



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 internacional

Hallazgo de un nuevo segmento de Qhapaq Ñan en la sierra del Shincal (Londres, Catamarca):
tecnología LiDAR aéreo como herramienta para la detección y análisis de caminos
Reinaldo A. Moralejo, Diego Gobbo, Daniel Del Cogliano
Relaciones, 47(1), e028, enero-junio 2022
ISSN 1852-1479 | <https://doi.org/10.24215/18521479e028>
<https://revistas.unlp.edu.ar/relaciones>
Sociedad Argentina de Antropología (SAA)
Buenos Aires | Argentina

HALLAZGO DE UN NUEVO SEGMENTO DE *QHAPAQ ÑAN* EN LA SIERRA DEL SHINCAL (LONDRES, CATAMARCA): TECNOLOGÍA LiDAR AÉREO COMO HERRAMIENTA PARA LA DETECCIÓN Y ANÁLISIS DE CAMINOS

*Reinaldo A. Moralejo**, *Diego Gobbo*** y *Daniel Del Cogliano****

Fecha de recepción: 28 de diciembre de 2021

Fecha de aceptación: 18 de abril de 2022

RESUMEN

Se presenta el hallazgo de un segmento de camino incaico localizado en la sierra del Shincal (Londres, provincia de Catamarca, Noroeste argentino) mediante la utilización de una tecnología moderna, nunca antes usada con fines arqueológicos en nuestro país, conocida como LiDAR aéreo. Se trata de una técnica de teledetección óptica compuesta por un sensor activo que permite identificar diferentes niveles de información como, por ejemplo, construcciones humanas ocultas por la vegetación. Todas las mediciones fueron apoyadas desde tierra con receptores GPS geodésicos de doble frecuencia. Se obtuvo así una nube de puntos 3D que fue clasificada con el propósito de generar imágenes y modelos de elevación digital para poder identificar nuevas estructuras arquitectónicas. Esta tarea permitió detectar un rasgo lineal que posteriormente fue reconocido en el terreno como un segmento del Qhapaq Ñan que recorre el sitio arqueológico inca de El Shincal.

* División Arqueología, Museo de La Plata. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Correo electrónico: reinaldo-moralejo@yahoo.com.ar

** División Arqueología, Museo de La Plata. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Correo electrónico: dgobbo@fnym.unlp.edu.ar

*** Departamento de Astrometría. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata. Correo electrónico: ddelco3057@gmail.com

Palabras clave: *El Shincal de Quimivil – caminos antiguos – incas – light detection and ranging – Noroeste argentino*

*DISCOVERY OF A NEW QHAPAQ ÑAN SEGMENT ON SIERRA DEL SHINCAL
(LONDRES, CATAMARCA): AIRBORNE LiDAR TECHNOLOGY AS A TOOL FOR ROAD
DETECTION AND ANALYSIS*

ABSTRACT

The discovery of a segment of the Inca trail located on Sierra del Shincal (Londres, Catamarca Province, Northwest Argentina) is presented using modern technology, never before used for archaeological purposes in our country, known as airborne LiDAR. This is an optical remote sensing technique composed of an active sensor that allows the identification of different levels of information, such as human constructions hidden by vegetation. All measurements were backed up from the ground with dual-frequency geodetic GPS receivers. A 3D point cloud was obtained and classified in order to generate images and digital elevation models to identify new architectural structures. This allowed us to detect a linear feature that was later recognized in the field as a segment of the Qhapaq Ñan that runs through the Inca archaeological site of El Shincal.

Keywords: *El Shincal de Quimivil – ancient roads – incas – light detection and ranging – Northwest Argentina*

INTRODUCCIÓN

Los caminos y senderos son elementos esenciales y particulares del paisaje humano. Esenciales porque constituyen una de las formas más claras para conectar e integrar diversos lugares o destinos con diferentes distancias entre sí; y particulares por el tipo de abordaje metodológico que requieren a la hora de su análisis. En cuanto a esto último, sabemos que por tratarse de un rasgo lineal –que en la mayoría de los casos adquiere distintas características a lo largo de su recorrido– la interpretación, además de su descripción, dependerá en gran medida de los sitios arqueológicos, los objetos y las entidades no humanas asociadas.

En este sentido los caminos o senderos, o lo que podríamos llamar de modo genérico rutas o vías de circulación, representan paisajes de movimiento, un contexto para llegar allí (*getting there*) que evoluciona constantemente a través de su uso y diseño (Snead *et al.* 2009). Entonces, considerando que el movimiento es una condición inherente al ser humano y, por lo tanto, una práctica cultural que genera redes de interacción (Bourdieu 1977; Giddens 1984; Murrieta-Flores 2010), es difícil pensar en sociedades que no cuenten con espacios donde suceda la circulación. El estudio de estos espacios representa en términos genéricos una arqueología del tráfico o arqueología de la movilidad que resulta de gran importancia para complementar los estudios clásicos de interacción interregional concentrados en los nodos (Berenguer 2004; Nielsen 2006; Berenguer y Pimentel 2017).

El análisis pormenorizado de las vías permite entonces conocer las complejas relaciones entre lugares y movimiento que comúnmente se dan en una sociedad, permitiendo incorporar desde los rastros o huellas de la cotidianeidad de los actores hasta los sistemas de producción y comunicación y aspectos simbólicos que le dan vida (Earls 1979).

En el caso particular de los caminos incaicos, tema de este trabajo, sabemos que éstos constituyeron un elemento de poder clave en la expansión y conquista de los territorios del *Tawantinsuyu*. Para John Murra, representaban “una bandera del Estado incaico debido a su

gran visibilidad y por la forma clara con la que vinculaban al individuo con la autoridad central” (Hyslop 1992:258).

Nuestro objetivo consiste en presentar el hallazgo de un segmento de camino incaico localizado sobre la sierra del Shincal (Londres, Catamarca) mediante la utilización de tecnología LiDAR (*Light Detection and Ranging*) aéreo.

El Shincal de Quimivil es un sitio político, administrativo y ceremonial incaico emplazado en el centro-oeste de la provincia de Catamarca, Noroeste argentino. Se trata de una de las *Ilaqtas* concebida, planeada y construida de acuerdo al modelo establecido por los incas para sus centros políticos regionales (Raffino 2004). Su emplazamiento en esta región se debió a diversos intereses políticos, simbólicos y económicos relacionados con la expansión hacia los territorios más australes del *Qollasuyu*, y que condujo a la implementación de diversas estrategias de articulación con las comunidades locales anexadas (Williams y D’Altroy 1998).

En este artículo nos interesa concentrarnos en la utilización de una tecnología moderna basada en el escaneo láser, nunca antes usada en nuestro país con fines arqueológicos. Esta tecnología nos ayudó, por un lado, a revalidar y ajustar el recorrido del Camino del Inca sobre la serranía del Shincal y, principalmente por otro, a encontrar un nuevo segmento dentro de la quebrada del río Hondo, hacia el noreste del sitio¹.

