

En Rocchietti, Ana Maria, Oliva, Fernando y Solomita, Fatima, *Imágenes Rupestres: lugares y regiones*. Rosario (Argentina): Universidad Nacional de Rosario.

# Aplicación de herramientas digitales para la reconstrucción tridimensional de soportes rupestres en el Noroeste Patagónico.

Vitores, Marcelo y Avido, Daniela Noemi.

Cita:

Vitores, Marcelo y Avido, Daniela Noemi (2016). *Aplicación de herramientas digitales para la reconstrucción tridimensional de soportes rupestres en el Noroeste Patagónico*. En Rocchietti, Ana Maria, Oliva, Fernando y Solomita, Fatima *Imágenes Rupestres: lugares y regiones*. Rosario (Argentina): Universidad Nacional de Rosario.

Dirección estable: <https://www.aacademica.org/danavido/10>

ARK: <https://n2t.net/ark:/13683/pzBp/dVg>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons.  
Para ver una copia de esta licencia, visite  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>.

*Acta Académica* es un proyecto académico sin fines de lucro enmarcado en la iniciativa de acceso abierto. *Acta Académica* fue creado para facilitar a investigadores de todo el mundo el compartir su producción académica. Para crear un perfil gratuitamente o acceder a otros trabajos visite: <https://www.aacademica.org>.

lluvia eran reforzados, es decir, se aumentaba su poder mediante grabados de cúpulas. Postula para los petroglifos de Cochabamba (Bolivia), una vinculación entre la montaña del Tunari, donde se producían los fenómenos meteorológicos y las rocas con cúpulas y conductos, donde se llevaban a cabo ofrendas con algún líquido, que fluía desde las cúpulas para luego descender al suelo circundante, fertilizando la tierra simbólicamente dentro de una acción de reciprocidad con la montaña sagrada. (Querejazu Lewis, 1998). Además de los registros arqueológicos, el autor menciona varios casos de reutilización de los sitios, donde ha constatado ofrendas de piedra de cuarzo blanco y acullicos de coca, depositados en tiempo de sequía con el propósito de ocasionar lluvias (Querejazu Lewis, 2006). En Perú Alva Meneses y Ventura Ayasta (2007) sostienen que los pocitos presentes en un sitio del Formativo en Cerro La Cal (Departamento de Lambayeque) estarían recreando múltiples y distintos niveles de significado referidos al simbolismo dual vinculado al agua: Los pocitos actuarían “como una gran *Pachcha inscrita en el paisaje: el agua de lluvia (de “arriba”) o las ofrendas depositadas en ellos penetran y fecundan el mundo de abajo”* (Alva Meneses y Ventura Ayasta, 2007:35), como un mecanismo virtual de propiciación agrícola.

Rochietti sostiene para los cupuliformes de la Sierra de Comechingones una vinculación al Formativo andino, donde estos sitios con cúpulas podrían representar huancas protectoras (de los humanos, de las sementeras, de la provisión de lluvias) o el acto por el cual el felino (expresado en su pata, pero también a través de sus manchas o su semen) se personificaba y venía a beber en la orilla, como entidad cósmica encarnada en la piedra (Rochietti, 2012a)

En este sentido, la mirada sobre las vecindades permite ampliar la interpretación y vincular el tema de los grabados a su contexto litológico y ambiental. En este sentido, toma relevancia el embalse y cascada de agua, como un lugar atractor hacia donde se orientan los sitios rupestres presentados. La morfología general del terreno, la disposición de las rocas con grabados a escasos metros del arroyo

e incluso sobre la pileta refuerzan la idea que estas cúpulas pudieran ser el relicto de alguna actividad dirigida hacia el agua, como fuente de fertilidad.

Por el momento de investigación actual, no es posible vincular estas cúpulas directamente a las prácticas sociales que se llevaron a cabo en este espacio, ya que no se encuentran restos de hábitat o de actividades de fabricación de herramientas en las inmediaciones de los sitios. Una investigación en mayor profundidad del área permitirá un mejor acercamiento a estos vínculos.

### Consideraciones Finales

Poner en relación las obras rupestres con los contextos resulta una tarea indispensable para ampliar el conocimiento y comprensión de las mismas. En la investigación de la localidad de Villa El Chacay la observación de la disposición de rocas grabadas, de la interrelación entre los tipos de soportes y los motivos, así como su recurrencia en cercanías del curso de agua, y específicamente donde el terreno parece organizado en torno a un estanque natural, permite pensar en una ritualidad asociada al agua como elemento dador de vida. A la vez permite situarlo como temática dentro de un universo mayor, que se vincula en primera instancia con el resto del repertorio de la cuenca alta del río Cuarto, pero a una escala mayor puede estar relacionada a la ideología formativa que se expresa en el culto al agua, las huancas o cerros y el felino.

En cuanto a la relación con otros registros arqueológicos, se podría distinguir en primera instancia la construcción de un paisaje ritual que, hasta el momento, no parece vinculado a depósitos en estratigrafía. Por supuesto, esta situación dificulta la definición cronológica del momento de ejecución de las obras. Podemos hacer nuestra la hipótesis de Rochietti (Rochietti et al., 2013) que vincula los grabados con cupuliformes al Formativo agrario, por su temática e ideología. Desde luego se espera que el estudio en profundidad de toda el área arqueológica revele información que ayude a resolver esta problemática.

## Aplicación de herramientas digitales para la reconstrucción tridimensional de soportes rupestres en el noroeste patagónico

Marcelo Vitores y Daniela Ávido

### Introducción: el arte rupestre en su contexto espacial

La innovación en las técnicas de digitalización, su implementación en programas de libre acceso y su apertura a los usuarios no expertos constituyen incentivos para su aplicación en los ámbitos de investigación y difusión. En este marco, el modelado tridimensional<sup>1</sup> mediante distintas técnicas ofrece tanto una forma de relevamiento como la posibilidad de socializar virtualmente los objetos registrados. En el presente trabajo se exponen los resultados obtenidos tras la aplicación del modelado tridimensional de soportes rupestres de dos sitios de Norpatagonia: la Unidad I de las cuevas de Comallo (provincia de Río Negro) y la cueva Epullán Chica (provincia del Neuquén) (Figura 1). Dicha forma de documentación gráfica responde a la premisa de relacionar el arte rupestre con su contexto, por lo que debemos especificar la definición de este último concepto.

