización debido a la misma (Figura 5c).

Por otra parte, existen indicios, a través del análisis de alteración, que dan pautas de momentos de mayor actividad degradativa que favorecieron el desarrollo de los tafonis alternando con periodos de estabilidad que permitieron el desarrollo de costras parietales. En el caso del tafoni de techo del sector 2 de Ricci (Figura 5a), el frente de alteración activo presenta pinturas sobre la zona alterada en continuidad con la no alterada, dando pautas de una ralentización en la evolución de la alteración posterior a la ejecución de las pinturas citadas en ese frente en particular. La presencia de pátinas rojas en el fondo del tafoni del sector 2a del alero Quitilipi (Figura 6a) sobre las cuales se han pintado motivos dan pauta de estabilidad previa a las intervenciones prehispánicas sobre los mismos.

La aplicación sistemática de los algoritmos de decorrelación (DStretch) sobre representaciones/paneles individuales permitió diferenciar entre motivos y pátinas de la roca que a ojo desnudo es muchas veces confuso, así como muchos ejemplos de microdegradación; tal es el caso de desplazaciones (Figura 6b), crecimientos botroidales (Figura 6c), disgregación del soporte (Figura 6b), veladuras de polvo (Figura 6d) y de carbonatos (Figura 6d).

La integración de todas las variables, en conjunto con las representaciones 3D de sombras de la estructura de la roca y las representaciones cartográficas de los rasgos de meteorización permiten inferir las causas de los procesos observados y realizar un diagnóstico detallado de los factores intervinientes, favoreciendo la aplicación de medidas de mitigación adaptadas.

Conclusiones

Este constituye el primer aporte desde la determinación de detalle de la alteración del arte rupestre de Cerro Colorado. Los resultados obtenidos permiten identificar que gran parte de los problemas que presentan los paneles con arte rupestre de los aleros Ricci-Quitilipi están directamente relacionados con las características de la roca cuyas líneas de debilidad favorecen el flujo de humedad e incluso de agua.

Entre los procesos más conspicuos se destacan la desplazación, descamación, crecimiento de estructuras botroidales, veladuras de polvo y carbonatos. Parte de estos procesos están momentáneamente detenidos, mientras que otros sectores de los aleros necesitan de la adecuación de medidas urgentes que promuevan su conservación.

Para mitigar el avance de la degradación, sería recomendable evitar o limitar el escurrimiento de agua desde las viseras superiores del alero y desviar las zonas de escurrimiento. Como consecuencia del desvío se limitará el desarrollo de veladuras de barro y carbonatos. También sería adecuado eliminar el polvo y los sedimentos adheridos que afectan a algunas de las pinturas. La discontinuidad basal de los aleros representa otra zona de riesgo, ya que proporciona humedad que asciende por capilaridad hacia las pinturas y favorece la formación de crecimientos botroidales, lo cual es un problema difícil de solucionar dada la propia porosidad de la roca. Finalmente, es

necesario minimizar la llegada del sol directo con la aplicación de medidas protectoras que no impliquen limitaciones en la circulación de aire. También es necesaria la realización de seguimientos sistemáticos de los frentes de alteración activos e inactivos para establecer las tasas de alteración y valorar la efectividad de eventuales medidas de mitigación que se apliquen.

La metodología propuesta se presenta como una alternativa viable para el registro sistemático de los procesos de alteración con el uso de medios de bajo costo, accesibles y que son factibles de ser aplicados desde oficinas patrimoniales con escasos recursos económicos. El conocimiento profundo y sistemático del estado de alteración y su evolución constituyen la clave para la conservación y facilitan la ulterior realización de estudios relacionados a los aspectos sociales y estéticos del bien patrimonial.

