

Utilización de LiDAR aéreo y terrestre en El Shincal de Quimivil (Catamarca): Una experiencia de vinculación institucional y tecnológica en el ámbito de la arqueología

Reinaldo A. Moralejo¹, Diego Gobbo², Daniel Del Cogliano³ y Leandro Pinto⁴

¹ División Arqueología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (UNLP); Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Paseo del Bosque s/n (CP B1900FWA) La Plata, Buenos Aires, Argentina. E-mail: reinaldomoralejo@yahoo.com.ar

² División Arqueología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (UNLP) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Paseo del Bosque s/n (CP B1900FWA) La Plata, Buenos Aires, Argentina. E-mail: dgobbo@fcnym.unlp.edu.ar

³ Departamento de Astrometría, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Paseo del Bosque s/n (CP B1900FWA) La Plata, Buenos Aires, Argentina. E-mail: ddelco3057@gmail.com

⁴ Consular. Consultores Argentinos Asociados S. A. Av. Pte. Gral. Julio A. Roca 610, 6º piso (CP C1067ABO), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. E-mail: lpinto@consularsa.com.ar

Recibido: 16 de noviembre de 2022.

Aceptado: 12 de diciembre de 2022.

<https://doi.org/10.5281/ZENODO.7382162>

Práctica Arqueológica 5 (2): 1-15 (2022)

ISSN: 2618-2874

ACCESO ABIERTO



Los trabajos publicados en esta revista son de acceso abierto y están bajo la licencia Creative Commons Atribución - No Comercial 4.0 Argentina.



Práctica Arqueológica es una revista de la Asociación de Arqueólogos Profesionales de la República Argentina.

RESUMEN

La tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging) es una de las técnicas de teledetección más modernas que se vienen utilizando en arqueología. La misma se basa en el uso de un sensor activo que permite obtener información de la superficie de los objetos que son medidos a través de la emisión de ondas de luz láser. En este artículo presentamos los aspectos técnicos de esta nueva tecnología, sus aplicaciones arqueológicas y las potencialidades derivadas de su utilización a partir de un caso de estudio llevado a cabo en las sierras de Belén y Zapata, departamento de Belén, provincia de Catamarca. De acuerdo a cómo se diferencian los sistemas LiDAR, en nuestra zona de estudio se realizó un escaneo láser desde un avión y otros desde tierra. El relevamiento contó con el apoyo terrestre de estaciones GNSS geodésicas. Con el LiDAR aéreo se relevó una superficie total de 5.600 ha y se hallaron nuevos elementos arquitectónicos ocultos por la vegetación. Con el LiDAR terrestre se escanearon siete estructuras arqueológicas del sitio El Shincal de Quimivil, obteniendo información de alta calidad para modelizar los recintos, favorecer su preservación, y optimizar la divulgación del patrimonio arqueológico. Este estudio condujo a generar nuevas perspectivas de trabajo desde un enfoque multidisciplinario.

ABSTRACT

LiDAR (Light Detection and Ranging) technology is one of the most modern remote sensing techniques used in archaeology. It is based on the use of an active sensor that allows information to be obtained from the surface of objects through the emission of laser light waves. In this article, we present the technical aspects of this technology, the archaeological applications and the potential derived from its use, based on a case study of the sierras of Belén and Zapata in the department of Belén, province of Catamarca. According to how LiDAR systems differ, in our study area a scan was carried out from an airplane and another from the ground. The survey had the ground support of GNSS geodetic stations. With aerial LiDAR, an area of 5.600 ha was scanned and new architectural elements hidden by vegetation were found. With terrestrial LiDAR, seven archaeological structures were scanned at El Shincal de Quimivil, obtaining high-quality information to model the sites, advantage their conservation, and to improve the divulgation of archaeological heritage. This study generated new perspectives of work from a multidisciplinary approach.

Palabras clave: teledetección; escaneo láser; nube de puntos; prospección arqueológica; Noroeste argentino.

Keywords: remote sensing; laser scanning; point cloud; archaeological prospecting; Argentine Northwest.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas la teledetección se ha convertido en una de las principales vías metodológicas de aplicación no intrusiva dentro de la arqueología. Se trata de una técnica que permite observar y obtener información de un objeto (cualquiera sea su superficie: rocas, agua, vegetación, suelos desnudos, construcciones edilicias, entre otras) mediante el uso de un dispositivo que no está en contacto directo con el mismo. La obtención de estos datos se realiza mediante sensores pasivos o activos que pueden estar montados en trípodes, vehículos aéreos no tripulados (VANTs), aviones o satélites. Una vez obtenida esta información es posible analizarla a través del procesamiento digital y la interpretación visual de las imágenes derivadas (Echeveste y López, 2018).

Entre las técnicas de teledetección más aplicadas dentro de la arqueología podemos mencionar la fotogrametría o *Structure from Motion-Multi View Stereo* (SfM-MVS), el uso de imágenes satelitales, el escaneo con luz láser y la implementación de imágenes radar. Entre los dos últimos se encuentran el LiDAR (*Light Detection and Ranging*) y el SAR (*Synthetic Aperture Radar*) que gracias al uso de sensores activos pueden obtener información de la superficie de los objetos mediante la emisión de ondas de luz (Láser) y ondas de radio, respectivamente (De Feo et al., 2013).

En este artículo nos interesa destacar el uso del LiDAR como una de las técnicas de gran interés para la arqueología sobre todo en zonas de vegetación densa. Para ello describiremos los aspectos técnicos de esta nueva tecnología, sus aplicaciones arqueológicas y las potencialidades derivadas de su utilización. El interés por esta nueva tecnología radica en el hecho de haberla implementado por primera vez en Argentina con fines arqueológicos en el sitio inca El Shincal de Quimivil, ubicado en la localidad de Londres, departamento de Belén de la provincia de Catamarca.

El Shincal de Quimivil constituye uno de los centros políticos, administrativos y ceremoniales incas más emblemáticos del Noroeste argentino al punto que se lo ha considerado como un Nuevo

Cusco, por replicar simbólicamente la capital del *Tawantinsuyu* (Farrington, 1999; Raffino et al., 1982). Desde comienzos del siglo XX se vienen realizando diferentes investigaciones de manera esporádica. Recién a partir de la década de 1980 los trabajos comienzan a intensificarse de manera ininterrumpida hasta el presente. Si bien estas tareas han sido extensas y han permitido recuperar un registro arqueológico muy profuso, existen sectores aún sin explorar debido a los altos niveles de sedimento postdeposicional y a la exuberante vegetación que dificultan la prospección pedestre y aérea y, por ende, la visibilidad arqueológica. De esta manera fue que en el año 2016 decidimos potenciar las investigaciones arqueológicas en el sitio y sus alrededores mediante el uso de una nueva tecnología —no intrusiva— como el LiDAR aéreo y terrestre. Para realizarlo partimos de la premisa de que existen otras estructuras o unidades arqueológicas tipo *kancha* o recintos perimetrales compuestos (RPC) dispuestos alrededor del centro cívico-ceremonial del sitio y, por otro, estructuras o unidades arqueológicas asociadas al camino incaico como parte de una red compleja de apoyo logístico (Moralejo et al., 2018). El uso de esta tecnología fue posible gracias a la firma de 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 S.A.