Muchos autores destacan la importancia de investigar las manifestaciones rupestres en su contexto y, según sus intereses, se enfocan variadamente en el marco cronológico, el ecológico, el sociocultural, el simbólico o el tecnológico. Por dar algunos ejemplos, puede tratarse de no aislar el arte de las rocas en que se encuentra y de su contexto paisajístico (Bradley et al., 1994), profundizar en reflexiones sobre las relaciones que guarda con respecto a su contexto cultural y su entorno natural apelando a “*asociaciones simbólicas*” del tipo “*sitio-panel-motivo*” (Amador Bech, 2007), o realizar un análisis del proceso de producción que implique cierta consideración del espacio rupestre -elección del soporte, postura física, ilu-

minación, etc.- (Aschero, 1988; Múzquiz Pérez-Seoane, 1994). Para la presente aplicación nos limitaremos a una dimensión más práctica y técnica, juzgando que es insertable en una gran diversidad de problemas y perspectivas. En términos generales definiremos al contexto en un sentido espacial, considerando que por medio de éste se articulan, por ejemplo, el contexto arqueológico, el geográfico, u otros. Especificamos niveles de contextos, principalmente según su escala:

-el soporte inmediato: la microtopografía sobre la que apoya el arte, considerando su volumen y diversos planos que en conjunto pudieron influir la elección del soporte y la ejecución de los motivos.

-el ambiente parietal: la estructura “*arquitectónica*” que resulta de las relaciones espaciales entre los distintos soportes (e.g. la geometría de una cueva, alero, paredón, bloque, u otro).

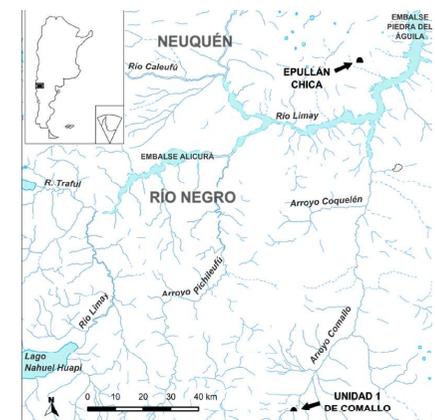


Figura 1. Ubicación de los sitios en la cuenca del Río Limay, Norpatagonia.

-los depósitos arqueológicos: el espacio en que se distribuyen sedimentos y hallazgos, estableciendo relaciones entre sí y con los soportes rupestres (e.g. relaciones estratigráficas), e influyendo parcialmente la configuración del ambiente parietal (por ejemplo alterando la accesibilidad a distintos soportes al colmar espacios, elevar el suelo, etc.).

-la geografía circundante: la topografía de la localidad en la que se inserta el sitio con expresiones rupestres. Facilita un punto de partida para abordar análisis ambientales (e.g. orientación, insolación, escorrentía, aptitud para flora y fauna, etc.) o del paisaje (distribución, intervisibilidad, etc.).

Estos niveles son particiones arbitrarias de un fenómeno relativamente continuo y pueden superponerse o solaparse con otros niveles de registro y análisis propuestos por diversos autores. Por ejemplo, la relación entre los motivos y la topografía o microtopografía de la roca es muy reiterada aunque, según el investigador, se prefiera referir como unidades el panel, la sección, el sector, la superficie grabada, el soporte u otra, aduciendo discontinuidades del relieve, de las representaciones, del campo visual u otros criterios de proximidad espacial (cf. Aschero, 1988; Boschín, 1991; Seoane-Veiga 2009:27; Criado-Boado, 2010). Los campos anteriores, con su organización interna y orientación, suelen ser combinados en distintos niveles de articulación espacial (Criado-Boado, 2010) y su conjunto definirse como soporte total, sitio, grupo o estación (Aschero, 1988; Amador Bech, 2007; Seoane-Veiga 2009). En cuanto a los depósitos estratigráficos, no sólo se los reconoce por proveer asociaciones mediante vestigios de producción e indicadores estilísticos del contenido artefactual, sino también por constituir sellos arqueológicos con utilidad cronológica (Aschero, 1988). De la geografía circundante se puede decir que la topografía es uno de los elementos espaciales del paisaje que en su conjunto se utilizan para definir, por ejemplo, el contexto funcional de ejecución (Aschero, 1988). La delimitación de cada unidad de análisis varía de autor a autor y para diversas circunstancias (considérese cuánto cambia la clasificación si el objeto a estudiar son geogli-

fos), por lo que no es el objeto de este trabajo argumentar unas a expensas de otras. Se desea destacar, en cambio, la aplicabilidad del método en distintas escalas y, en última instancia, la pertinencia del mismo para evaluar más sistemáticamente las definiciones que se propongan.

Operativamente, estos niveles segmentan la continuidad del contexto espacial del arte rupestre para observar, a cada escala, las relaciones entre distintos aspectos de dichas expresiones. Los métodos de documentación de campo pueden evaluarse según permitan gestionar la información en cada uno de estos niveles.

### Documentación del arte rupestre

Existen diferentes maneras de llevar a cabo la documentación, cada una de ellas con distintos requerimientos en cuanto al equipo necesario para el relevamiento o el entrenamiento de quienes lo realizan. Este registro puede incluir, por ejemplo, datos sobre localización, descripciones del emplazamiento y la distribución de los paneles, representaciones de las escenas o motivos, muestreos para análisis químicos, etc. Dicha información constituye la base documental del arte rupestre y, en su aspecto visual, puede ser volcada en libretas, formularios, mapas, calcos, fotografías, mosaicos, panoramas o reconstrucciones 3D<sup>2</sup> (e.g. Mark y Billo, 1999, 2006; Curtis, 2001; Crivelli y Fernández, 2005; Swartz, 2006; American Rock Art Research Association, 2007; Cruz Berrocal y Fraguas-Bravo, 2009; Seoane-Veiga, 2009; Criado-Boado, 2010; Gheco et al., 2013; GIPRI, s/f).

Las diferentes técnicas para producir facsímiles digitales en tres dimensiones incluyen el uso de escáneres láser (Fryer et al., 2005; González Aguilera et al., 2009; Bathow y Breuckmann, 2011), el escaneo mediante luz estructurada (Mañana-Borrazás et al. 2010), re-iluminación interactiva o Reflection Transformation Imaging (Mudgeet al., 2006) y distintas técnicas fotogramétricas para el modelado basado en imágenes (Chandler y Fryer, 2005; Lerma et al., 2006; Remondino y El-Hakim, 2006; Callieri et al., 2011; López Lillo et al., 2011; Moulon y Bezzi, 2012; Pereyra Uzal,

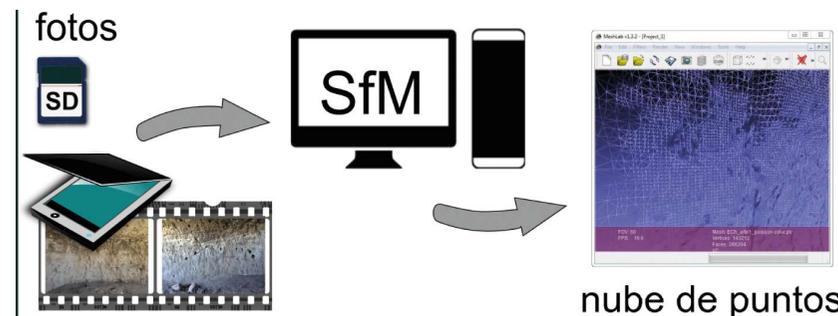


Figura 2. Pasos seguidos en el modelado tridimensional basado en imágenes.