Agradecimientos: El presente trabajo se realizó en el marco del convenio de cooperación entre Agencia Córdoba Cultura (Gobierno de Córdoba) y el Laboratorio de Geoarqueología de la UNT. Las actividades de campo se realizaron en 2018 y 2019. Además contó con el aporte de los subsidios PIUNT G629 (Universidad Nacional de Tucumán), PICT2018-1119 y PICT2019-0193. Este trabajo se enmarca entre los intereses del IUCA (Instituto de Ciencias Ambientales de la Universidad de Zaragoza). Finalmente, agradeceremos a los evaluadores por sus constructivas sugerencias.

Referencias Citadas

- Acevedo, A. y N.V. Franco 2012. Aplicación de DStretch-ImageJ a imágenes digitales del arte rupestre de Patagonia (Argentina). *Comechingonia Virtual* 6 (2):152-175.
- Angás Pajas, J., M. Bea y J.I. Royo Guillén 2013. Documentación geométrica mediante tecno-logía láser escáner 3D del arte rupestre en la cuenca del Matarraña (Teruel). *Cuadernos de Arte Rupestre* 6:88-98.
- Ávido, D.N. y M. Vitores 2015. El archivo fotográfico como fuente para la reconstrucción tridimensional. En *Arqueometría Argentina, Metodologías Científicas Aplicadas al Estudio de los Bienes Culturales: Datación, Caracterización, Prospección y Conservación*, editado por A. Pifferetti e I. Doszta, pp. 223-232. Aspha, Buenos Aires.
- Ávido, D.N. y M. Vitores 2016. Aplicación de herramientas digitales para la reconstrucción tridimensional de soportes rupestres en el Noroeste Patagónico. En *Imágenes Rupestres: Lugares y Regiones*, editado por F. Oliva, A. Rocchiatti y F. Solomita Banfi, pp. 403-414. Universidad de Rosario, Rosario.
- Barnett, T., A. Chalmers, M. Diaz-Andreu, G. Ellis, P. Longhurst, K. Sharpe e I. Trinks 2005. 3D Laser Scanning for Recording and Monitoring Rock Art Erosion. *INORA* 41:25-29.
- Benito, G., M.J. Machado y C. Sancho 1993. Sandstone weathering processes damaging prehistoric rock paintings at the Albarracín Cultural Park, NE Spain. *Environmental Geology* 22:71-79.
- Berberián, E. y A. Nielsen 1985. El arte rupestre de la región serrana de la provincia de Córdoba (Argentina). Manifestaciones pictógraficas. *Comechingonia* 5:15-30.
- Blanco-Pons, S. y J.L. Lerma 2021. Difusión del arte rupestre a través de aplicaciones móviles de realidad aumentada: un enfoque práctico. En *Primer Congreso en Ingeniería Geomática-CIGeo*, editado por A. Martín Furones, pp. 1-7. Universitat Politècnica de València, Valencia.
- Bolle, E. 1987. Parque Arqueológico y Natural Cerro Colorado, departamento Tulumba, provincia de Córdoba, República Argentina. Relevamiento de sitios con arte rupestre y análisis de los motivos pictóricos, zona del cerro Condorhuasi. Primera