En los siguientes acápite nos adentraremos en una breve descripción del área de estudio y en la metodología de investigación que nos condujo al hallazgo de nuevas estructuras arqueológicas y al relevamiento de las ya existentes.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca el sector suroeste de la sierra de Belén y el piedemonte nororiental de la sierra de Zapata en el centro-oeste de la provincia de Catamarca. Las sierras de Belén y Zapata pertenecen al cordón montañoso de las Sierras Pampeanas Noroccidentales y se caracterizan por presentar valles longitudinales estrechos y grandes bolsones rodeados por montañas (Morlans, 1995).

Forman parte de uno de los cordones montañosos más importantes que se desprende de la sierra del Aconquija hacia el suroeste en dirección a la Puna y sierra de Famatina (González Bonorino, 1972). En cuanto a la fisonomía vegetal del área de estudio se destaca la presencia de la provincia fitogeográfica del Monte dentro de la cual se desarrollan dos comunidades vegetales: Monte Espinoso y Jarillal (Cabrera, 1951). En el interior del Monte Espinoso se identifica una comunidad clímax de bosque abierto con arbustal espinoso caducifolio que se extiende entre los 1.250-1.300

y 1.500 m.s.n.m. El Jarillal, por su parte, se caracteriza por presentar un arbustal abierto con predominio de especies micrófilas perennifolias y se extiende entre los 850 y 1.300 m.s.n.m. en un área de piedemonte denominada 'bajada' o zona de coalescencia de conos (Capparelli, 1997; Morlans, 1995).

Dentro del área de estudio se encuentran los sitios arqueológicos de El Shincal de Quimivil, Loma Larga, Corralito, Paraje La Aguada, Tambillo Viejo y Tambillo Nuevo (Moralejo, 2011) (Figura 1). Específicamente, El Shincal de Quimivil se localiza

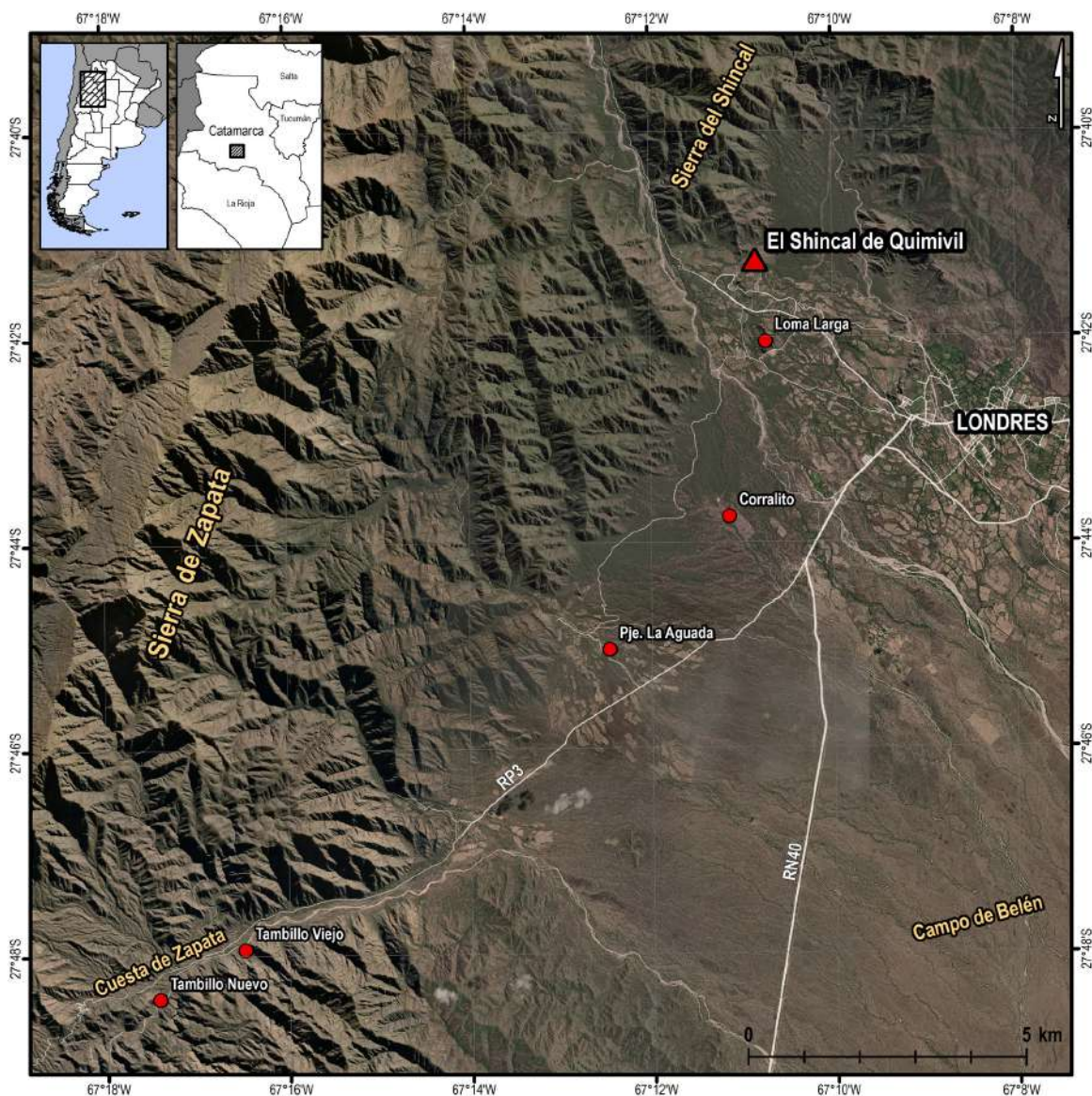


Figura 1. Área de estudio en el sector suroeste del departamento de Belén, provincia de Catamarca.

en la ciudad de Londres dentro del piedemonte de la serranía del Shincal entre las sierras de Belén y Zapata. Este sitio abarca una superficie superior a 30 ha y representa uno de los grandes centros de poder instalados por los incas a lo largo del *Tawantinsuyu*. Este asentamiento se compone de diversas estructuras de piedra tipo *kancha* — en lengua quechua— o RPC que podían funcionar como residencias o templos. Se trata de conjuntos arquitectónicos cuyos recintos internos se ordenan en torno a un espacio central (patio) y están delimitados por un muro perimetral con uno o dos accesos (vanos) (Hyslop, 1990). Según Raffino (2004) esta forma de ocupación respondía a un patrón ortogonal incaico planeado y construido para sus centros políticos regionales.

LIDAR Y ARQUEOLOGÍA

El LiDAR es una técnica de teledetección moderna compuesta por un sensor activo de escaneo láser que permite medir las propiedades de los objetos sin que medie contacto con ellos. Específicamente, mediante el empleo de haces de luz láser distribuidos sobre los objetos de interés, se obtienen las coordenadas espaciales de los puntos reflejados sobre la superficie, con muy alta resolución y precisión, lo que permite obtener un modelo en tres dimensiones (Arranz Justel, 2013; Vosselman y Maas, 2010). A diferencia de otros sistemas, esta tecnología permite detectar estructuras cubiertas y ocultas por la vegetación, y al mismo tiempo proporcionar información sobre la posición, altura y volumen de los árboles. Se pueden calcular varios parámetros forestales como la extracción de árboles en áreas pequeñas, su altura, diámetro y volumen, diámetro de rama, y otros parámetros tales como índice de crecimiento o si han sido talados (Moralejo et al., 2018)

Desde hace varios años se viene utilizando para generar modelos digitales de elevación de alta precisión. Según Olaya (2020) los resultados de su utilización significan un salto cualitativo con respecto a los obtenidos con otras tecnologías.