2013; Lerma et al., 2014). Si bien hay cierto solapamiento entre los métodos, la escala del objeto a relevar y las condiciones ambientales marcan algunas diferencias en su aplicación, a lo que se agregan las variaciones en la operación de equipos, costos y rendimientos, motivando las subsecuentes comparaciones en diferentes campos (Fryer et al., 2005; Koutsoudis et al., 2007; Alby et al., 2009; Lo Brutto y Meli, 2012; Skarlatos y Kiparissi, 2012; Santa-gati e Inzerrillo, 2013; Lerma et al., 2014). Para el presente trabajo, consideraciones de acceso y versatilidad indujeron a implementar el relevamiento tridimensional sobre la base de fotografías.

### Modelado basado en imágenes

Las fotografías que forman parte de la base documental del arte rupestre pueden post-procesarse para crear mosaicos, panoramas envolventes o reconstrucciones tridimensionales<sup>1</sup>, en una suerte de progresión de complejidad. El procedimiento para el último producto se conoce como 'modelado basado en imágenes' (image-based modelling o IBM). Una de sus variantes es la técnica Structure-from-Motion (SfM), con la que se han procesado las imágenes de los casos aquí presentados. La aplicación del IBM-SfM resulta un procedimiento sencillo, aunque se desdobra en varias etapas (figura 2). El instrumental necesario se reduce a una cámara digital y una

computadora, herramientas que forman parte del equipamiento corriente. En el campo basta contar con la cámara, puesto que más frecuentemente el procesamiento de las imágenes tendrá lugar en el gabinete.

En primer lugar, se conforma un corpus fotográfico del objeto o la escena que se desea modelar, atendiendo a que las fotografías lo cubran por completo y que las tomas se superpongan, variando no sólo la perspectiva moderadamente, sino que sea necesaria una estructuración determinada entre las tomas. Asimismo, tales fotografías deben conservar sus metadatos, que son los datos sobre la cámara y las características de la toma como fabricante y modelo de la cámara, la distancia focal, la sensibilidad (ISO) y la exposición. Seguidamente, las fotografías se ingresan en el programa informático que hará un reconocimiento automático de rasgos en cada una de las imágenes y comparará éstos sistemáticamente entre todas las fotos, utilizando la información de los metadatos. Sobre las coincidencias y parámetros de cada toma, el programa calcula la posición de las cámaras y genera una nube dispersa de puntos en un espacio tridimensional. Este resultado se re-ingresa en una segunda etapa para generar una nube de puntos densa. Posteriormente, la nube de puntos se edita para suprimir errores, interpolar los puntos en superficies y volúmenes, combinar escaneos parciales y

<sup>1</sup> Toda segmentación tiene su cuota de arbitrariedad en función del enfoque elegido. Para la evaluación del modelado tridimensional, véase una segmentación de escalas con otros criterios en Lambers y Remondino, 2008. <sup>2</sup> Esta clase de metadatos no es de modificación usual, por lo que se debe buscar editores especiales. En este caso se usó ExifTool <http://www.sno.phy.queensu.ca/~phil/exiftool>

aplicar texturas visuales.

Distintos paquetes de software acercan el modelado SfM al usuario. Algunos son complejos en programas propietarios o pagos, pero es destacable que existen opciones de acceso libre. En ciertos casos se trata de plataformas online donde pueden cargarse las fotografías para luego obtener el modelo 3D terminado. Tal es el caso de servidores como Photosynth o 123D Catch, cuya ventaja es liberar al equipo personal del largo cálculo, aunque perdiendo el control del procesamiento y, según el caso, quizá el dominio sobre el producto (Santagati e Inzerrillo, 2013). Alternativamente existen programas de escritorio como Visual SFM (Wu, 2011; Wu et al., 2011) o Python Photogrammetry Toolbox –en adelante PPT– (Moulon y Bezzi, 2012), utilizado en este trabajo como ejemplo de herramienta con una mínima intervención del operador.

Independientemente del software elegido, para obtener mejores resultados es necesario tomar ciertos recaudos cuando se fotografía, como abarcar todos los sectores de interés y hacer tomas superpuestas, variando levemente la perspectiva, a fin de identificar correctamente todos los rasgos en común (véanse recomendaciones para mejorar el rendimiento en Remondino y El-Hakim, 2006). Asimismo debe atenderse la conservación de los archivos originales cuyos metadatos, como la distancia focal del objetivo y el modelo de la cámara, son cruciales para el éxito de la operación.

### Casos trabajados

El presente estudio se circunscribe a dos casos puntuales localizados dentro de la cuenca media del río Limay, Norpatagonia Argentina, que se abre en un ambiente de estepa con precipitaciones inferiores a los 300mm anuales y vegetación de pastos duros y arbustos espinosos, con focos de vegetación hidrófila en los “mallines” o depresiones húmedas (también llamadas vegas en el NOA; Cabrera, 1971:29). El relieve característico es de mesetas y cañadones, muchos de los cuales permanecen secos largas temporadas. Sobre diversos afloramientos se abren aleros y oquedades con evidencia de reiteradas ocupaciones por parte de las poblaciones originarias, y en los

que frecuentemente se plasmó parte de su repertorio rupestre. Las generalidades del registro arqueológico de las sociedades cazadoras-recolectoras del área han sido sintetizadas por otros autores (Boschín, 2000, 2001; Crivelli, 2010; Crivelli Montero y Fernández, 2014), al igual que las características del arte rupestre local (e.g. Crivelli Montero et al., 1991; Crivelli Montero y Fernández, 1996, 2003; Crivelli Montero, 2006; Fernández, 2006; Boschín, 2009; Fernández y Teira Mayolini, 2009; Arrigoni et al., 2011; Fernández y Crivelli, 2011; Arias et al., 2012; Massafarro et al., 2012).