- parte, nivel A, sitios de Casa del Sol 1 a 16. *Publicaciones del Instituto de Antropología* 44: 9-102.
- Candiani, J.C. 2008. *Cerro Colorado. Cuando las Pinturas se Apoderan de la Piedra. Sitios Interés Geológico de la República Argentina*. SEGEMAR, Buenos Aires.
- Candiani, J.C., P. Stuart-Smith, F. Gaido, C. Carignano y H. Miró 2001. *Mapa Geológico 3163-I Jesús María. Carta Geológica Rep. Argentina 1:250.000*. SEGEMAR, Buenos Aires.
- Carrero-Pazos, M., B. Vilas-Estévez y A. Vázquez-Martínez 2018. Digital imaging techniques for recording and analysing prehistoric rock art panels in Galicia (NW Iberia). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 8:35-45.
- Carrivick, J.L., M.W. Smith y D.J. Quincey 2016. *Structure from Motion in the Geosciences*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Cerrillo-Cuenca, E. y M. Sepúlveda 2015. An assessment of methods for the digital enhancement of rock paintings: the rock art from the precordillera of Arica (Chile) as a case study. *Journal of Archaeological Science* 55:197-208.
- Chandler, J.H., J.G. Fryer y H.T. Kniest 2005. Non-invasive three-dimensional recording of aboriginal rock art using cost-effective digital photogrammetry. *Rock Art Research* 22 (2):119-130.
- Clark, M. y J. Small 1982. *Slopes and Weathering*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Colqui, E. 2016. Primeras aproximaciones al análisis del arte rupestre de Quebrada Norte en el contexto de Cerro Colorado (sierras del norte, Córdoba). *La Zaranda de Ideas. Revista de Jóvenes Investigadores en Arqueología* 14 (2):73-92.
- De Reu, J., G. Plets, G. Verhoeven, P. De Smedt, M. Bats, B. Cherretté, W. De Maeyer, J. Deconynck, D. Herremans, P. Laloo, M. Van Meirvenne y W. De Clercq 2013. Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of Archaeological Science* 40 (2):1108-1121.
- Domingo, I., V. Villaverde, E. López-Montalvo, J.L. Lerma y M. Cabrelles 2013. Latest developments in rock art recording: towards an integral documentation of Levantine rock art sites combining 2D and 3D recording techniques. *Journal of Archaeological Science* 40 (4):1879-1889.
- Frailé, F.J.L., L.M.G. García y A.C. Klink 2016. 3D documentation and use of DStretch for two new sites with post-Palaeolithic rock art in Sierra Morena, Spain. *Rock Art Research* 33 (2):127-132.
- Gardner, G. 1931. *Rock paintings of North-West Cordoba*. Clarendon Press, Oxford.
- Gheco, L.I., M.N. Quesada, G.O. Ybarra, A. Polizsuk y O. Burgos 2013. Espacios rupestres como "obras abiertas": una mirada a los procesos de confección y transformación de los abrigos con arte rupestre del este de Catamarca (Argentina). *Revista Española de Antropología Americana* 43 (2):353-368.
- González, A.R. 1940. Las pinturas rupestres del Cerro Colorado (provincia de Córdoba). *Revista Geográfica Americana* 14 (86):333-336.
- González, A.R. 1963. Las pinturas indígenas de Cerro Colorado. *Gacetyka* 8 (79):25-26.