Dentro de la disciplina arqueológica constituye una de las más importantes innovaciones en la obtención e interpretación de datos ya que permite

generar nubes de puntos de alta densidad a partir de las cuales se pueden realizar cálculos métricos, dibujos, cortes, perfiles o secciones, restituir entidades y modelar digitalmente los elementos en un entorno CAD o SIG (Arranz Justel, 2013; Bewley et al., 2005; De Feo et al., 2013). Cuando hablamos de elementos, nos referimos tanto a los recintos o unidades arqueológicas como al terreno donde se localizan. En uno u otro caso, los datos obtenidos a través del escaneo permiten realizar estudios arquitectónicos y de paisaje para caracterizar los procesos constructivos, favorecer su preservación y comprender con mayor aproximación la dinámica espacial de las ocupaciones humanas.

La aplicación de esta tecnología a la investigación arqueológica se ha ido desarrollando de manera paulatina y en distintos momentos a nivel global. En países de Centroamérica como México, Guatemala, Honduras y Belice, y del Sudeste Asiático como Camboya, se han generado numerosos estudios de sociedades en áreas tropicales densamente boscosas (Chase et al., 2011, 2012; Golden et al., 2016; von Schwerin et al., 2016). Por otro lado, en algunos países de Europa como España, Inglaterra, Alemania, Austria, Eslovenia, se han realizado exploraciones de áreas aledañas a diversos sitios arqueológicos (e.g. Stonehenge) y la identificación de asentamientos y espacios agrarios medievales (Doneus y Briese, 2006; Doneus et al., 2008; Monterroso-Checa et al., 2021; Štular et al., 2021; Tapete et al., 2017). En Rusia, por su parte, se han detectado complejos de túmulos (e.g. Gnezdovo) pertenecientes a la era Vikinga (Novikov, 2022). En cuanto a Sudamérica, ha llegado más tardíamente y de manera limitada focalizándose también en zonas boscosas, o de difícil documentación mediante técnicas tradicionales, como en la costa de Ecuador, en la selva amazónica peruana y boliviana, y en el Noroeste argentino (Castro-Priego et al., 2021; Moralejo et al., 2018, 2022; Prümers et al., 2022; Van Valkenburg et al., 2020). En todos los casos, esta tecnología ha permitido detectar nuevas construcciones habitacionales o ceremoniales, restos de caminos antiguos, laderas modificadas antrópicamente, terrazas agrícolas y acueductos,

entre otros objetos arqueológicos dispersos, así como establecer y redefinir la dimensión espacial de los asentamientos.

Los trabajos con LiDAR también han conducido a profundizar los análisis espaciales mediante plataformas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como distribución y concentración de asentamientos, cálculos de distancias, generación de cuencas visuales, obtención de caminos óptimos, relación con recursos inmediatos y sintaxis espacial, entre otros (Castro-Priego *et al.*, 2021).

METODOLOGÍA

Los sistemas LiDAR se diferencian de acuerdo a la plataforma donde se encuentren montados. Pueden ser aéreos —transportados en VANT, helicóptero o avión— o terrestres. Los últimos pueden ser fijos sobre trípode o móviles transportados en vehículos. En nuestra área de estudio se utilizó un LiDAR aéreo montado en un avión Aerocomander 500S, perteneciente a la empresa Consular Consultores Argentinos Asociados S.A., y otro terrestre fijo perteneciente a la Universidad Nacional de La Plata.

Previamente a las tareas de campo se realizaron reuniones entre los grupos integrantes del convenio para discutir con mayor detalle los objetivos y las estrategias de trabajo. Esto condujo a realizar una visita al sitio arqueológico de El Shincal de Quimivil con el propósito de reconocer las características del terreno, el tipo de vegetación y las estructuras arqueológicas que serían escaneadas con tecnología LiDAR. De esta manera fue posible definir las características de las mediciones a realizar con el LiDAR aéreo sobre toda el área de interés y del escáner terrestre para medir las estructuras arqueológicas. En estas condiciones y antes de comenzar con las mediciones, se procedió a efectuar una presentación formal y pública del convenio ante la comunidad catamarqueña.

A continuación, describiremos algunas características principales de ambos sistemas. El sistema LiDAR aéreo utilizado fue un sensor Leica ALS 80, un receptor GNSS geodésico, una Unidad de Medición Inercial (IMU) y una cámara fotogramétrica multispectral Leica RCD-30. En cuanto al sensor

Leica, si bien es capaz de alcanzar un máximo de pulsos láser por segundo de 1 Mhz y una frecuencia de barrido de 200 Hz, con el objeto de ajustarse a las especificaciones del proyecto, este operó con una frecuencia de emisión de pulsos láser de 232 Khz y una frecuencia de barrido de 41 Hz. Como ya se mencionó, este sistema se encontraba montado en un avión modificado para tal fin. El vuelo contó con el apoyo terrestre de estaciones GNSS geodésicas de doble frecuencia ajustadas a la red POSGAR 07. El relevamiento fue realizado en noviembre de 2016 y cubrió una superficie total de 5.600 ha en tres horas de vuelo con una altura media de 1.000 m sobre el terreno (Moralejo *et al.*, 2018) (Figura 2). Cabe mencionar aquí que las alturas de la serranía y la turbulencia característica de la zona constituyeron una gran dificultad a la hora de realizar el vuelo LiDAR.

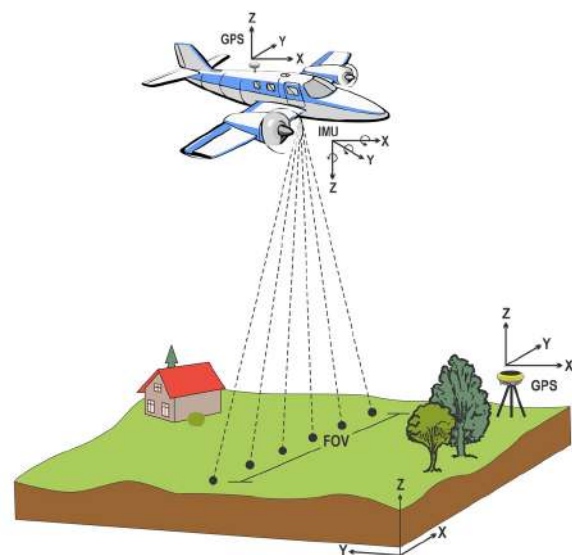


Figura 2. Esquema del barrido LiDAR montado en plataforma aérea y sus diferentes componentes. IMU: Unidad de Medición Inercial; FOV: Campo de Visión; GPS: Sistema de Posicionamiento Global (tomada y modificada de Moralejo *et al.*, 2018: Fig. 2, p. 171).