Por último, cabe destacar que la implementación de esta nueva tecnología fue posible gracias a un *Convenio de Colaboración Científica y Tecnológica entre la Universidad Nacional de La Plata, la Universidad Nacional de Catamarca, el Gobierno de Catamarca y la empresa Consular Consultores Argentinos Asociados SA*. Esta última es la propietaria de un sistema LiDAR aéreo y fue quien se ocupó de realizar el vuelo.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde al sector suroeste de la sierra de Belén y se encuentra delimitada por los ríos Hondo y Quimivil, al oriente y occidente, respectivamente. Esta zona es denominada por los pobladores locales como sierra del Shincal. Hacia el norte de esta se localiza el cerro Shincal con una altura de 2.305 m s.n.m. y hacia el sur –sobre el piedemonte de la ladera– se localiza el sitio arqueológico inca de El Shincal de Quimivil.

La sierra de Belén forma parte del sistema de Sierras Pampeanas Noroccidentales, que ocupa el centro y sur de la provincia de Catamarca. Junto con la sierra de Zapata (localizada de manera contigua hacia el occidente) y las sierras de Capillitas, Santa Bárbara y de la Ovejería (localizadas hacia el oriente) conforman uno de los cordones montañosos más importantes que se desprende de la sierra del Aconquija hacia el suroeste y que empalma más al sur con elementos orográficos de la Puna y sierra de Famatina. En términos generales presenta valles longitudinales y angostos y está compuesta por un basamento precámbrico de metamorfitas y granitos como elementos principales, con depósitos terciarios en valles y cuaternarios en las áreas proximales de los piedemontes (González Bonorino 1972; Morlans 1995).

Específicamente dentro del área nos interesa resaltar la cara lateral sureste de la sierra del Shincal, en cuyo piedemonte se tiende la traza del *Qhapaq Ñan* o Camino del Inca. Este camino forma parte del sitio arqueológico El Shincal de Quimivil y corre en sentido suroeste-noreste en dirección al valle de Hualfín. Durante este recorrido se introduce en la quebrada del río Hondo y es allí donde se registró un nuevo segmento que nos permitió definir su trazado.

Es importante destacar que el río Hondo es un curso de agua estacional con un gradiente pronunciado que en épocas estivales aumenta su caudal debido a las precipitaciones y genera depósitos aluviales con rodados de gran tamaño.

De acuerdo con la metodología implementada en esta investigación es necesario tener en

cuenta la fisonomía vegetal del área de estudio. Esta se halla fuertemente influenciada por las variables topográficas (pendiente, orientación), altitudinales (1.200 a 3.056 m s.n.m.), latitudinales y pedológicas. Se destaca claramente la presencia de la provincia fitogeográfica del Monte dentro de la cual se desarrollan dos comunidades vegetales: Monte Espinoso y Jarillal (Cabrera 1951; Morlans 1995).

El Monte Espinoso se extiende sobre la parte apical de los conos aluviales de la ladera meridional de la sierra del Shincal. En su interior se identifica una comunidad *climax* de “bosque abierto con arbustal espinoso caducifolio” que se extiende entre los 1.250-1.300 y 1.500 m s.n.m. (Capparelli 1997). Posee un estrato arbóreo formado principalmente por *Prosopis flexuosa* (algarrobo negro), al que acompañan *Geoffroea decorticans* (chañar), *Celtis tala* (tala), *Acacia aroma* (tusca) y *Prosopis torquata* (tintitaco); en menor medida se encuentra *Prosopis chilensis* (algarrobo blanco), *Trichocereus terscheckii* (pasacana) y *Acacia visco* (visco). Por otra parte, el estrato arbustivo está ocupado principalmente por *Mimosa farinosa* (shinki), acompañado de *Condalia microphylla* (piquillín), *Porlieria microphylla* (chucupi) y *Ximenia americana* (pata).

En cuanto al Jarillal, esta comunidad se extiende desde aproximadamente 850 a 1.300 m s.n.m., en una zona denominada “bajada” o zona de coalescencia de conos que conforman el piedemonte (Morlans 1995). Al igual que el Monte Espinoso, se caracteriza por la presencia de un arbustal abierto, pero en este caso, con predominio de especies micrófilas perennifolias. La especie predominante es *Larrea cuneifolia* (jarilla), acompañada por *Tricomaria usillo* (usillo), *Cercidium praecox* (brea), *Ximenia americana* (pata) y *Prosopis torquata* (tintitaco) (Capparelli 1997).

ANTECEDENTES

Los estudios vinculados con el Camino del Inca exceden por completo el área de estudio mencionada en este artículo. Se extienden hacia la sierra de Zapata, valle del río Las Lajas, cordón de Los Colorados y valle de Hualfín (Raffino *et al.* 1994, 2008, 2010; Raffino 1995, 2004; Moralejo 2009, 2011, 2017, 2018, 2020; Moralejo *et al.* 2011-16, 2020; Moralejo y Couso 2012; Moralejo y Aventin Moretti 2015; Moralejo y Gobbo 2015, 2017). Dado el objetivo aquí propuesto solo nos remitiremos al sector correspondiente al piedemonte suroriental de la sierra del Shincal, desde el sitio propiamente dicho hasta el interior de la quebrada del río Hondo. De acuerdo a las primeras unidades de registro implementadas, correspondería al trayecto El Shincal de Quimivil-La Aguada del Norte Chico del departamento de Belén (Moralejo 2011).

Los primeros estudios se remiten a González (1966), quien señala la hipótesis –sin contar con evidencias directas sobre el terreno– de la existencia de cuatro vías de comunicación que partían del sitio El Shincal hacia distintos puntos cardinales. Una de ellas, motivo de este artículo, se dirigía hacia el noreste en dirección al Norte Chico del departamento de Belén a través de la quebrada del Shincal (actualmente quebrada del río Hondo). Vera (1950:107, 122-123) también hace una breve mención de esta posible conexión, representando su traza en un mapa por medio de una línea recta.

En la década de 1980, Rodolfo Raffino y colaboradores comienzan con sus investigaciones en el área priorizando, según determinados enfoques teórico-metodológicos, el estudio de algunos rasgos monumentales del paisaje como *haukaypata*, *ushnu* y *kallankas*. En una de sus principales obras, donde reúne toda la primera información concerniente al sitio (Raffino 2004), menciona brevemente el recorrido del Camino del Inca que ingresa o sale de El Shincal de Quimivil por el sector norte. También hace referencia a la existencia de dos trazas localizadas hacia ambos márgenes del río Hondo: una ubicada sobre la ladera de la serranía del Shincal y otra que zigzaguea sobre la ladera opuesta llamada cuesta de Los Pelones. Finalmente, sostiene que ambos ramales confluyen y forman uno solo cerca de la *haukaypata* de El Shincal.