Cueva Unidad 1 de Comallo

En la margen oeste del arroyo Comallo, inmediato a la confluencia con el de las Vacas (departamento Pilcaniyeu de la provincia de Río Negro), se ubica la localidad arqueológica Cuevas de Comallo. La misma nuclea varios abrigos en un afloramiento de rocas de composición riolítica pertenecientes a la Formación Huitrera (Arrigoni, 2010). El más amplio de éstos es el sitio Unidad 1 (U1), un alero de 26,1 m de ancho y 9,3 m de profundidad máxima, con su abertura orientada al oeste. En la década de 1970, Arrigoni inició las investigaciones sistemáticas en el área y la excavación del sitio U1, pero por circunstancias externas los trabajos se discontinuaron hasta años recientes, ocurriendo saqueos en el transcurso (Arrigoni et al., 2010; Arrigoni et al., 2015). Aunque sólo se disponen algunas dataciones radiocarbónicas entre ca. 1000 y 1400 AP (Arrigoni et al., 2011), el espesor de los sedimentos era considerable y los materiales excavados evidencian tanto ocupaciones cerámicas -pre y post hispánicas- (Hajduk, 1977) como precerámicas; por lo cual resta evaluar la profundidad temporal de las primeras ocupaciones. El arte rupestre, presente en todas las unidades, aparece con más profusión en la Unidad 1. Se observan motivos pintados policromos, entre los que destacan antropomorfos y geométricos (Boschín, 2009; Arrigoni, 2010; Massafarro et al., 2012).

### Cueva Epullán Chica

La cueva Epullán Chica está localizada en el departamento Collón Curá, sur de la provincia del Neuquén, sobre el Cañadón del Tor-

dillo, un afluente seco del río Limay, 5 km al norte de este último. Su cavidad está excavada en un afloramiento de tobas volcánicas de la formación Collón Curá y se orienta hacia el nor-nordeste. Sus dimensiones aproximadas son de 4 x 4,5 m. El sitio fue prospectado y excavado en los '80 y '90 en el marco de los Proyectos de Rescate en Piedra del Águila, pero no fue objeto de publicaciones detalladas hasta los últimos años (cf. Crivelli Montero et al., 1991; Prieto y Stutz, 1996; Fernández et al., 2015). La adyacente Cueva Epullán Grande, en cambio, ha recibido más atención y su registro, que alcanza hasta el Holoceno temprano, constituye una referencia para el área. En lo concerniente al arte rupestre destaca por los grabados basales, adjudicables como mínimo a las ocupaciones iniciales (entre otros, ver Crivelli Montero y Fernández, 1996; Crivelli Montero, Pardiñas y Fernández, 1996; Crivelli Montero, Pardiñas, Fernández, et al. 1996; Prieto y Stutz, 1996; Palacios, 2008; Arias et al., 2012). Las evidencias recuperadas en Epullán Chica, en cambio, informan una recurrencia de ocupaciones entre ca. 2200 y 1500 años 14C AP, con escasos materiales posteriores –algunos subactuales– (Fernández et al., 2015). En cuanto al arte rupestre, y en consonancia con las dataciones, se observa un atiborramiento de grabados del Estilo de Pisadas en todo el perímetro interior y el techo de la cueva (Crivelli Montero et al., 1991).

No ahondaremos en detalles sobre la caracterización del arte o los contenidos arqueológicos de los sitios (de los que hay algunas publicaciones y se están preparando otras) y nos centraremos, en cambio, en el relevamiento de los soportes. En lo relativo al registro tridimensional del arte, el antecedente inmediato en la zona lo constituyen, primero, fotografías estereoscópicas de los grabados basales de la cueva Epullán Grande realizadas durante la excavación del sitio y, posteriormente, otro relevamiento fotográfico para la reconstrucción fotogramétrica digital realizado por Luis Teira (Fernández y Teira Mayolini, 2009; Arias et al., 2012). En el último caso se priorizaron los grabados basales, pero el registro fotográfico fue más amplio y abarcó también la cueva Epullán Chica. Parte de esta última documen-

tación se incluyó en el presente trabajo.

## Datos y procedimientos Corpus fotográfico de U1 - Comallo

Las imágenes empleadas para la reconstrucción virtual de la cueva U1 fueron enteramente digitales y se tomaron durante los trabajos de campo del año 2013. Se emplearon dos equipos, Nikon D5000 y Coolpix 8400, con dos operadores en simultáneo para acortar el tiempo de registro en el campo. Se hicieron tanto tomas de plano general como de detalle, repartidas en dos conjuntos: una serie de estaciones alineadas frente al alero, desde las que se reiteraron secuencias panorámicas; y una serie libre, desde múltiples posiciones y distancias (ver una esquematización en la Figura 3). La primera serie se orientó a obtener una línea de base sobre el eje principal de la cueva, a fin de cubrirla sistemáticamente, mientras la segunda buscaba generar suficiente redundancia para la reconstrucción, registrar espacios ocultos a las estaciones lineales y agregar detalle en sectores particulares. Si bien el todo no lo demanda, tal ordenamiento facilita la tarea a los ejecutantes. Para otras reconstrucciones parciales, se adicionaron imágenes de cámaras compactas, realizadas durante el registro general del arte (el cual se hizo sin intención de una reconstrucción 3D).

## Corpus fotográfico de Epullán Chica

Para la cueva Epullán Chica se recurrió a fotos digitales y analógicas. La reconstrucción general usó imágenes digitales de los años 2006 y 2008, anteriores y ajenas a la presente aplicación. Se obtuvieron con dos cámaras, Nikon D200 y Coolpix8400, y abarcan tomas de detalle y otras generales; las últimas componían mayormente una panorámica circular del interior. La combinación de ambas series permitió la necesaria superposición, cumpliendo la secuencia panorámica el rol de línea de base adecuada a la geometría del abrigo (ver una esquematización de las tomas en la Figura 3). Paralelamente se disponía de fotografías analógicas en película blanco y negro de formato

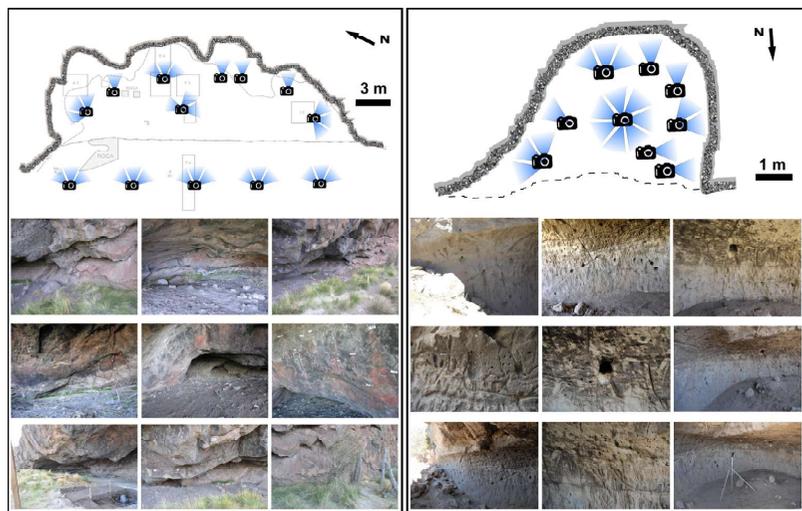


Figura 3. Esquema de las posiciones de las cámaras durante el relevamiento fotográfico en la Unidad 1 de Comallo (arriba a la izquierda) y en Epullán Chica (arriba a la derecha), con algunos ejemplos de las fotografías obtenidas.