Una vez que se obtuvo la nube de puntos fue necesario realizar un ajuste de los desplazamientos correspondientes a las diferentes líneas de vuelo que se encontraban superpuestas entre sí. De esta manera se logró una nube de miles de millones de puntos en 3D con una densidad de 18 pts/m², con un *Root-Mean-Square Error* (RMSE) de 7 cm en la componente vertical y de hasta 12 cm en la com-

ponente horizontal. Esta nube LiDAR fue ajustada espacialmente al sistema POSGAR07 gracias a los puntos de control GNSS tomados en el terreno. Luego, se procedió a visualizar y clasificar los puntos con el software *Quick Terrain Modeler* (QTM). Este programa nos permitió discriminar los puntos correspondientes a vegetación alta, media y baja, suelo (*ground*) y eventuales construcciones. Con estos puntos fue posible generar Modelos Digitales del Terreno (MDT) (usando solo puntos del suelo) y Modelos Digitales de Superficies (MDS) (que incluían los puntos correspondientes a edificios o vegetación). Una vez obtenidos los MDT y MDS, se utilizó el software *Relief Visualization Toolbox* o RVT (Kokalj et al., 2018) para elaborar diferentes productos que permitieran reconocer patrones geométricos. Estos patrones fueron marcados como posibles rasgos arqueológicos que finalmente, y con la necesidad de determinar la sensibilidad del método y ajustar los diferentes filtrados y algoritmos, fueron chequeados y verificados en campo en marzo de 2017 (Moralejo et al., 2018, 2022).

El sistema LiDAR terrestre fijo utilizado fue un Trimble TX5, con un alcance máximo de 90 m. El mismo dispara un millón de haces de luz por segundo, que son distribuidos por la robótica del instrumento de acuerdo a parámetros previamente definidos por el operador. También posee la capacidad de realizar fotografías. Cada estructura arqueológica llevó aproximadamente cuatro horas de medición. La metodología de los escaneos contempló la realización de estaciones alrededor y dentro de las estructuras incaicas cada cierta distancia para que no quedaran espacios ni rasgos sin cubrir con el láser. En cada estación se colocaron esferas dentro del área de escaneo que luego el software —en nuestro caso *Faro Scene*— usó para el registro y alineación de las distintas escenas (Figura 3). En el mismo *software* se pudo eliminar el ruido, procesar las imágenes, remuestrear la nube de puntos y finalmente realizar la malla texturada y modelo de la estructura. El resultado fue un modelo 3D de calidad milimétrica y resolución submilimétrica.

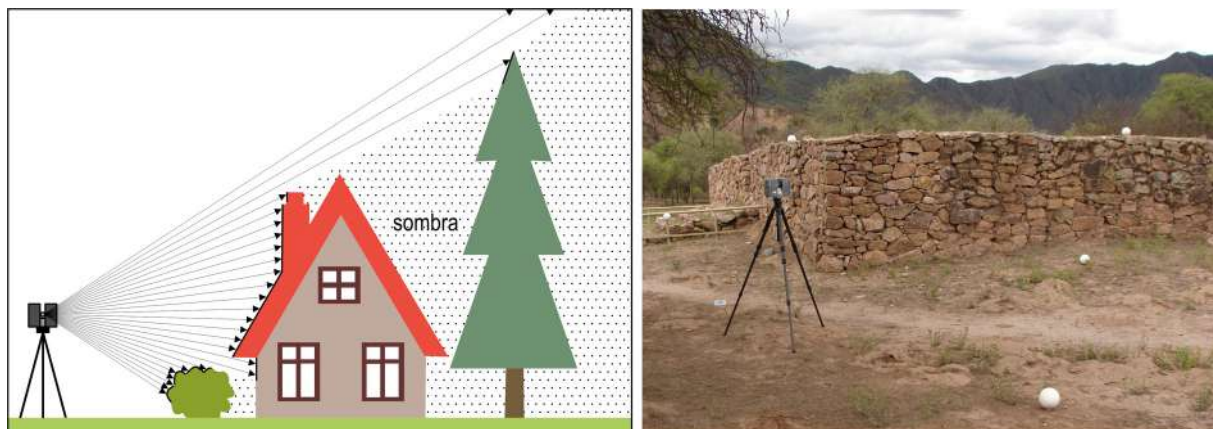


Figura 3. Izquierda: Los haces de luz láser son distribuidos sobre la superficie que desea ser relevada (líneas negras). Pueden observarse las zonas de sombra (punteada), que deben ser cuidadosamente consideradas al momento de diseñar las mediciones. Derecha: El escáner Trimble TX5 durante las mediciones en el ushnu de El Shincal de Quimivil. Nótese las esferas que luego son utilizadas para alinear los sucesivos escaneos.

Las estructuras escaneadas hasta la fecha son: el *ushnu*, la *kancha* Piedra Hincada del sector 5d, las *kanchas* I y II del sector 5e, la escalinata del Cerro Aterrazado Oriental, la *kancha* del sector 5f y la *kancha* del sector 5b que incluye las *kallankas* 1 y 5. Se estima a la brevedad concluir con el resto de los recintos arquitectónicos.

RESULTADOS

Las mediciones con LiDAR aéreo cubrieron el piedemonte de la serranía del Shincal (sector suroeste de la sierra de Belén) y el piedemonte oriental de la sierra de Zapata. Esto incluyó, además de El Shincal de Quimivil, los sitios arqueológicos

de Loma Larga, Corralito, Paraje La Aguada, Tambillo Viejo y Tambillo Nuevo, vinculados entre sí a través de un antiguo camino prehispánico. El recorrido del vuelo tuvo que adaptarse a cerros de diferentes alturas por tramos rectos de unos 30 km, lo que condujo a reprogramar cuidadosamente la dirección y superposición de las pasadas y la altura de vuelo del avión. El relevamiento incluyó, además de las mediciones láser, la toma de fotografías aéreas (multiespectrales) sobre las

mismas 5.600 ha que midió el LiDAR (Figura 4). El resultado fue una nube de puntos 3D de alta densidad con coordenadas espaciales de calidad centimétrica que contiene información de la vegetación alta, media y baja, el terreno y las construcciones ocultas. La densidad de puntos fue suficiente para poder detectar estructuras arqueológicas con muros de piedra (pircas) de 20 a 50 cm de altura y 60 cm de ancho (Moralejo *et al.*, 2018) (Figuras 5 y 6).