Posteriormente, Moralejo (2011) realiza un estudio micro y macromorfológico de los caminos antiguos del área, incorporando nuevas evidencias empíricas que lo conducen a revisar y redefinir la traza del camino incaico de El Shincal mencionada hasta ese momento. El estudio micromorfológico (Trombold 1991) permitió reconocer y definir un solo ramal que recorre el piedemonte de la ladera suroriental de la serranía del Shincal hasta introducirse en la quebrada del río Hondo. El recorrido a través del piedemonte posee dos direcciones: comenzando desde el sitio arqueológico, primero se dirige hacia el norte hasta alcanzar una vertiente natural de agua –conocida como Las Capias–, y luego gira hacia el este hasta alcanzar la desembocadura del río Hondo. Desde allí vuelve a girar hacia el norte y se introduce en la quebrada del río mencionado (figura 1). Una vez dentro de esta quebrada, se dirige aguas arriba zigzagueando entre ambas laderas opuestas, hasta ascender por la ladera de la sierra del Shincal y dirigirse hacia la localidad de La Aguada del Norte Chico del departamento de Belén (Moralejo 2011). En términos generales, el ancho de la vía varía de 0,50 a 2 m y se caracteriza por la presencia de diferentes rasgos formales e informales (senda) que indican una determinada planificación y construcción vial. También presenta otros elementos asociados como *kanchas* templo y residenciales, cerros antropomorfizados, depósitos *qolqas*, sectores del bosque libres de vegetación, fuentes de agua, canales y grandes bloques rocosos (posiblemente *tokankas*) (Moralejo 2011; Moralejo y Aventín Moretti 2015). Todo ello indica que a lo largo de esta serranía existía un paisaje vial delicadamente adaptado a la topografía y con un alto contenido simbólico.

En este trabajo nos interesa destacar lo que sucede dentro de la quebrada del río Hondo, específicamente en un sector localizado inmediatamente después de su desembocadura (en dirección aguas arriba) y a una altura promedio de veinte metros del fondo de la quebrada, ya que es allí donde no contábamos con evidencias de terreno y que ahora podemos definir gracias a la metodología LiDAR implementada.

De acuerdo con los primeros trabajos realizados por Moralejo (2011), existía un punto sobre la ladera de la sierra del Shincal donde se perdía el rastro del camino incaico debido a la densa vegetación y al derrumbe de la ladera. Desde allí, una vía –de características diferentes– descendía en zigzag hacia el cauce del río Hondo, lo vadeaba por encima de un conjunto de grandes bloques rocosos y ascendía, nuevamente en zigzag, por la ladera opuesta (correspondiente a la cuesta de Los Pelones) hasta alcanzar un puesto transitorio de un poblador local, actualmente en uso. Entonces, al no contar con otras evidencias, se propuso la hipótesis de que la traza inca podía descender desde la sierra del Shincal hasta el cauce del río Hondo y continuar por el margen inferior de la ladera opuesta de Los Pelones, en dirección aguas arriba, hasta llegar a un recodo del río donde se volvían a observar evidencias empíricas del camino incaico (figura 1).

Esta hipótesis pudo ser revisada a partir de la información aportada por la tecnología LiDAR. El escaneo laser permitió reconocer una traza en el terreno sobre la ladera de la sierra del Shincal, que condujo a pensar en la continuidad del camino inca por ese lado.

METODOLOGÍA

El estudio arqueológico de un camino depende, en primer lugar, de qué entendemos por el término camino. En este artículo hacemos referencia a ello en sentido amplio, como expresión de un sistema vial –material e inmueble– con determinadas características físicas, que refleja una interacción humana, razón por la cual puede poseer distintas manifestaciones culturales y naturales (sendas, senderos y caminos) sin ningún tipo de exclusividad sociopolítica (González Godoy 2017).

En este sentido, es importante considerar ciertas particularidades a la hora de abordar su investigación arqueológica. Por un lado, se trata de un rasgo lineal presente en todo grupo social, que puede adoptar características heterogéneas a lo largo de su traza y asociarse a diversos com-

ponentes humanos y no humanos. Por otro, se debe tener en cuenta que puede ser elaborado en uno o varios eventos, por una o varias comunidades, así como también abandonado, modificado y reutilizado a lo largo del tiempo (Hyslop 1984; Trombold 1991; Vitry 2004; Berenguer *et al.* 2005; Snead *et al.* 2009; Moralejo 2011; González Godoy 2017). La observación, descripción y análisis de estos elementos –que hacen particular a un espacio de tránsito– ayudan a realizar interpretaciones acerca de su funcionalidad (social, económica, política y simbólica) y cronología.

Entonces, de acuerdo con esta conceptualización, el estudio de un sistema caminero se puede llevar a cabo siguiendo un conjunto específico de prácticas arqueológicas que incluyen: el trabajo en gabinete, la prospección superficial, estudios etnográficos y la excavación en terreno considerando diferentes tipos de variables (Renfrew y Bahn 1993; Snead *et al.* 2009).