- González, A.R. 1977. *Arte Precolombino de la Argentina*. Filmediciones Valero, Buenos Aires.
- Gunn, R.G., L.C. Douglas y R.L. Whear 2014. Interpreting polychrome paintings using DStretch. *Rock Art Research* 31 (1):101-104.
- Hall, K., I. Meiklejohn, J. Arocena, L. Prinsloo, P. Sumner y L. Hall 2007. Deterioration of San rock art: New findings, new challenges. *South African Journal of Science* 103 (9-10):361-362.
- Harman, J. 2008. Using Decorrelation Stretch to enhance rock art images. <http://www.dstretch.com/AlgorithmDescription.html> (17 junio 2020).
- Herrero, S. 1999. Tafonización en las areniscas del Cerro Colorado (Sierra Norte, Provincia de Córdoba), con especial referencia a los aleros con pinturas rupestres. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54 (2):123-131.
- Herrero, S.A., E.L. Piovano y M.A. Kirschbaum 1998. Consideraciones cronológicas de las areniscas Cerro Colorado: criterios petrológicos y geomorfológicos. *Reunión Argentina de Sedimentología: Actas* pp. 111-116. Universidad de Salta, Salta.
- Hoerlé, S. 2005. A preliminary study of the weathering activity at the rock art site of Game Pass Shelter (KwaZulu-Natal, South Africa) in relation to its conservation. *South African Journal of Geology* 108 (2):297-308.
- Köppen, W. y R. Geiger 1936. Das geographische System der Klimate, Berlin. En *Handbuch der Klimatologie*, editado por I. Teil y C. Gebrüder, pp. 1-44. Borntraeger, Berlin.
- Lerma, J.L., M. Cabrelles, S. Navarro y A.E. Seguí 2013. Modelado fotorrealístico 3D a partir de procesos fotogramétricos: láser escáner versus imagen digital. *Cuadernos de Arte Rupestre* 6:82-87.
- López-Montalvo, E. 2010. Imágenes en la roca: del calco directo a la era digital en el registro gráfico del arte rupestre levantino. *Clio Arqueológica* 25 (1):153-196.
- Lugones, L. 1903. Las grutas pintadas de Cerro Colorado. *Diario La Nación*, año I, número 30, 26 de marzo, Buenos Aires.
- Martel, A., S.R. Curletto y E. Del Bel 2012. Arte rupestre y espacios de memoria: las representaciones del sitio Confluencia (Antofagasta de la Sierra, Catamarca, Argentina). *Revista Chilena de Antropología* 25:121-162.
- Martínez, F.R. 2013. Interpretación del arte rupestre a través de dispositivos móviles. *Cuadernos de Arte Rupestre: Revista del Centro de Interpretación de Arte Rupestre de Moratalla* 6:162-163.
- Meiklejohn, K.I., K. Hall y J.K. Davis 2009. Weathering of rock art at two sites in the KwaZulu-Natal Drakensberg, southern Africa. *Journal of Archaeological Science* 36 (4):973-979.
- Mol, L. y H.A. Viles 2010. Geoelectric investigations into sandstone moisture regimes: implications for rock weathering and the deterioration of San Rock Art in the Golden Gate Reserve, South Africa. *Geomorphology* 118 (3-4):280-287.
- Montes, R. 2012. Protecciones físicas para el arte rupestre: su filosofía, tipología, resultados y algunas propuestas novedosas. *Jornadas Técnicas para la Gestión del Arte Rupestre, Patrimonio Mundial*, pp. 179-192. Comarca del Somontano, Barbastro.