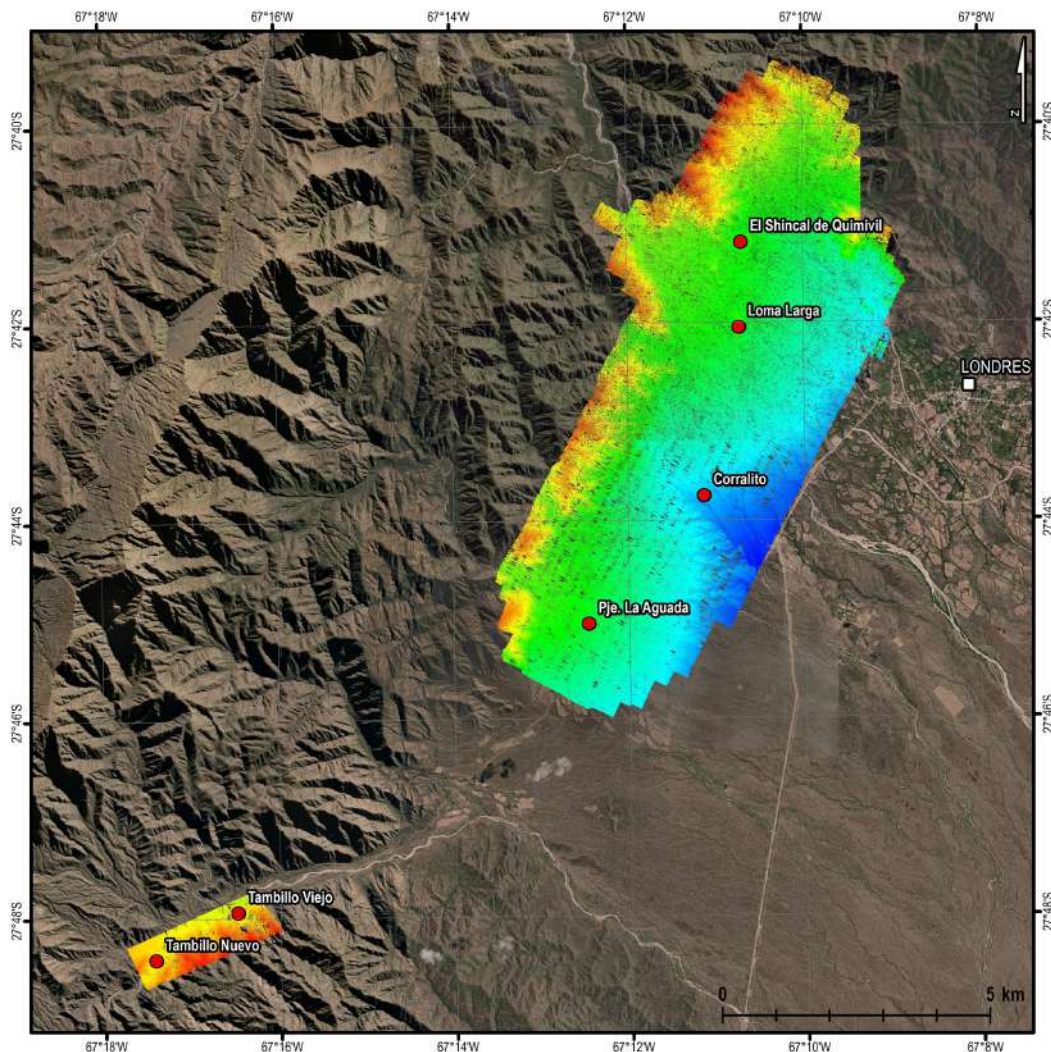


Figura 4. Nubes de puntos resultantes del relevamiento LiDAR aéreo.

Con la nube de puntos se generaron, primero, los MDT y MDS y, luego, los productos derivados del RVT tal como se explicitó en la Metodología. De esta manera se procedió a identificar todos los posibles patrones arqueológicos bajo la categoría de puntos de interés. Esta tarea de gabinete fue realizada de manera colectiva junto a especialistas

de la empresa Consular Consultores Argentinos Asociados S.A.

De la primera lectura de la nube, se marcaron un total de 84 puntos de interés en El Shincal de Quimivil y alrededores. Posteriormente, y como parte primordial de esta investigación, se realizó una contrastación en terreno de los datos obtenidos en



Figura 5. Detalle de la nube LiDAR aérea en El Shincal de Quimivil.

gabinete. Comenzamos explorando un total de 39 puntos correspondientes a posibles patrones antrópicos dispersos dentro de un radio de tres kilómetros en torno del sitio El Shincal de Quimivil. Para ello contamos con fotocartas y las coordenadas geográficas de cada evento de interés. El reconocimiento de campo se realizó con cuatro personas que iban internándose en la espesura del bosque espinoso buscando cada uno de estos posibles rasgos arquitectónicos. La totalidad de los puntos explorados resultaron ser rasgos particulares, lo que fue significativo para validar la metodología de escaneo. De ese total, el 26% constituyeron estructuras arqueológicas ocultas por la vegetación

y el resto rasgos sobresalientes del terreno, algunos de ellos de origen natural (bloques de piedra acumulados por drenaje natural, montículos de tierra, árboles caídos y restos de madera de cardón derrumbados) y otros de origen antrópico relativamente reciente (albardones de tierra para control hídrico del sitio). En cuanto a las nuevas estructuras arqueológicas, por un lado, se hallaron muros dobles de hasta 60 cm de ancho y de 20 a 50 cm de altura cubiertos por vegetación (Moralejo *et al.*, 2018). Las mismas fueron incorporadas al plano del sitio y hasta tanto no se realicen excavaciones no es posible determinar su funcionalidad. Por otro lado, se halló un nuevo segmento de 378