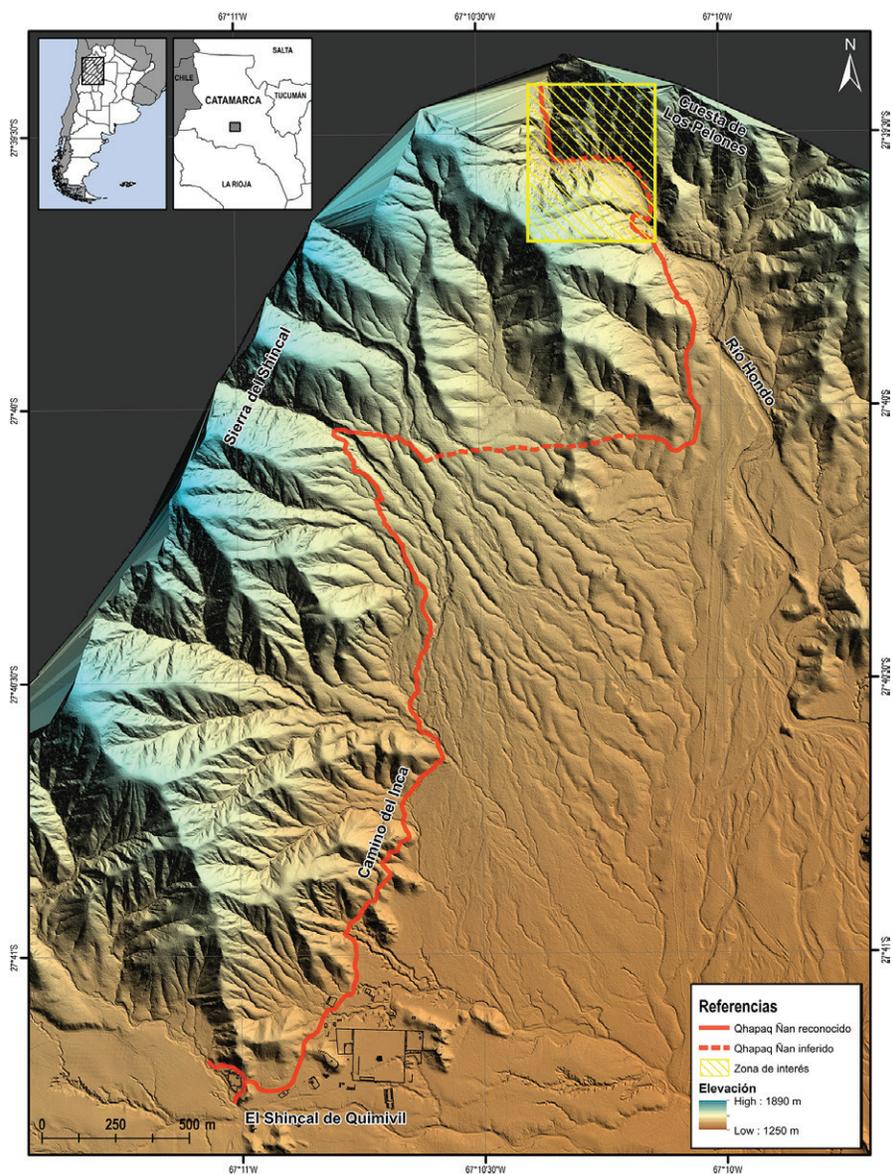


Figura 1. Traza del *Qhapaq Ñan* en El Shincal de Quimivil

Una de las primeras tareas para comenzar a reconocer rasgos lineales del paisaje es el análisis de imágenes satelitales o fotografías aéreas. Este tipo de reconocimiento a través de imágenes es una tarea fundamental que se vio facilitada hacia la segunda mitad del siglo XX principalmente con el surgimiento de la herramienta *Google Earth*. Por supuesto que este tipo de análisis preliminar va a estar acompañado de la revisión de documentos históricos, antecedentes bibliográficos, lectura de cartas topográficas y registro de la toponimia local. El uso de fotografías aéreas e imágenes satelitales depende en gran medida de su resolución, por lo tanto, no siempre constituye una herramienta que genere un resultado positivo.

El LiDAR es una de las más importantes innovaciones en la obtención e interpretación de datos arqueológicos de los últimos años (Bewley *et al.* 2005; De Feo *et al.* 2013). Esta tecnología permite relevar en 3D todos los objetos que pueden ser iluminados con los haces de luz láser que emite un sensor activo. Parte de los haces reflejados por los objetos regresan al instrumento que registra el tiempo de vuelo de la señal y, por lo tanto, la distancia entre el sensor y cada punto reflejado. Un sistema de navegación, basado en GNSS y una Unidad Inercial, permite calcular la posición y la actitud del avión y del LiDAR sobre toda la trayectoria. De esta manera, durante el procesamiento se calculan las coordenadas espaciales de los puntos reflejados con precisión de pocos centímetros (Shan y Toth 2009; Vosselman y Maas 2010).

En el caso de El Shincal, se realizó un relevamiento mediante un sistema LiDAR aéreo conformado por un sensor activo Leica ALS 80 (frecuencia de emisión de pulsos láser de 1 Mhz y frecuencia de barrido de 200 Hz), un receptor GNSS geodésico, una Unidad de Medición Inercial (*Inertial Measurement Unit*: IMU) y una cámara fotogramétrica multispectral. Todo ello montado en un avión *Aerocommander 500S* –propiedad de la empresa Consular Consultores Argentinos Asociados SA–. Las mediciones fueron apoyadas desde tierra con receptores GPS geodésicos de doble frecuencia que operaban sobre puntos de la red POSGAR07². Estos se distribuyeron de modo que durante la inicialización del IMU la distancia al avión fuera menor a los 10 km y posteriormente no superara los 50 km. Este relevamiento realizado en el año 2016 permitió cubrir una superficie de 5.600 ha en tres horas de vuelo con una altura media de 1.000 m sobre el terreno (Moralejo *et al.* 2018). Con respecto a la fotografía aérea simultánea, fue de gran valor para facilitar la interpretación de la información LiDAR y complementarla.

En relación con las características del área de estudio, una situación particular se presenta cuando se vuela sobre zonas con vegetación densa, como es el caso que aquí presentamos. Allí la señal de cada haz láser es parcialmente reflejada por las hojas y las ramas de los árboles, pero una parte continúa hasta iluminar el terreno u otros objetos. Por eso, se obtienen múltiples retornos de cada haz emitido. El resultado es una nube de millones de puntos que, en conjunto, conforman un modelo 3D de la zona de trabajo, con información precisa de la vegetación, del terreno y de eventuales construcciones ocultas por el bosque.

Posteriormente, se realizó el ajuste entre las nubes de puntos LiDAR de cada línea de vuelo a partir de la información en las zonas de superposición, mediante el método de mínimos cuadrados, y su vinculación al marco de referencia POSGAR07, a través de puntos GNSS de control geodésico. De esta manera se obtuvo una nube matemáticamente ajustada con un ruido típico de 5 cm, una densidad de 18 pts/m², una calidad de 10 cm en la componente vertical y de hasta 14 cm en las componentes horizontales.

Luego se procedió a visualizar y clasificar adecuadamente la nube de puntos. Se utilizó el software *Quick Terrain Modeler* (QTM) y se clasificaron puntos correspondientes a vegetación alta, media y baja, suelo y posibles construcciones. Esta tarea nos facilitó aislar la información correspondiente al suelo (puntos *ground*) para generar el Modelo Digital del Terreno (MDT).

De esta manera, a partir de la tecnología LiDAR se obtuvieron imágenes y modelos de elevación digital de muy alta resolución. La resolución espacial del mosaico fotográfico fue de 0,10 m y la de los modelos digitales de terreno de 0,20 m. Ello permitió, por un lado, identificar

y ajustar la traza del camino incaico del piedemonte de la sierra del Shincal conocida hasta el momento y, por otro, hallar un nuevo segmento de camino dentro de la quebrada del río Hondo.