Caso	imágenes ingresadas	imágenes rechazadas	ancho	CPU		tiempo	n° vértices
				Procesador	RAM		
U1	135	1	2000 px	2.7 GHz	4Gb	3-4 días	1.233.756
ECh	115	1	2500 px	3.4 GHz	8Gb	2-3 días	3.207.474

Tabla 1. Datos de procesamiento y resultados para dos mallas generales. Referencias: U1= Unidad 1 de Comallo; ECh=Cueva Epullán Chica; Ancho= ancho del fotograma en píxeles; CPU= equipo informático, resumido con la velocidad del procesador y memoria RAM. Se indica el tiempo aproximado de procesamiento en PPT y el número de vértices resultantes.

135 (35 mm) realizadas en la década de 1980 y anteriores a la excavación del sitio. No se incluyeron en el modelo general para evitar inconsistencias imprevistas, dado que ocurrió una remoción de volúmenes de la escena entre ambas instancias. Sin embargo, se realizaron ensayos paralelos para dos paneles de arte con un conjunto acotado de fotos. Para el procesamiento se combinaron con algunas imágenes digitales (las selecciones analógica ni la digital permitan por sí solas la reconstrucción). Los datos de la toma y lente -distancia focal 50mm- se encontraban documentados en un registro de fotografía (Crivelli y Fernández, 2005) cuyo resguardo permitió incorporarlas al procesamiento.

### Procesamiento

Como se mencionó, el flujo de trabajo (Figura 2) exige conservar los metadatos exif de las imágenes, ya que incluyen información sobre el fabricante y modelo de la cámara y sobre las características de la toma, como la distancia focal. Con la información sobre el fabricante y modelo de la cámara, el programa interpreta el tamaño del sensor si su valor se ingresó previamente, o solicita el ingreso si lo desconoce. Con las fotos digitales el proceso es más sencillo ya que estos datos están incluidos por defecto y sólo se requiere ingresar en el programa el tamaño de sensor de cada aparato. Las fotografías analógicas, por otra parte, requieren mayor dedicación puesto que sus negativos deben ser escaneados y luego modifica-

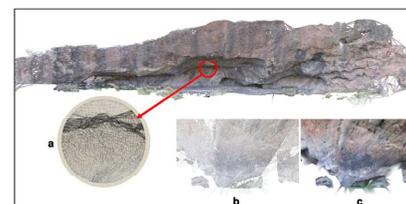


Figura 4. Malla virtual de la Unidad 1 de Comallo. Referencias: a= detalle de la malla en un sector sin pinturas; b= detalle de la malla en un sector con pinturas; c= detalle de la malla en un sector con pinturas luego de la aplicación de textura fotográfica.

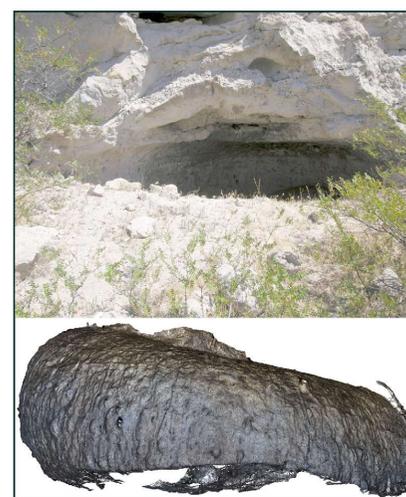


Figura 5. Foto del exterior de la cueva Epullán Chica y reconstrucción de las paredes interiores con los motivos grabados.

dos debido a que los datos exif corresponden al escáner y no representan los valores de la cámara<sup>2</sup>. En otras palabras, los metadatos de los escaneos de las fotografías analógicas deben ser editados para que reflejen las características de la toma analógica. Para todas las cámaras con película de 35mm se ingresó

un atributo genérico, dado que el tamaño del “sensor” es el de la película, mientras que la distancia focal tuvo que haberse anotado en el momento de la toma para conocerla.

Los pasos siguientes son relativamente automáticos y sólo requieren especificar el submuestreo de tamaño de las imágenes, que se definió en 2000 o 2500 píxeles de ancho (ver Tabla 1). La posterior elaboración de los datos primarios, en este caso las nubes de puntos tridimensionales, se realizó mediante el software libre Mesh Lab (Cignoni et al., 2008) para interpolar los puntos en mallas y aplicar texturas fotográficas.

### Resultados

Dado que el objetivo del trabajo era ejemplificar la aplicación del modelado tridimensional fotogramétrico como complemento para la documentación de arte rupestre, hemos expuesto dos casos norpatagónicos a los cuales aplicamos dicha técnica y realizamos una serie de observaciones para evaluar su potencial analítico en distintos niveles de contexto. En la Tabla 1 se presentan los datos para cada una de las reconstrucciones generales incluyendo: cantidad total de imágenes, cantidad de fotografías cuyos rasgos no pudieron ser vinculados con otras, tamaño al que se redujeron las fotografías para acelerar el procesamiento, capacidad del equipo informático usado (velocidad del procesador y memoria RAM), tiempo insumido en el procesamiento y cantidad de vértices que componían la nube de puntos resultante. Se aprecia que con un elevado número de fotografías los cálculos demoran un tiempo considerable. No obstante, este proceso es autónomo y no requiere ninguna interacción hasta completarse, puesto que incluso el submuestreo de las imágenes (indicado como “ancho” en la Tabla 1) se ajusta en el mismo programa, previo al cómputo de las nubes de puntos. Diferencias modestas

<sup>1</sup> Por resolución de una imagen se entiende básicamente el número de píxeles que la componen y que permiten apreciar un mayor o menor grado de detalle. Dado que las imágenes suelen tener un formato de cuadro semejante, nos alcanzará con informar su ancho. En cuanto a los modelos tridimensionales, también podemos referirnos a su resolución, que en este caso refiere al número de vértices o puntos tridimensionales. Estas medidas son relativas y, para un mismo objeto o escena, diremos que sus representaciones tienen diferente densidad en función del número de puntos que la integran.