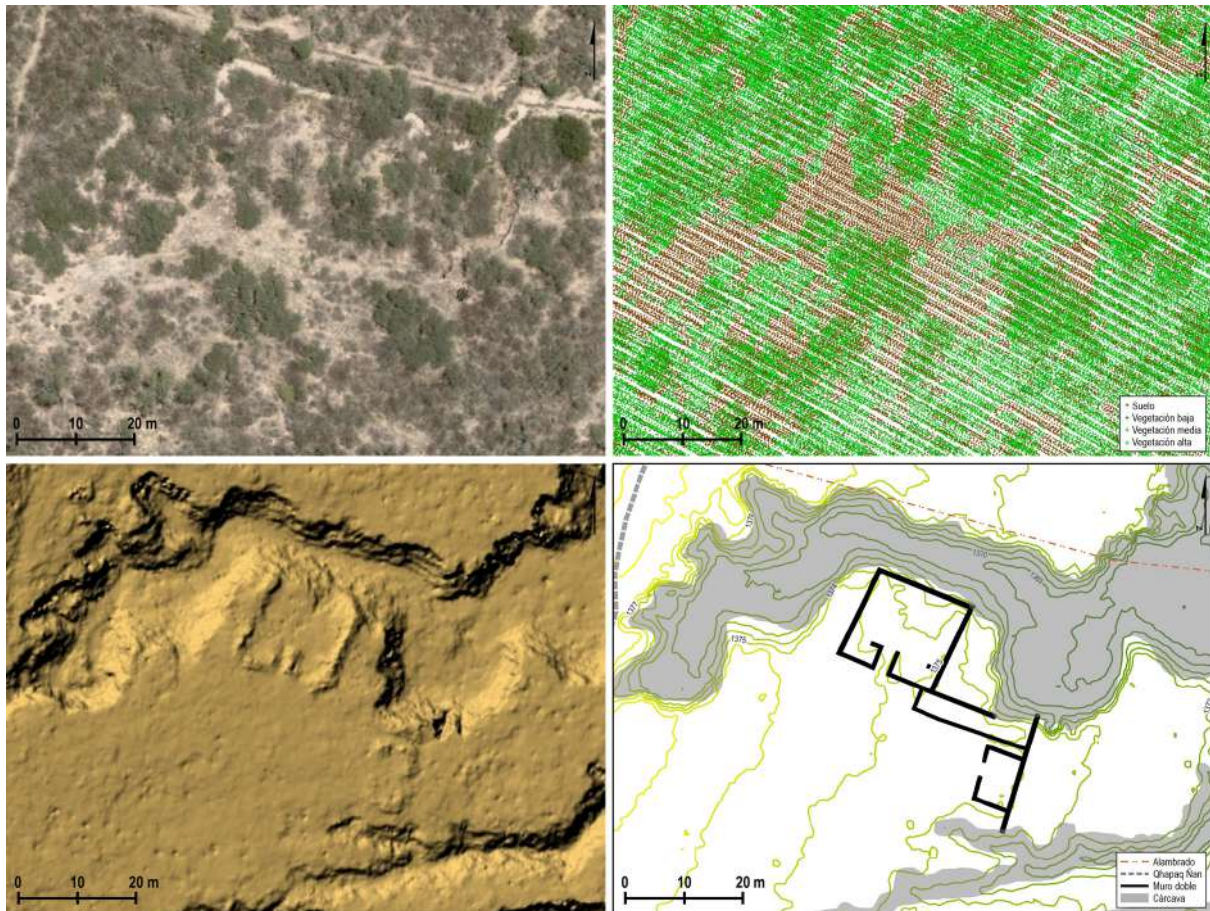


Figura 6. Vista de una de los conjuntos tipo kancha de El Shincal de Quimivil (kancha 'y' del sector 5d). Arriba a la izquierda: fotografía aérea, nótese la nula visibilidad por la densa vegetación. Arriba a la derecha: nube de puntos LiDAR clasificada. Abajo a la izquierda: MDT sin la cobertura vegetal. Abajo a la derecha: modelo plani-altimétrico de la kancha.

m de camino incaico trazado sobre el piedemonte suroriental de la sierra del Shincal y se redefinió y ajustó con precisión todo el trayecto del camino incaico que recorre la serranía y atraviesa el sitio (Moralejo *et al.*, 2022) (Figura 7).

Asimismo, teniendo en cuenta el alcance del LiDAR aéreo se hizo foco también en la generación de un MDT de alta resolución para conocer en detalle la geomorfología del área de estudio, y en el caso del sitio El Shincal de Quimivil, determinar la distribución de las grandes cárcavas o zanjas —producidas por las lluvias y la presencia de roedores— que están deteriorando la superficie desde hace varios años (Niz *et al.*, 2009). Es decir que gracias a este estudio también se pueden pensar diferentes políticas de intervención y control en pos de la preservación del lugar.

Las mediciones con LiDAR terrestre fijo

ofrecen un gran abanico de posibilidades de uso tanto arqueométrico, como de conservación y divulgación. En este sentido, nos permitieron localizar de manera muy precisa las excavaciones e intervenciones en las estructuras escaneadas, como también mapear su estado de conservación, para luego poder compararlo con futuros relevamientos LiDAR, fotogramétricos, y testear la tasa de deterioro del sitio y la manera de prevenirlo o solucionarlo (Figura 8).

En cuanto al uso del LiDAR —tanto terrestre como aéreo— en tareas de extensión, divulgación y enseñanza, se diseñó junto a profesionales de las facultades de Artes y de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata un software interactivo mediante el cual se puede ‘navegar’ dentro del sitio y ver las estructuras escaneadas en 3D, junto con información y



Figura 7. Rasgos arquitectónicos detectados gracias al LiDAR aéreo. Arriba: muros de recintos pequeños. Abajo: imágenes del Camino del Inca o Qhapaq Ñan.

fotografías de cada una de ellas. Este software fue colocado en un tótem o quiosco con pantalla táctil en el Museo de El Shincal, permitiendo no solo observar los recintos y su contenido informativo, sino también que aquellas personas con movilidad reducida (o que no deseen realizar la visita) puedan ‘recorrer’ virtualmente el sitio arqueológico (Figura 9).

Por otro lado, todos los modelos 3D de las estructuras obtenidos con el escaneo terrestre y el MDT del escaneo aéreo permitieron —junto al potente software libre *Blender*— modelizar, hipotetizar y reconstruir el aspecto del sitio

durante la ocupación incaica (Figura 10). Este tipo de producto es de gran ayuda para la difusión y divulgación del patrimonio arqueológico, lo que conduce a optimizar la comprensión acerca de las diversas prácticas sociales que podían realizarse en este centro político, administrativo y ceremonial. Asimismo, nos invita a reflexionar acerca de las potencialidades que ofrecen la documentación y recreación en 3D. Teniendo en cuenta esto último, se abren otras vías de investigación, difusión y producción, como ser el diseño de aplicaciones y propuestas educativas para acercar la arqueología, el patrimonio, y el saber originario a las niñeces y al

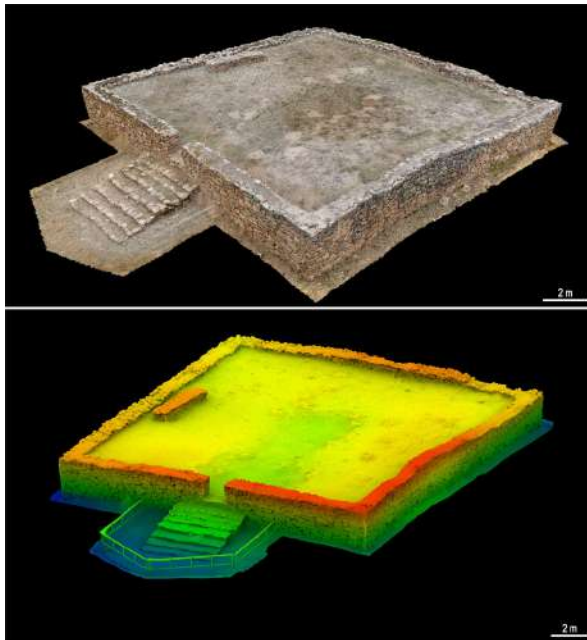


Figura 8. Resultados del LiDAR terrestre fijo en el ushnu de El Shincal de Quimivil. Arriba: nube de puntos. Abajo: modelo 3D.

resto de la comunidad de una manera lúdica. En este sentido, nos encontramos actualmente trabajando en el diseño de plataformas multitudinarias como el *Minecraft* y de aplicaciones de realidad aumentada o mixta para celulares y tabletas.



Figura 9. Tótem interactivo localizado en el Museo de El Shincal.

CONCLUSIONES

La utilización de esta nueva tecnología en Londres de Catamarca implicó ciertos desafíos. Por un lado, emprender por primera vez en Argentina una labor científica arqueológica con este tipo de tecnología láser 3D y que significó la participación de especialistas de la arqueología, la geodesia y la geofísica. Ello condujo a llevar a cabo varios encuentros de discusión, lectura y reconocimiento de campo para poder diseñar un flujo de trabajo conforme a la zona de estudio y a las diferentes actividades específicas. Por otro lado, implicó la elaboración de un convenio colectivo de colaboración donde confluían los intereses de diferentes organizaciones del ámbito público —como ser las Universidades Nacionales de Catamarca (UNCa) y La Plata (UNLP) y el Gobierno de Catamarca a través de la Secretaría de Estado de Cultura de Catamarca en ese entonces y la Dirección Provincial de Antropología— y privado —como la empresa Consular Consultores Argentinos Asociados S.A.—. Esto permitió plasmar los objetivos generales y específicos del proyecto, los compromisos asumidos por cada una de las partes y un cronograma de actividades que dio inicio en el 2016 con la presentación del proyecto en San Fernando del Valle de Catamarca y Londres. La generación de este convenio permitió salvar una de las principales desventajas que implica el uso de esta tecnología: el alto costo monetario y la disponibilidad de los aparatos tecnológicos.