La mayoría de las investigaciones arqueológicas con tecnología LiDAR utilizan el *hillshade* o sombreado, como producto del MDT, para reconocer o analizar el patrimonio y el paisaje arqueológico. Este método se basa en la iluminación directa a cierto grado de elevación y azimut que genera sombras según corresponda. Sin embargo, este producto tiene algunos inconvenientes, como la posibilidad de saturar lugares con sombra y ocultar rasgos o la incapacidad de representar objetos lineales que están paralelos a la fuente de iluminación. Debido a ello, se desarrollaron métodos que en lugar de utilizar luz directa utilizan luz difusa, combinación de varias imágenes en una, multiplicación, superposición, luminosidad y fusión de imágenes para mejorar la visibilidad y permitir una visualización simultánea y mejorada de características topográficas y, posiblemente, arqueológicas que no son fácilmente apreciadas (Kokalj y Hesse 2017; Kokalj y Somrak 2019). Una de las aplicaciones para realizar estos análisis de manera sencilla es el software *Relief Visualization Toolbox* o RVT (Kokalj *et al.* 2018), que permite seleccionar entre once tipos de productos y análisis realizables con un mismo MDT, a saber: *analytical hillshading* (sombreado analítico), *hillshading from multiple directions* (sombreado multidireccional), *PCA of hillshading* (componentes principales del sombreado), *slope gradient* (gradiente de pendientes), *simple local relief model* (modelo simple de relieve local), *sky-view factor* (factor de vista del cielo), *anisotropic sky-view factor* (factor de vista del cielo anisotrópico), *openness-positive* (apertura positiva), *openness-negative* (apertura negativa), *sky illumination* (iluminación del cielo) y *local dominance* (dominancia local).

Uno de los productos más utilizados y con mejores resultados en la investigación arqueológica es el *Sky-View Factor* (SVF), el cual hemos utilizado en otros sectores de El Shincal con buenos resultados (Moralejo *et al.* 2018). El SVF es un parámetro representativo de la porción del cielo visible desde cierto punto. El cielo visible queda limitado por el relieve, entonces, si suponemos que la iluminación difusa es isotrópica, es decir, idéntica independientemente de su dirección, los lugares que “ven” gran parte del cielo serán más brillantes que aquellos en los que solo se ve una pequeña parte del cielo, es así que una cresta elevada estará más iluminada que el fondo de un valle escarpado. La aplicación del SVF para fines de visualización, ofrece ventajas sobre otras técnicas porque revela características de relieve sin ningún “borde afilado” mientras que a la vez preserva la percepción de la topografía en general (Zakšek *et al.* 2011).

Finalmente, y como parte fundamental de esta investigación, se realizó un reconocimiento de campo con el propósito de verificar la información de gabinete y relevar los componentes arquitectónicos y elementos asociados del segmento vial.

RESULTADOS

El relevamiento aéreo realizado en el área de estudio permitió obtener una nube de puntos LiDAR de calidad centimétrica y un mosaico fotográfico ortorectificado con un pixel de 0,10 m. Por otra parte, la nube de puntos LiDAR aportó información fundamental del camino estudiado en aquellos sectores donde la vegetación dificulta sensiblemente la visualización del terreno.

De esta manera fue posible redefinir y ajustar con gran precisión los 6,1 km de camino incaico hallados en la serranía del Shincal, que anteriormente habían sido relevados con navegadores GPS y errores de varios metros.

Los puntos *ground* de la nube LiDAR y el correspondiente MDT, permitieron ajustar algunos segmentos de camino y hallar uno nuevo en un sector con visibilidad arqueológica nula.

En cuanto al objetivo específico de este artículo, ya mencionamos más arriba como la traza incaica se perdía sobre la ladera de la sierra del Shincal –dentro de la quebrada del río Hondo y a

una altura de veinticuatro metros del fondo de esta– en un punto con densa vegetación y afectado por derrumbes. En Moralejo (2011) se infirió que la vía, aprovechando una actual bajada hacia el río, podría atravesar su cauce hasta alcanzar la margen opuesta (correspondiente a la cuesta de Los Pelones) y avanzar por allí –en dirección aguas arriba– hasta toparse con otro segmento de camino (figura 2).

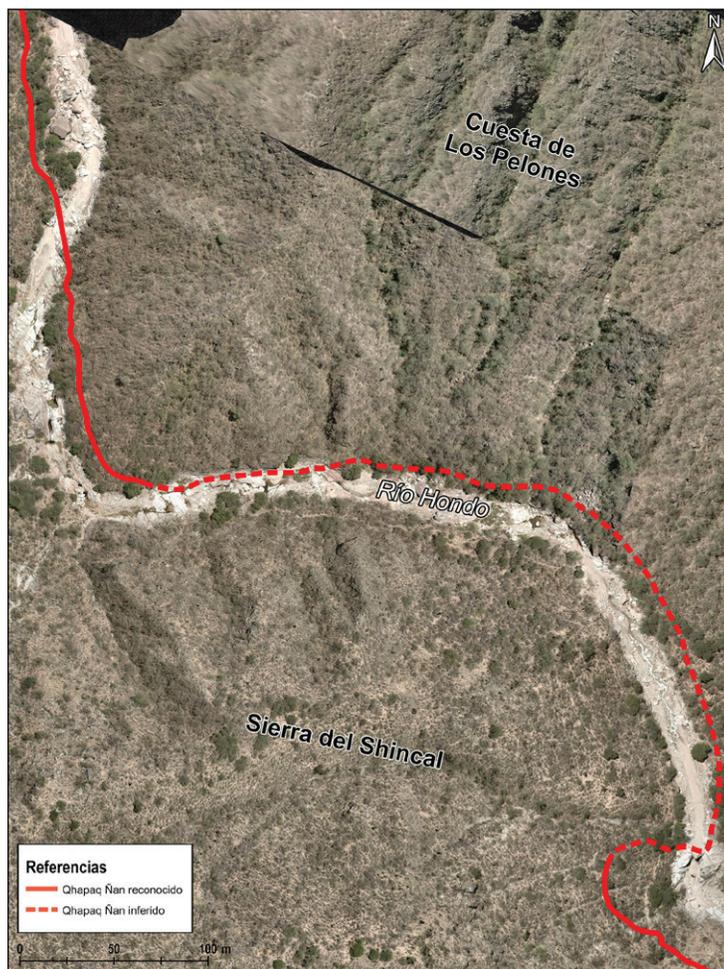


Figura 2. Camino incaico reconocido e inferido en la zona de interés

Cuando examinamos dicho sector en el SIG (Sistema de Información Geográfica, *software ESRI ArcGIS*), junto a los productos RVT, descubrimos la presencia de un rasgo lineal sobre la sierra del Shincal, localizado casi en la misma cota y cercano al lugar donde se perdía el rastro del camino inca conocido. Esto nos condujo a pensar que podría tratarse de un nuevo segmento continuo a dicha traza (figura 3).

De esta manera, con esta información obtenida en gabinete, se llevó a cabo un reconocimiento de terreno –en el mes de octubre de 2018– mediante el cual se logró corroborar que el rasgo lineal observado en el SIG –gracias a las imágenes producidas con el RVT– correspondía efectivamente a un segmento de camino que se continuaba, manteniendo una misma altura, con la traza estudiada previamente por Moralejo (2011). Es decir, el camino no desciende hacia el

cauce del río Hondo en las coordenadas S27°39'39,4" y O67°10'8,9" como se pensó al principio, sino que avanza sobre la misma ladera de la sierra del Shincal durante una longitud de 378 m, hasta alcanzar una curva del río. A partir de esta última (sobre las coordenadas S27°39'33,2" y O67°10'19,3") desciende hacia el cauce y lo cruza –evadiendo una sección escabrosa e infranqueable del río– hasta alcanzar la margen opuesta y conectarse con otro segmento vial ya visto y analizado en investigaciones previas (Moralejo 2011).