- Ollier, C. 1984. *Weathering*. Logman, London.
- Pastor, S. 2012. Arte rupestre, paisaje y tensión social: un caso de estudio en Córdoba, Argentina. *Revista Chilena de Antropología* 26:7-32.
- Pedersen, A. 1959. Las pinturas rupestres de las sierras de Córdoba (República Argentina) y sus normas convencionales de representación. *Anales de Parques Nacionales* 8 (26):51-62.
- Pedersen, A. 1961. Representaciones de carácter mágico-religioso de origen amazónico en las pinturas rupestres de la provincia de Córdoba II. Nuevo método para fechar su antigüedad (ensayo). *Anales de Arqueología y Etnología* 16:228-235.
- Peña-Monné, J.L. y L.A. Longares 2015. Estudio alterológico de los conjuntos rupestres. En *Las Pinturas Rupestres de Bezas y Tormón (Teruel)*, coordinado por M. Bea y J. Angás, pp. 138-155. Parque Cultural de Albarracín, Albarracín.
- Pérez Gollán, J. 1968. *Arte Rupestre de Cerro Colorado*. Filmediciones Valero, Buenos Aires.
- Plets, G., G., Verhoeven, D. Cheremisin, R. Plets, J. Bourgeois, B. Stichelbaut, W. Gheyle y J. de Reu 2012. The deteriorating preservation of the Altai Rock art: Assessing three-dimensional image-based modelling in rock art research and management. *Rock Art Research* 29:139-156.
- Pope, G.A., T.C. Meierding y T.R. Paradise 2002. Geomorphology's role in the study of weathering of cultural stone. *Geomorphology* 47 (2-4):211-225.
- Recalde, A. 2015. Representaciones en contexto. Características del paisaje rupestre de Cerro Colorado (sierras del Norte, Córdoba, Argentina). *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* 40 (2):523-548.
- Recalde, M.A. 2018. Memory in the stone. Rock art landscape at Cerro Colorado as a negotiation space for social memory. En *Archaeologies of Rock Art South American Perspectives*, editado por A. Troncoso, F. Armstrong y G. Nash, pp.106-129. Routledge, Abingdon.
- Recalde, M.A. 2019. Las representaciones rupestres zoomorfas en el centro de Argentina y la construcción de identidades (ca. 1500-400AP). *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 24 (1):83-104.
- Rodríguez Curletto, S.V. 2018. Arte rupestre e identidad local. Diagnóstico de conservación del sitio arqueológico Ampolla 1. *Conserva* 23:95-117.
- Rolandi de Perrot, D., C.J. Gradín, C.A. Aschero, M.M. Podestá, M. Onetto, M. Sánchez Proaño, I.N.M. Wainwright y K. Helwig 1996. Documentación y preservación del arte rupestre argentino. Primeros resultados obtenidos en la Patagonia Centro-Meridional. *Chungara Revista de Antropología Chilena* 28:7-31.
- Ruiz, J.F., M. Sebastián, S. Fernández, E. Quesada y J.M. Pereira 2012. Proyecto 4D. Arte rupestre. 1º fase 2013. Ayuntamiento de Jumilla, Jumilla.
- Sampietro-Vattuone, M.M. y J.L. Peña-Monné 2021. Application of 2D/3D models and alteration mapping for detecting deterioration processes in rock art heritage (Cerro Colorado, Argentina): A methodological proposal. *Journal of Cultural Heritage* 51:157-165.
- Sancho, C., J.L. Peña, M.P. Mata y J.R. González 1994. Estudio alterológico de la arenisca soporte de las pinturas y grabados de la Roca dels Moros de El Cogul (Lleida). *Cuaternario y Geomorfología* 8 (3-4):103-118.
- Schobinger, J. y C. Gradín 1985. *Arte rupestre de la Argentina Cazadores de la Patagonia y Agricultores Andinos*. Encuentro, Madrid.
- Sebastián López, M., A. Uriarte González, J. Angás Pajas y M. Martínez Bea 2010. Documentación sistémica del arte rupestre mediante el análisis espectral del escaneado 3D de las estaciones pintadas en Aragón. *Virtual Archaeology Review* 1 (1):123-127.
- Serrano, A. 1945. *Los Comechingones*. Instituto de Arqueología, Lingüística y Folklore, Córdoba.
- Smith, B.J. 1994. Weathering processes and forms. En *Geomorphology of Desert Environments*, editado por A. Abrahams y A.J. Parsons, pp. 39-63. Chapman and Hall, Londres.
- Sumner, P.D., K.J. Hall, J.L. Van Rooy y K.I. Meiklejohn 2009. Rock weathering on the eastern mountains of southern Africa: Review and insights from case studies. *Journal of African Earth Sciences* 55 (5):236-244.
- Troncoso, A., F. Armstrong y M. Basile 2017. Rock Art in Central and South America: Social settings and regional diversity. En *The Oxford Handbook of the Archaeology and Anthropology of Rock Art*, editado por B. David y I. J. McNiven, pp. 1-45. Oxford University Press, Oxford.
- Twidale, C.R. 1976. *Analysis of Landforms*. Wiley, Nueva York.
- Twidale, C.R. 1982. *Granite Landforms*. Elsevier, Amsterdam.
- Viles, H.A. 2001. Scale issues in weathering studies. *Geomorphology* 41 (1):63-72.
- Vitores, M. y D.N. Ávido 2016. Aplicación de herramientas digitales para la reconstrucción tridimensional de soportes rupestres en el Noroeste Patagónico. En *Imágenes Rupestres: Lugares y Regiones*, editado por A.M. Rocchietti, F. Oliva, y F. Solomita, pp. 401-414. Universidad Nacional de Rosario, Rosario.
- Young, R.W., R.A.L. Wray y A.R.M. Young 2009. *Sandstone Landforms*. Cambridge University Press, Cambridge.