La escasa y nula visibilidad arqueológica que imposibilitaban cualquier tipo de prospección pedestre y aérea con métodos tradicionales, junto a las hipótesis de trabajo, constituyeron un argumento sólido para darle cabida a esta investigación. De esta manera se pudo potenciar la exploración arqueológica en una extensa superficie (5.600 ha) de las serranías del Shincal y Zapata involucrando a diferentes sitios arqueológicos que formaban parte de una antigua ruta que conectaba los valles de Hualfín y el Campo de Belén-Andalgalá o Bolsón de Pipanaco con los valles de Las Lajas y Abaucán del centro-oeste catamarqueño.

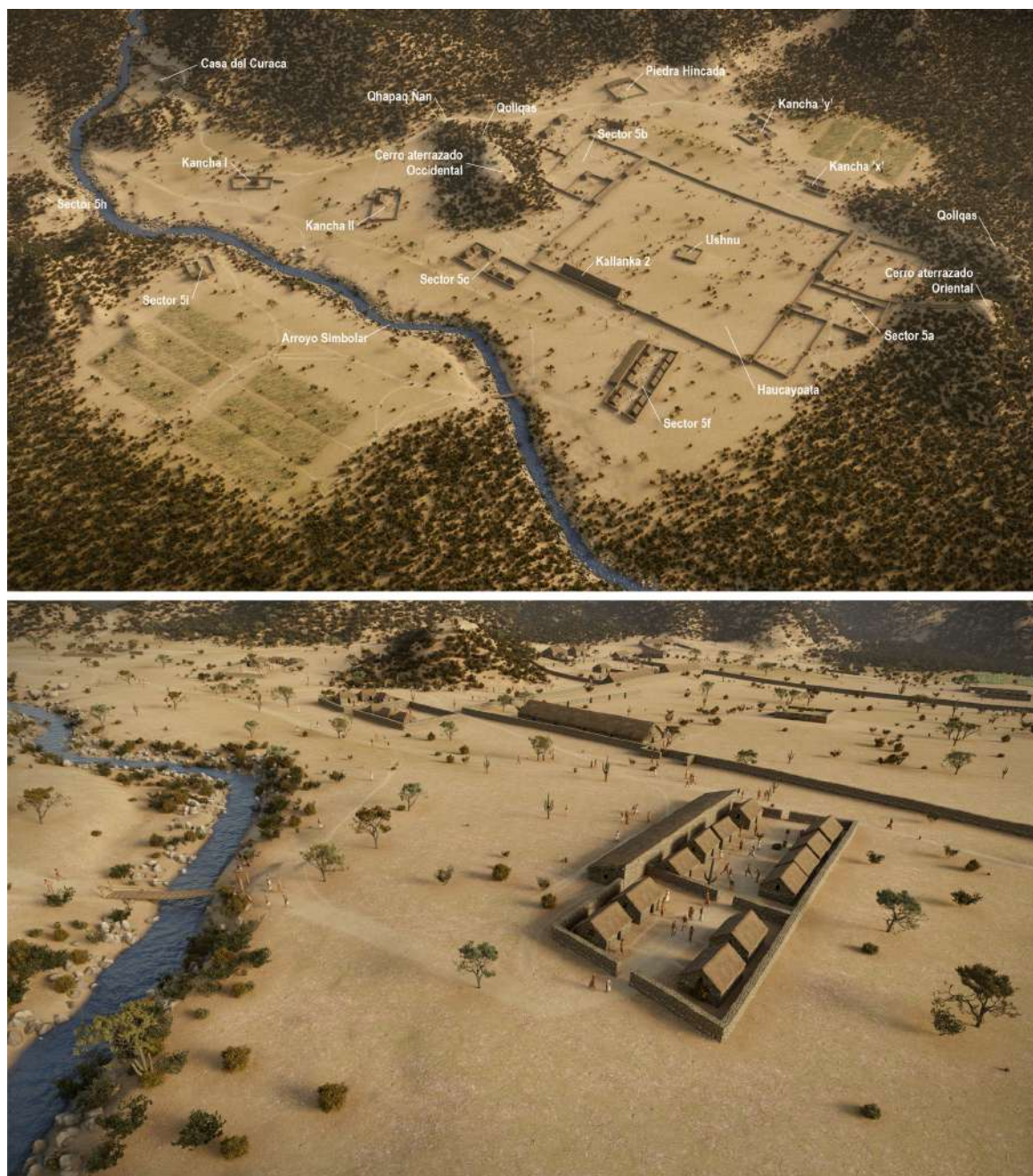


Figura 10. Reconstrucción 3D en Blender de El Shincal de Quimivil. Arriba: vista total del sitio; Abajo: vista desde el sector 5f.

Por otro lado, se abrieron diversas líneas de análisis que, más allá de lo arqueológico, serán de interés para el ámbito nacional y los gobiernos provinciales y regionales en cuanto a soluciones de ingeniería hidráulica se refiera. Sobre todo, pensando en la preservación de algunos sitios arqueológicos. En cuanto a la potencialidad de esta tecnología, el LiDAR terrestre fijo permitió obtener modelos 3D de estructuras arqueológicas con resolución

submilimétrica que permitirán realizar estudios arquitectónicos para comprender sus procesos constructivos y favorecer su preservación. Por su parte, el LiDAR aéreo logró hallar nuevos elementos arquitectónicos que se encontraban cubiertos por la vegetación y que hacen al nuevo diseño espacial de El Shincal de Quimivil. Con respecto a esto último se debe tener en cuenta que aún falta explorar el resto de la superficie cubierta

por el escaneo, razón por la cual las expectativas de nuevos hallazgos son altas. En este sentido, la sensibilidad de la metodología materializada en una densidad de 18 puntos por metro cuadrado permitió detectar construcciones en piedra de 20 a 50 cm de altura por 60 cm de ancho oculta por la vegetación, lo que constituye un caso significativo en cuanto al uso del LiDAR aéreo.

Esta investigación nos ha planteado nuevas perspectivas a futuro que además de superar con creces la aplicación de técnicas tradicionales al estudio del paisaje arqueológico deja en evidencia la importancia de las prácticas y experiencias inter y transdisciplinarias en la integración de información y en la comunicación y virtualización del patrimonio cultural y natural del área de estudio.