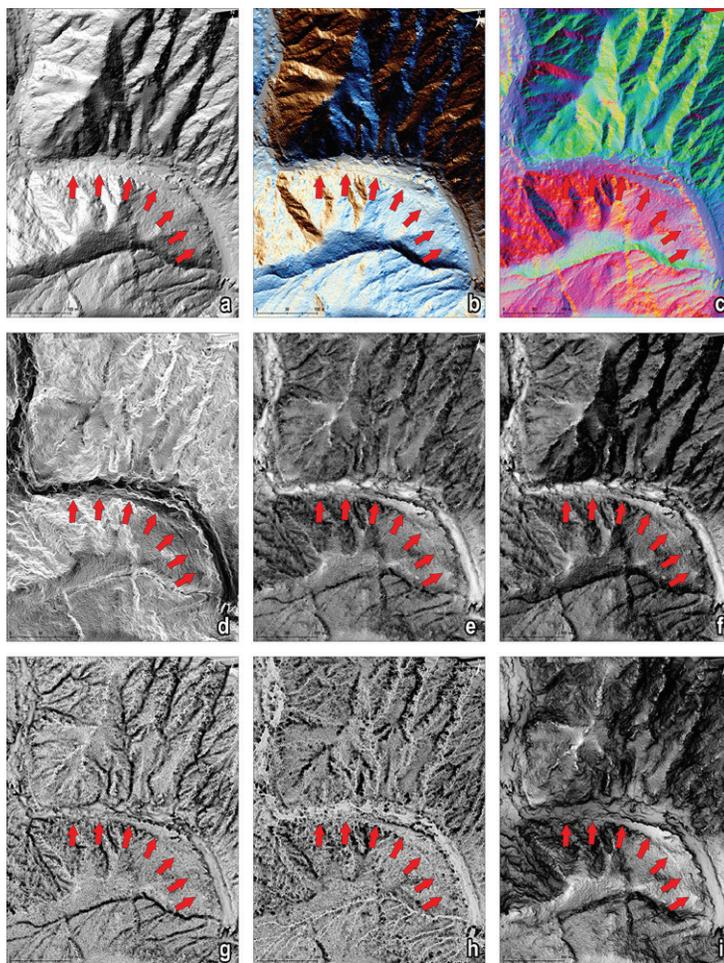


Figura 3. Imágenes producidas con el RVT: (a) *Analytical hillshading*; (b) *Hillshading from multiple directions*; (c) *PCA of hillshading*; (d) *Slope gradient*; (e) *Sky-view factor*; (f) *Anisotropic sky-view factor*; (g) *Openness-positive*; (h) *Openness-negative*; (i) *Sky illumination*. Las flechas color rojo marcan el rasgo lineal descubierto debajo de la vegetación; se puede observar la mayor o menor visibilidad de acuerdo al tipo de producto utilizado

Según la disposición topográfica de este nuevo segmento, transcurre a través de una ladera sobre una superficie natural de rocas con una pendiente lateral suave que varía de 15° a 30°. Posee una longitud de 378 m y se encuentra a una altura promedio de 20 m respecto del fondo de la quebrada del río Hondo (figura 4).

En cuanto a sus características constructivas, corresponde a un camino con talud sobre el borde externo (ladera abajo) y excavación sobre el borde interno (ladera arriba) (Hyslop 1984;

Vitry 2004). Su anchura varía entre 1 m y 2,70 m. El talud actúa como un muro de contención de roca que sirve de refuerzo o asiento al camino, y su altura varía de 0,60 m a 1 m (figura 5). Es común hallar esta modalidad constructiva en zonas con pendiente lateral suave o fuerte.

Finalmente, haciendo referencia al lugar de contacto entre el camino y la margen del río, ya hemos mencionado que el vadeo se localiza en un sector donde se evita un conjunto de grandes bloques rocosos (producto del fuerte gradiente), que en épocas de crecientes suelen provocar abruptas caídas de agua. Este diseño ha sido identificado también en el camino inca de la cuesta de Zapata, correspondiente al trayecto El Shincal de Quimivil-Watungasta (Moralejo 2020). Ello respondía a un tipo de configuración vial que era producto de un conocimiento y manejo efectivo del paisaje.

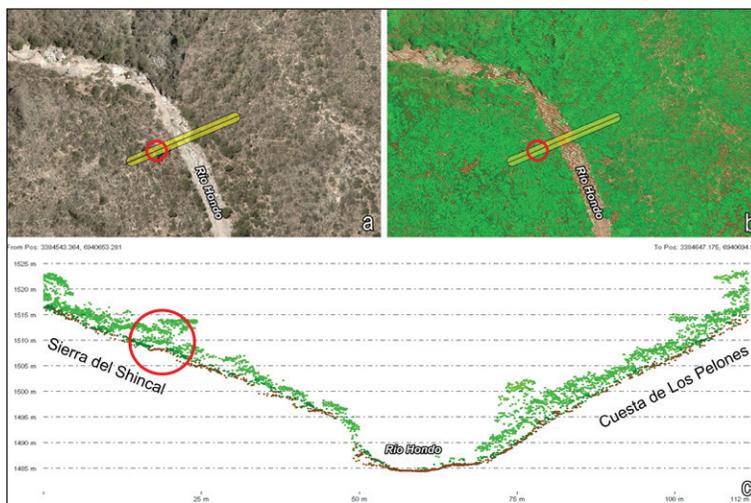


Figura 4. Perfil de la nube de puntos LiDAR de un sector del camino: (a) Fotografía aérea; (b) Nube de puntos LiDAR; (c) Perfil de la nube de puntos LiDAR. En el círculo rojo puede apreciarse la superficie de circulación y el talud del camino (en puntos marrones) y la vegetación (en puntos verdes) sobre la misma



Figura 5. Vistas del nuevo segmento de Qhapaq Ñan hallado en la sierra del Shincal: (a) Nuevo camino reconocido en color naranja; (b) (c) (d) (e) Diversas vistas del camino donde se pueden apreciar la superficie de circulación y las rocas del talud

CONCLUSIONES

La nube de puntos LiDAR, el MDT generado a partir de esta y los productos derivados del RVT –todo ello complementado con un preciso reconocimiento de campo–, son herramientas de enorme valor para la visualización, interpretación y detección de rasgos arqueológicos del paisaje.