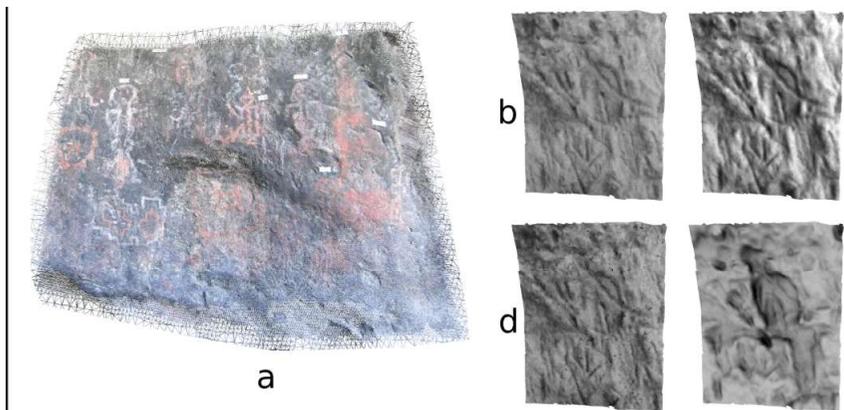


Figura 6. Relevamiento de motivos al nivel del soporte inmediato. Referencias: a= detalle de U1 con distribución de figuras influida por topografía del soporte; b-e= detalle de ECh con aplicación de filtros de iluminación (b= sin filtro; c= iluminación rasante; d=escalado de radiación destacando relieve menor; e=oclusión ambiental destacando relieve mayor).

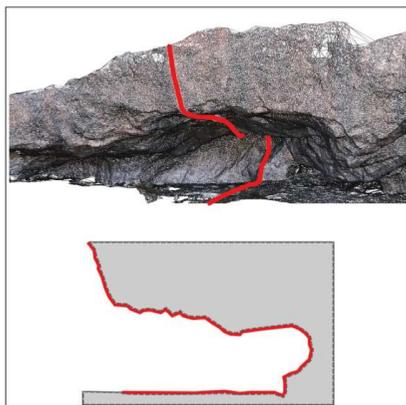


Figura 7. Sección realizada sobre la reconstrucción virtual de U1. La línea sobre el modelo tridimensional representa la intersección con el plano de corte. La elección del sector es azarosa y sólo pretende ilustrar el potencial del modelo virtual para la representación de secciones.

en la resolución<sup>3</sup> de las fotos resultan en notorias diferencias en la densidad de vértices logrados, pero acarrear el riesgo de que la operación falle. En otras palabras, si bien es cierto que a mayor resolución de las imágenes es mayor la probabilidad de obtener una nube de puntos más densa, al mismo tiempo es mayor la probabilidad de que ocurran errores en el proceso, interrumpiéndose el cálculo,

debido a la saturación de la capacidad del equipo informático. Consecuentemente, se suele sugerir utilizar imágenes con un ancho máximo de 2500 píxeles, especialmente cuando el número de fotos es grande. De hecho, para obtener modelos más detallados (nubes de puntos más densas), es preferible aumentar el número de fotos y no la resolución de las mismas, porque es la variación en la perspectiva la que permite triangular los puntos en el espacio. Pueden combinarse fotografías con distinta resolución y de diferentes cámaras en un mismo procesamiento, siempre que en conjunto cumplan con esta condición de superposición. Las Figuras 4 y 5 ilustran parcialmente los modelos generales obtenidos para cada sitio.

## Consideraciones en relación al contexto

### 1° nivel: el soporte de cada motivo

Especialmente, el soporte inmediato es la menor escala contextual de los motivos rupestres. La técnica permite un registro no deformado, reproyectable en imágenes bidimensionales según las necesidades del caso, por ejemplo creando una vista virtual que no fue captada individualmente por ninguna toma (véase también Figura 8). Esto último resulta crucial cuando en el campo no se pueden tomar

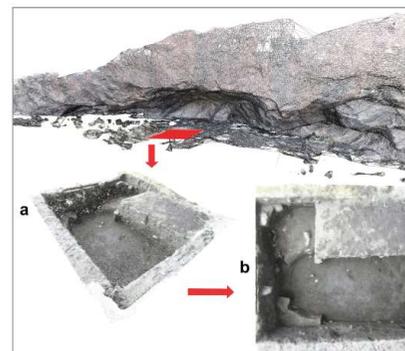


Figura 8. Reconstrucción de excavación en el sitio U1 (a) con la técnica SfM a partir de la cual se obtuvo una vista cenital virtual (b).

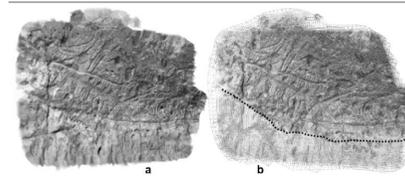


Figura 9. Reconstrucción con fotos de archivo de ECh. Comparación del modelo plano con textura (a) y la malla de triángulos (b). La línea de puntos señala el cambio de densidad de la malla, consecuencia de combinar fotografías anteriores y posteriores a la remoción de sedimentos.

fotos en una posición conveniente (debido a un espacio estrecho, excesiva altura, u otra razón). La reconstrucción 3D es un medio para revisar la asociación de expresiones rupestres y microtopografía de los soportes, con posterioridad a la instancia de registro en el campo (Figura 6.a). Asimismo permite aplicar iluminaciones virtuales, independientes de la iluminación real del relevamiento fotográfico, como así también variados filtros para destacar el relieve u otras propiedades (Figura 6.b-e). Según la técnica de ejecución, se adecuan distintas formas de representación. Con los motivos grabados, como el caso de Epullán Chica, el modelado geométrico es una representación suficiente, prescindiendo de la aplicación de texturas fotográficas que incluso pueden

obstaculizar la visualización (por ejemplo, por sombras inconvenientes durante la toma fotográfica). Las pictografías, como las de Comallo, requieren la aplicación de dichas texturas, que se obtienen interpolando el color de cada punto tridimensionado o proyectando las fotografías sobre las superficies del modelo. Por las mismas razones, se observa que el relevamiento de los grabados se beneficia de mallas con mayor resolución<sup>4</sup>, mientras que para las pinturas es suficiente una más baja, como ha sido remarcado por otros investigadores (Chandler y Fryer, 2005; Chandler et al., 2007).

### 2° nivel: el entorno parietal

El modelado del entorno parietal aborda la integración de todos los paneles y soportes en una cartografía tridimensional del sitio. Los volúmenes mayormente irregulares de cuevas, aleros, bloques y otros soportes, dificultan el tradicional mapeo manual in situ; donde además se debe seleccionar a priori qué perfiles y plantas se dibujarán, omitiendo otros potenciales. A partir del modelo 3D se pueden generar múltiples secciones y plantas que se adecuen a diferentes necesidades de los sucesivos análisis (Figura 7). Facilita, además, una inmersión virtual que amplía la percepción del espacio. Ésta puede realizarse mediante el modelo generado o con un fotopanorama tridimensional, donde se navega la colección fotográfica original que está orientada en el espacio (ver, por ejemplo, Brivio et al., 2013).