AGRADECIMIENTOS

A la Municipalidad de Londres, a la Comunidad Originaria del Quimivil, al equipo de guías turísticos del Museo de El Shincal y a la Dirección Provincial de Antropología de Catamarca por permitirnos realizar este estudio. A la Lic. Paula Espósito por el constante apoyo durante la gestión y realización del relevamiento. A la Agrimensora Mirtha Rodríguez Zar y su equipo de colaboradores de la Facultad de Ciencias Tecnológicas y Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca por su colaboración durante las tareas de medición con GNSS. A los Lics. Daniel Muntz, Lautaro Simontacchi y Víctor Mezio, a la Lic. Guillermina Couso y a la Estudiante Luciana Moreyra por su participación en las tareas de campo. A la Universidad Nacional de La Plata y al CONICET por el financiamiento de las investigaciones en el lugar.

REFERENCIAS CITADAS

Arranz Justel, J. J. (2013). *Diseño, optimización y análisis de sistemas basados en técnicas láser, para el modelado geométrico, registro y documentación, aplicados a entidades de interés patrimonial*. (Tesis de doctorado inédita). Universidad Politécnica de Madrid, España.

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.

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 de doctorado inédita). Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

Castro-Priego, M., Olmo-Enciso, L., Labrada-Ochoa, M. O., Jijón-Porras J. A. y García-Campoverde, J. A. (2021). Espacios agrarios, asentamientos prehispánicos y tecnología LiDAR en el área costera central del Ecuador. *Virtual Archaeology Review*, 12(25), 140-157. <https://doi.org/10.4995/var.2021.14891>

Chase, A. F., Chase, D. Z., Fisher, C., Leisz, S. y Weishampel, J. (2012). Geospatial revolution and remote sensing LiDAR in Mesoamerican archaeology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(32), 12916-12921.

Chase, A. F., Chase, D. Z., Weishampel, J. F., Drake, J. B., Shrestha, R. L., Slatton, K. C., Awe, J. y Carter, W. E. (2011). Airborne LiDAR, archaeology, and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize. *Journal of Archaeological Science*, 38, 387-398.

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

Doneus, M. y Briese, C. (2006). Digital terrain modeling for archaeological interpretation within forested areas using full-waveform laser scanning. En Ioannides M., Arnold, D. Niccolucci, F., y Mania, K. (Eds.), *Proceedings of the 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage* (págs. 155-162). Eurographics Association.

- Doneus, M., Briese, C., Fera, M. y Janner, M. (2008). Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning. *Journal of Archaeological Science*, 35(4), 882-893.
- Echeveste, H. y López L. (2018). La fotografía aérea como mapa base y fotogrametría digital. En *Manual de levantamiento geológico: una introducción a la geología de campo* (págs. 132-149). Libro de Cátedra, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Editorial de la Universidad de La Plata.
- Farrington, I. S. (1999). El Shincal: un Cusco del Kollasuyu. En Diez Marín, C. (Ed.), *Actas del XII Congreso Nacional de Arqueología Argentina* (Tomo I) (págs. 53-62). La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.
- Golden, Ch., Murtha, T., Cook, B., Shaffer, D. S., Schroder, W., Hermit, E. J., AlcoverFirpi, O. y Scherer, A. K. (2016). Reanalyzing environmental lidar data for archaeology: Mesoamerican applications and implications. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 9, 293-308.
- González Bonorino, F. (1972). Descripción geológica de la Hoja 13c, Fiambalá. *Boletín de la Dirección Nacional de Geología y Minería*, 127.
- Hyslop, J. (1990). *Inka Settlement Planning*. University of Texas Press.
- Kokalj, Z., Zaksek, K., Ostir, K., Pehani, P., Cotar, K. y Somrak, M. (2018). *Relief Visualization Toolbox*. <https://iaps.zrc-sazu.si/en/rvt>
- Monterroso-Checa, A., Moreno-Escribano, J. C., Gasparini, M., Conejo-Moreno, J. A. y Domínguez-Jiménez, J.L. (2021). Revealing Archaeological Sites under Mediterranean Forest Canopy Using LiDAR: El Viandar Castle (husum) in El Hoyo (Belmez-Córdoba, Spain). *Drones*, 5(3), 72. <https://doi.org/10.3390/drones5030072>
- Moralejo, R. A. (2011). *Los Inkas al sur del Valle de Hualfín: organización del espacio desde una perspectiva paisajística*. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/5242>
- 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.
- Moralejo, R. A., Gobbo, D., y Del Cogliano, D. (2022). Hallazgo de un nuevo segmento de QhapaqÑan en la sierra del Shincal (Londres, Catamarca): tecnología LiDAR aéreo como herramienta para la detección y análisis de camino. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, 47(1), 11-20. <https://dx.doi.org/10.24215/18521479e028>
- Morlans, M. C. (1995). Regiones naturales de Catamarca. Provincias geológicas y provincias fitogeográficas. *Revista de Ciencia y Técnica*, II(2), 1-41.
- Niz, A. E., Oviedo, J. A., Toledo, J. C. y Lamas, C. (2009). Aportes de la Geología e Ingeniería a la recuperación de áreas afectadas por cárcavamiento. En *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*. Trabajo presentado en las V Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA (Tomo 1) (págs. 12-17), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Salta.
- Novikov, V. (2022). UAV flown ALS for investigations of archaeological sites and historical landscapes in Russia: first results from a 2018-2022 project. *AARGnews*, 64, 54-64.
- Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. <http://volaya.github.io/libro-sig/>
- Prümers, H., Betancourt, C. J., Iriarte, J., Robinson, M. y Schaich, M. (2022). Lidar reveals pre-Hispanic low-density urbanism in the Bolivian Amazon. *Nature*, 606, 325-328.
- Raffino, R. A. (Ed.) (2004). *El Shincal de Quimivil*. Editorial Sarquís.

- Raffino, R. A., Alvis, R. J., Baldini, L. N., Olivera, D. E. y Raviña, M. G. (1982). Hualfin-El Shincal-Watungasta. Tres casos de urbanización Inka en el N.O. argentino. En *Actas del IX Congreso Nacional de Arqueología* (págs. 470-497). Sociedad Chilena de Arqueología, Museo Arqueológico de La Serena.
- Štular, B., Eichert, S. y Lozić, E. (2021). Airborne LiDAR Point Cloud Processing for Archaeology. Pipeline and QGIS Toolbox. *Remote Sens*, 13, 3225. <https://doi.org/10.3390/rs13163225>
- Tapete, D., Banks, V., Jones, L., Kirkham, M. y Garton, D. (2017). Contextualising archaeological models with geological, airborne and terrestrial LiDAR data: The Ice Age landscape in Farndon Fields, Nottinghamshire, UK. *Journal of Archaeological Science*, 81, 31-48.
- Van Valkenburgh, P., Cushman, K. C., Castillo Butters, L. J., Rojas Vega, C., Roberts, C. B., Kepler, C., yKellner, J. (2020). Lasers without lost cities: Using drone lidar to capture architectural complexity at Kuelap, Amazonas, Peru. *Journal of Field Archaeology*, 45(1), 75-88. <https://doi.org/10.1080/00934690.2020.1713287>
- von Schwerin, J., Richards-Rissetto, H., Remondino, F., Spera, M. G., Auer, M., Billen, N., Loos, L., Stelson, L. y Reindel, M. (2016). Airborne LiDAR acquisition, post-processing and accuracy-checking for a 3D WebGIS of Copan, Honduras. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 5, 85-104.
- Vosselman, G. y Maas, H. G. (2010). *Airborne and terrestrial laser scanning*. Whittles Publishing.