En cuanto a los productos del RVT, pueden tener diferentes resultados según el tipo de relieve y vegetación de la zona por investigar, es por ello que es recomendable experimentar con diversos productos y sus combinaciones hasta obtener aquel que se ajuste a lo que queremos mostrar. En nuestro caso puntual, del mismo modo que sostienen los autores de esta herramienta (Zakšek *et al.* 2011; Štular *et al.* 2012), para los terrenos mixtos, es decir aquellos con sectores planos, elevados y escarpados (v.g. dentro de una quebrada), el método con el cual se obtuvo el mejor resultado fue el *sky-view factor* y el *slope gradient* (gradientes de pendientes). Asimismo, queremos sumar a esta lista, y tal como se puede apreciar en la figura 3(c), el *PCA of hillshading* que también permite resaltar las micro características del terreno, detectando en nuestro caso el rasgo lineal correspondiente al camino.

La metodología de trabajo, basada en el uso de tecnología LiDAR y fotografía aérea, nos permitió descubrir un segmento de 378 m del Camino del Inca o *Qhapaq Ñan* en la serranía del Shincal. Este hallazgo condujo a desechar una antigua hipótesis y establecer la continuidad de la vía de circulación por la propia ladera de la sierra, manteniendo el tipo constructivo y siguiendo una misma cota.

Como podemos ver, esta investigación nos plantea excelentes perspectivas a futuro para explorar zonas que hasta la actualidad se mantienen desconocidas y detectar nuevos rasgos arqueológicos ocultos bajo la densa vegetación del área, que con los métodos tradicionales de prospección sería extremadamente difícil –por no decir imposible– llevar a cabo. En este sentido, la fitogeografía juega un rol fundamental a la hora de identificar rasgos de tipo lineal, que no siempre cuentan con las mismas características a lo largo de su recorrido. De ahí, que el uso de fotografías aéreas e imágenes satelitales para su reconocimiento, aunque sean de una altísima resolución, no asegurará un resultado positivo si la vegetación no lo permite. Es allí donde es necesario poner en práctica los MDT generados a partir del escaneo laser aéreo.

Por último, queremos destacar que el desarrollo de esta metodología nueva para el área de estudio nos permite explorar, experimentar, discutir y optimizar el uso de diversos software y estrategias de medición, procesamiento, filtrado, clasificación y análisis de la información LiDAR. Todo ello, siempre con la intención de comprender el uso y la organización social del espacio en el pasado.

AGRADECIMIENTOS

A la Municipalidad de Londres, el Museo de Sitio El Shincal, la Dirección Provincial de Antropología de Catamarca y la Comunidad Originaria del Quimivil por el apoyo brindado en nuestras investigaciones desarrolladas en el departamento de Belén. A la estudiante Luciana Moreyra de la Escuela de Arqueología de la Universidad Nacional de Catamarca por su colaboración en las tareas de campo.

Estas tareas contaron con el financiamiento del Proyecto I+D de UNLP: *Nuevas tecnologías para la investigación de sitios arqueológicos y su preservación en las sierras de El Shincal, Belén y Zapata, Catamarca* (Código: 11/G155. Director: doctor Daniel Del Cogliano; Codirector: doctor Reinaldo A. Moralejo) y del Proyecto PIP de CONICET: *La construcción del paisaje vial en la Sierra de Zapata y sur del Valle de Hualfín: prácticas sociales en El Shincal de Quimivil, Tambillo Nuevo, Los Colorados y Las Vallas* (Código: 11220130100335CO. Director: doctor

Reinaldo A. Moralejo; Codirectora: doctora Carlota Sempé). Por último, destacamos el *Convenio de Colaboración Científica y Tecnológica entre la Universidad Nacional de La Plata, la Universidad Nacional de Catamarca, el Gobierno de Catamarca y la empresa Consular Consultores Argentinos Asociados SA* mediante el cual fue posible la implementación de la tecnología LiDAR en el área de estudio.

NOTAS

- ¹ El término “segmento” hace referencia a cualquier trecho o intervalo de vía que pueda ser identificada y descripta dentro del paisaje (Berenguer *et al.* 2005).
- ² POSGAR07. Posiciones Geodésicas Argentinas. Es el marco de referencia geodésico de la República Argentina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Berenguer, J. (2004). *Caravanas, Interacción y Cambio en el Desierto de Atacama*. Santiago de Chile, Sirawi Ediciones.

Berenguer, J., Cáceres, I., Sanhueza, C. y Hernández, P. (2005). El Qhapaqñan en el Alto Loa, norte de Chile: Un estudio micro y macromorfológico. *Estudios Atacameños* 29: 7-39.

Berenguer, J. y Pimentel, G. (2017). Introducción al estudio de los espacios internodales y su aporte a la historia, naturaleza y dinámica de las ocupaciones Humanas en zonas áridas. *Estudios Atacameños* 56: 3-11.

Bewley, R., Crutchley, S. y Shell, C. (2005). New light on an ancient landscape: Lidar survey in the Stonehenge World Heritage Site. *Antiquity* 79 (305): 636-647.

Bourdieu, P. (1977). *Outline of a Theory of Practice*. New York, Cambridge University Press.

De Feo, M. E., Gobbo, D. y Moralejo, R. A. (2013). Hacer arqueología desde las alturas. *Revista Museo* 26: 23-30.

Cabrera, Á. (1951). Territorios Fitogeográficos de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 4 (1-2): 21-65.

Capparelli, A. (1997). Reconstrucción ambiental de la instalación arqueológica Inka de El Shincal. Tesis Doctoral inédita N° 694, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

Earls, J. (1979). Astronomía y ecología: la sincronización alimenticia del maíz. *Allpanchis Phuturinga* 14: 117-135.

Giddens, A. (1984). *The Constitution of Society: Outline of the Theory of Structuration*. Berkeley, University of California Press.

González, A. R. (1966). Las ruinas del Shincal. En *Actas del Primer Congreso de Historia de Catamarca*, Tomo 3: 15-28. San Fernando del Valle de Catamarca, Junta de Estudios Históricos de Catamarca.

González Bonorino, F. (1972). Descripción geológica de la Hoja 13c, Fiambalá. *Boletín de la Dirección Nacional de Geología y Minería* 127.

González Godoy, C. (2017). Arqueología vial del Qhapaq Ñan en Sudamérica: análisis teórico, conceptos y definiciones. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 22 (1): 15-34.

Hyslop, J. (1984). *The Inka Road System*. New York, Academic Press.

Hyslop, J. (1992). *Qhapaq Ñan. El Sistema Vial Inkaico*. Lima, Instituto Andino de Estudios Arqueológicos - Petróleos del Perú.

Kokalj, Ž. y Hesse, R. (2017). *Airborne laser scanning raster data visualization: a guide to good practice*. Ljubljana, Založba ZRC.