### 3° nivel: los depósitos arqueológicos

El entorno parietal se completa con los depósitos arqueológicos que contribuyen a delimitar el espacio y que mediante su posicionamiento agregan, respecto del arte, importantes relaciones topológicas (como las estratigráficas). El modelado de las superficies de excavación puede combinarse a su vez con el registro tridimensional de hallazgos y mapearse en conjunto con el entorno parietal, para obtener una visión integral. En Comallo se empleó la misma técnica para registrar distintas instan-

<sup>1</sup> En este caso, resolución refiere a la cantidad de nodos que conforman la malla.

cias de la excavación (Figura 8), insuñiendo pocos minutos la sesión fotográfica. En el caso de Epullán Chica se utilizaron fotografías de archivo, previas y posteriores a la remoción estratigráfica, cuya combinación permitió apreciar las diferencias sedimentarias; en el modelo resultante, ilustrado en la Figura 9, se destacan como diferentes densidades de puntos. Independientemente de su relación con el arte rupestre, el registro fotogramétrico tridimensional de la excavación es una herramienta valiosa y de permanente interés (Barceló et al., 2003; Barceló y Vicente, 2004; Fiorini et al., 2011; Charquero Ballester y López Lillo, 2012; Dell'Unto, 2014). Las series temporales, logradas a través del registro periódico del espacio, además de permitir la reconstrucción estratigráfica son un recurso relevante para el control y la conservación de los sitios.

#### 4° nivel: el ambiente circundante

La inserción del registro 3D del arte rupestre en su contexto geográfico puede apelar al escalado, orientación y georeferenciación de las réplicas virtuales (Sauerbier et al., 2008; James y Robson, 2012). La misma técnica SfM puede extenderse al relevamiento fotogramétrico del entorno. La recopilación fotográfica del presente trabajo no fue suficiente para obtener resultados positivos. En el caso de Comallo, las escasas tomas no cubrían la suficiente variación de perspectiva, limitación acrecentada por la escala. En el caso de Epullán Chica no se previó la compulsión exhaustiva del archivo fotográfico con este fin, aunque podría esperarse una dificultad similar. Sin embargo, no debe descartarse la conveniencia de modelar el entorno sobre la base de fotos de campo -en especial donde la topografía lo facilita- o incluso con fotografías aéreas. El resultado, transformado en un modelo de elevación del terreno, podría integrarse en un sistema de información geográfica. Otros autores han informado de la aplicación de fotos de archivo a escala geográfica para restituir paisajes obliterados por obras y mapear la subsecuente información arqueológica (Cerrillo-Cuenca y Sanjosé, 2013).

Para cada nivel contextual los modelados pueden realizarse independientemente o combi-

narse en un modelo multiescala, es decir, un modelo único en que la densidad de puntos y de la malla tridimensional varíe en función de focos de interés. Supóngase una malla de baja resolución que representa el entorno circundante y que aumenta a una densidad media de puntos en la extensión del entorno parietal hasta alcanzar la mayor resolución, es decir una mayor densidad de nodos que permiten apreciar detalles, en diversos focos sobre los que se desarrollan los motivos rupestres. Esta configuración se define sobre la base del conjunto de tomas fotográficas: su número, solapamiento y acercamiento al objeto.

#### Conclusiones

Los casos trabajados permiten constatar algunos beneficios y proyectar varias potencialidades, tanto del registro 3D en general como de la técnica SfM en particular. En primer lugar, los modelos virtuales enfatizan el realismo de la representación y permiten una mejor apreciación de las relaciones espaciales. Considerando que los ejecutores del arte rupestre han aprovechado reiteradas veces la morfología natural de los soportes en su desarrollo tridimensional, consideramos acertado que el registro de estos productos se realice también en tres dimensiones (Chandler et al., 2007). Esta apreciación debe extenderse no sólo al soporte inmediato en que se ejecutaron los motivos, sino a la "arquitectura" del sitio que conforman el conjunto de los soportes como así también los depósitos arqueológicos y su inserción en la topografía circundante. Este registro comienza con los motivos mismos, en la medida que la técnica de ejecución implicó una modificación geométrica del soporte, como ocurre con los grabados. Aún más importante es la posibilidad de combinar estos distintos niveles en un único modelo multiescala. Esta integración es más sencilla con unos sistemas de relevamiento que con otros. Al ser intrínsecamente multiescala, la técnica SfM ahorra pasos de edición. La digitalización permite, además, rehacer mediciones con diferentes criterios a posteriori del relevamiento y compartir los modelos con mayor facilidad, incluso a través de servidores web como Sketchfab (www.sketchfab.com).

Una potencialidad de los modelos virtuales es la integración con otros registros y análisis digitales. Una posibilidad es su inserción en un sistema de información geográfica, particularmente para las reconstrucciones topográficas del entorno. Distintos filtros se pueden aplicar sin dificultad para destacar determinadas características del relieve o simular virtualmente diferentes iluminaciones. Un desarrollo más complejo sería la simulación sonora de los ambientes (Tsingos et al., 2011). Tales ensayos inducen una experiencia inmersiva que, para ciertas perspectivas teóricas, puede interesar como un pasaje del contexto espacial a otros contextos experienciales. Otra alternativa es potenciar la visualización combinando con los modelos tridimensionales el análisis digital de las imágenes ya usado regularmente para destacar figuras pintadas (por ejemplo, Montero Ruiz et al., 1998; Clogg y Díaz Andreu, 2000; Quesada Martínez, 2008; Acevedo y Franco, 2012). Ello sería posible debido a que SfM procesa en conjunto las fotografías y éstas quedan escaladas y orientadas respecto del modelo resultante y, al momento de proyectar la textura, se podrían emplear directamente las copias realizadas digitalmente.

Un valor agregado del modelado basado en imágenes es el potencial del archivo fotográfico (ver también Ávido y Vitores, 2015). En el caso de la cueva Epullán Chica, se pudieron combinar sin conflicto imágenes de archivo de tres años distintos, tomadas con diferentes equipos (incluso analógicos) y motivadas por variados intereses. Adicionalmente, la yuxtaposición en un mismo procesamiento de fotografías anteriores y posteriores a la excavación, resultó en una diferenciación en la densidad de puntos para la zona transformada. Alternativamente podrían contraponerse modelos independientes para distintos momentos, como también se sugiere para registrar el proceso de excavación de los sitios. Una secuencia de fotografías tomadas en distintos momentos permite hacer una suerte de "estudio longitudinal", abriendo la posibilidad de llevar cuenta de los procesos de alteración y deterioro de los sitios, por ejemplo, para su control y conservación. Nuevamente, la implementación SfM tiene la virtud de extender

ese análisis tanto a futuro como en retrospectiva al acudir al archivo fotográfico. La conservación del sitio no debe considerarse un factor externo: el relevamiento mismo debe ser lo menos invasivo posible. Nuevamente el procedimiento elegido se destaca, al no intervenir físicamente en los soportes, ni siquiera mediante la colocación de dianas o marcadores. Tal como se ha expuesto, la principal ventaja de la técnica SfM es obtener una reconstrucción virtual de buena calidad con herramientas ampliamente disponibles, evitando la adquisición y traslado de equipo especializado y costoso (como por ejemplo un escáner láser). Resulta ampliamente ventajosa la facilidad del relevamiento, que es independiente de la escala, prescinde de tomas estructuradas y es apto para la utilización de la iluminación natural en entornos abiertos. Tales características permiten que la mayoría de los operarios pueda realizar la documentación sin necesidad de acudir a especialistas, agilizando en consecuencia la prospección.