Kokalj, Ž y Somrak, M. (2019). Why Not a Single Image? Combining Visualizations to Facilitate Fieldwork and On-Screen Mapping. *Remote Sens* 11 (747): 2-26.

Kokalj, Ž., Zakšek, K., Oštir, K., Pehani, P., Čotar, K. y Somrak, M. (2018). *Relief Visualization Toolbox* [En línea] [Consultado el 10 de junio de 2020] Disponible en: <https://iaps.zrc-sazu.si/en/rvt>

Moralejo, R. A. (2009). El "Tambillo Nuevo" de la Sierra de Zapata (provincia de Catamarca). *Arqueología* 15: 207-215.

Moralejo, R. A. (2011). *Los Inkas al sur del Valle de Hualfín: organización del espacio desde una perspectiva paisajística* [En línea] [Consultado el 10 de junio de 2020]. Tesis de doctorado. La Plata, Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/5242>

Moralejo, R. A. (2017). Arqueología y paisaje en el interfluvio de Zapata, Catamarca, Noroeste Argentino. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 22 (1): 119-136.

Moralejo, R. A. (2018). Análisis micromorfológico de un tramo de Camino Inka en la Cuesta de Zapata (Catamarca, Noroeste argentino). *Arqueología Iberoamericana* S2: 3-8.

Moralejo, R. A. (2020). El Camino del Inca en la Cuesta de Zapata (Catamarca, Noroeste argentino). *Revista del Museo de Antropología* 13 (2): 23-36. DOI: 10.31048/1852.4826.v13.n2.25476

Moralejo, R. A. y Aventín Moretti, M. (2015). Los estudios de vialidad en El Shincal de Quimivil. En R. A. Raffino, L. A. Iácona, R. A. Moralejo, D. Gobbo y M. G. Couso (eds.), *Una capital Inka al sur del Kollasuyu: El Shincal de Quimivil*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Fundación Azara.

Moralejo, R. A. y Couso, M. G. (2012). La organización regional incaica en el Valle de Hualfín (provincia de Catamarca, Argentina): El Shincal de Quimivil y la red vial vinculante. En J. F. Buján (compilador), *Ciudades y Territorio en América del Sur del siglo XV al XVII*. Buenos Aires, Editorial Nobuko.

Moralejo, R. A., Couso, M. G., Giambelluca, R., Gianelli, J., Ochoa, M. A., Aventín Moretti, M. y Quaranta, G. A. (2011-16). Las cancha en la configuración del paisaje vial de El Shincal de Quimivil. *Xama* 24-29: 111-126.

Moralejo, R. A. y Gobbo, D. (2015). El Qhapaq Ñan como espacio de poder de la política incaica. *Estudios Atacameños* 50: 131-150.

Moralejo, R. A. y Gobbo, D. (2017). Desde el camino: los SIG y El Shincal de Quimivil (Londres, Catamarca, Noroeste argentino). En S. Chacaltana, E. Arkush y G. Marcone (eds.), *Nuevas tendencias en el estudio de los caminos*. Lima, Gráfica Industrial R&S.

Moralejo, R. A., Gobbo, D. y Couso, M. G. (2020). Evaluación del paisaje visual a través del movimiento: el caso del sitio inca El Shincal de Quimivil (Londres, Catamarca, Argentina). *Comechingonia* 24 (3): 27-54.

Moralejo, R. A., Gobbo, D., Del Cogliano, D. y Pinto, L. (2018). Aplicación de tecnología LIDAR en El Shincal de Quimivil, Londres, Catamarca. *Arqueología* 24 (3): 165-184.

Morlans, M. C. (1995). Regiones naturales de Catamarca. Provincias geológicas y provincias fitogeográficas. *Revista de Ciencia y Técnica* II (2): 1-41.

Murrieta-Flores, P. (2010). Traveling in a prehistoric landscape: exploring the influences that shaped human movement. En B. Frischer, J. W. Crawford y D. Koller (eds.), *Making History Interactive. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*. Oxford, Archaeopress.

Nielsen, A. E. (2006). Estudios internodales e interacción interregional en los Andes Circumpuneños: teoría, método y ejemplos de aplicación. En H. Lechtman (editora), *Esferas de interacción prehistóricas y fronteras nacionales modernas: los Andes sur centrales*. Lima, Instituto de Estudios Peruanos, Institute of Andean Research.

Raffino, R. A. (1995). Inka road research and Almagro's route between Argentina and Chile, *Tawantinsuyu* 1: 36-45.

Raffino, R. A. (2004). El Shincal de Quimivil. En R. A. Raffino (editor), *El Shincal de Quimivil*. San Fernando del Valle de Catamarca, Sarquís.

Raffino, R. A., Alvis, R., Manzo, A. y Toddere, M. M. (1994). Arqueología Inka cordillerana y la expedición de Almagro. *Revista del Museo de Historia Natural de San Rafael* 13(1/4): 196-199.

Raffino, R. A., Moralejo, R. A. y Gobbo, D. (2008). El dominio Inka en la Sierra de Zapata (NOA). *Investigaciones y Ensayos* 56: 309-332.

Raffino, R. A., Moralejo, R. A. y Gobbo, D. (2010). Vialidad incaica en la provincia de Catamarca (Noroeste argentino). *Inka Ilaqta* 3: 133-159.

Renfrew, C. y Bahn, P. (1993). *Arqueología. Teorías, Métodos y Práctica*. Madrid, Akal.

Shan, J. y Toth, Ch. K. (eds.) (2009). *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. Florida, CRC Press.

Snead, J., Erickson, C. y Darling, A. (2009). Making Human Space: The Archaeology of Roads, Paths, and Trails. En J. Snead, C. Erickson y A. Darling (eds.), *Landscapes of Movement: The Anthropology of Roads, Paths, and Trails*. Philadelphia, University of Pennsylvania Press.

Štular, B., Kokalj, Ž., Oštir, K. y Nuninger, L. (2012). Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features. *Journal of Archaeological Science* 39: 3354-3360.

Trombold, Ch. (1991). An introduction to the study of ancient New World road networks. En Ch. Trombold (editor), *Ancient road networks and settlement hierarchies in the New World*. New York, Cambridge University Press.

Vera, J. P. (1950). Catamarca y las ciudades de Londres. *Publicaciones de la Sociedad Argentina de Americanistas* 1 (I): 7-150.

Vitry, Ch. (2004). Propuesta metodológica para el registro de caminos con componentes Inkas. *Revista Andes* 15: 213-250.

Vosselman, G. y Maas, H-G. (eds.) (2010). *Airborne and terrestrial laser scanning*. Florida, CRC Press.

Williams, V. y D'Altroy, T. (1998). El sur del Tawantinsuyu: un dominio selectivamente intensivo. *Tawantinsuyu* 5: 170-178.

Zakšek, K., Oštir, K. y Kokalj, Ž. (2011). Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique. *Remote Sens* 3 (2): 398-415.