De lo último surge otro aspecto de interés. La facilidad de la técnica da lugar a que el relevamiento pueda hacerse de manera colaborativa, a mayor escala y con escasa instrucción. Proyectos como Building Rome in a Day (<http://grail.cs.washington.edu/rome>) han procesado millones de imágenes tomadas por turistas para la creación de modelos virtuales de diferentes puntos de Roma. Otros, como "Mosul Project" apelan igualmente a la colaboración online y al aporte de fotografías preexistentes para la reconstrucción virtual de bienes culturales destruidos (<http://projectmosul.org/>). En cuanto al arte rupestre, otros autores ya destacaron la ejecución participativa por organizaciones locales, ayudando a la difusión y la comprensión pública del patrimonio (Chandler et al., 2007). En tanto que el arte rupestre se asocia recurrentemente a la temática patrimonial, no son tantas las propuestas concretas para efectivizar alguna apropiación pública compatible con la investigación arqueológica. En este aspecto también juzgamos idónea la técnica SfM, por tratarse de un sistema de registro no invasivo, sencillo, altamente flexible, accesible median-

te software libre, y que en su aplicación pública también puede proveer un aporte sustantivo a la investigación (y viceversa). Por lo tanto, además de tratarse de una herramienta para reconstruir el contexto del arte rupestre en diferentes niveles o escalas espaciales (y mediando estas, acceder a otras definiciones de contexto), es también un recurso para seguir relacionando la práctica académica con su contexto social más amplio.

### Agradecimientos

A Eduardo Crivelli, Mabel Fernández, Luis Teira, Gloria Arrigoni y María Teresa Boschín por el material fotográfico y documental facilitado. Trabajo realizado en el marco de los proyectos UBA-CyT F066 (UBA), PIP 1605 (CONICET) y PICT 2011-0776 (APCyT).

*ciones a veces con morteros aislados o en*

## Gestión del arte rupestre neuquino. Caso parque arqueológico Colomichicó

Teresa Vega • Mónica Beatriz Gelós • Pablo Bestard

### Introducción

El Parque Arqueológico Colomichicó se ubica en el Departamento Minas, en el Norte de la Provincia del Neuquén, a aproximadamente 15 km de Varvarco (localidad más cercana) y a unos 6 km de la Escuela N° 234. Su coordenada geográfica es 36° 57' 30" de latitud sur y 70° 40' longitud oeste, con una altitud relativa del yacimiento de aproximadamente 2000 msnm sobre la ladera occidental de la Cordillera del Viento, además de la localidad de Varvarco, otros puntos urbanos situados en su área de influencia son Las Ovejas, Huinanco, Invernada Vieja y Butalón, también ubicados en el departamento anteriormente mencionado. La proximidad del río Neuquén y los arroyos Butalón y Colomichicó sirve de referencia geográfica.

La extensión total del área intervenida, es de aproximadamente 81 hectáreas (811.915 m<sup>2</sup>), incluyendo el yacimiento arqueológico (767.181 m<sup>2</sup>), el área destinada al Centro de Servicios sobre la Ruta Provincial N° 39 y en inmediaciones de la Escuela N° 284 (7.367 m<sup>2</sup>), servidumbre de paso correspondiente al sendero de acceso (18.749 m<sup>2</sup>), y el lote urbano destinado para la construcción del Centro de Visitantes en la localidad de Las Ovejas (30.000 m<sup>2</sup>).

En cuanto a las vías y medios de acceso al área, el mismo puede realizarse por Ruta Provincial N° 43 y luego por Ruta Provincial N° 39, o solo por RP N° 39, ambas de ripio consolidado.

### Aspectos geográficos y climáticos

El clima de la región podría sintetizarse como cálido y seco en verano, con transición a un otoño subtemplado seco húmedo con ligera tendencia a húmedo. El invierno se presenta subtemplado seco húmedo, mientras que la primavera es templada cálida y muy seca. El área presenta dos estaciones climáticas con-

trastadas, inviernos fríos y húmedos y veranos cálidos y secos; pudiendo definirse como mediterráneo.

En cuanto al relieve, el área se encuentra ubicada en una zona de valles delimitada por la Cordillera de los Andes y la Cordillera del Viento, encontrándose por encima de los 750 m.s.n.m. En las dos cordilleras mencionadas, la altura supera los 2500 metros. Entre las dos cordilleras se encuentra un valle por el cual transcurre el río Neuquén, recibiendo afluentes de otros cursos de agua como el río Varvarco-Campos, el río Nahueve, el río Trocomán y otros de menor caudal, como el Lileo y el Guañaco. A todos estos, les aporta agua un gran número de arroyos que nacen en la Cordillera de los Andes y en la Cordillera del Viento. En las áreas que han sido afectadas por las últimas glaciaciones como en las nacientes del río Nahueve, se formaron cuerpos de agua lenticos, tal es el caso de las lagunas de Epulauquen y de Vacaulaufquen. En toda la comarca predomina un relieve muy influenciado por los plegamientos orográficos, determinando que las pendientes de la mayor parte del territorio sean superiores al 16%, lo cual ha tenido una incidencia notable tanto en la vegetación existente, los tipos de suelos y los procesos erosivos, como en los sitios en los que se han producido asentamientos humanos y en las vías de comunicación. El sector oriental está dominado por la Cordillera del Viento, hacia el este, el valle del río Neuquén se encuentra en las Sierras Sedimentarias Plegadas, las que se extienden hasta el río Nahueve, desde este último hacia el oeste predominan las rocas efusivas con cubierta piroclástica hasta llegar a la Cordillera Patagónica Septentrional y Principal.

Finalmente, y en relación a la vegetación, puede decirse que la misma se caracteriza por encontrarse en una zona de ecotono, registrándose una convivencia de dos regiones fitogeográficas, el Bosque Andino Patagónico