

**ESTUDIO DE PAISAJES CELESTES ANDINOS EN EL VALLE CALCHAQUÍ NORTE,
SALTA, ARGENTINA: UNA PROPUESTA PRELIMINAR DESDE LA
ARQUEOASTRONOMÍA VIRTUAL**

ANDEAN SKYSCAPES STUDY. A CASE FROM NORWEAST ARGENTINA

Joaquín Izaguirre¹, Alejandro Ferrarri², Iván Leibowicz³, Ricardo Moyano⁴

¹ Instituto Multidisciplinario de Historia y Ciencias Humanas. CONICET. Saavedra 15, CABA, Argentina.

Email: joaquin.izaguirre@gmail.com

² Instituto Multidisciplinario de Historia y Ciencias Humanas. CONICET. Saavedra 15, CABA, Argentina.

Email: alejandroferra@gmail.com

³ Instituto Multidisciplinario de Historia y Ciencias Humanas. CONICET. Saavedra 15, CABA, Argentina.

Email: pinocarriaga@hotmail.com

⁴ Sociedad Interamericana de Astronomía en la Cultura. Vernet 146. CABA, Argentina. Email:

astronomiaintercultural@gmail.com

Presentado: 14/09/2020

Aceptado: 30/11/2020

Resumen

Este trabajo aborda el estudio de los paisajes celestes andinos a partir de la arqueoastronomía virtual. Específicamente, se realiza un análisis preliminar que se centra en uno de los espacios públicos de un sector del sitio Las Pailas -SSalCac 18 (1)-, Salta, Argentina. Se considera la existencia de horizontes de observación astronómica y la ocurrencia de ciertos fenómenos lumínicos durante la salida del Sol en fechas específicas a través del uso del planetario digital Stellarium. A lo largo de este artículo se desarrollan los procedimientos y programas empleados para llevar a cabo el estudio y finalmente presentamos las posibles propiedades astronómicas del espacio público considerado. Se destaca la importancia de un fenómeno lumínico que se produce al amanecer y que involucra a una de las rocas presentes en el espacio público, a un abra y al cerro Meléndez -cumbre del Nevado de Cachi de gran importancia regional.

Palabras Claves: Paisajes celestes andinos, Arqueoastronomía virtual, Periodo Intermedio Tardío, Stellarium, Modelos 3D.

Abstract

This paper presents a case study that exhibits the potential of studying Andean celestial landscapes from a virtual archeoastronomy perspective. Specifically, it focuses on one of the public spaces of Las Pailas archaeological site -SSalCac 18 (1)-, Salta, Argentine. A digital planetarium software (Stellarium) is used to test astronomical observation horizons and certain light phenomena during sunrise at specific dates. Throughout this paper, we offer a detailed account of the procedures and software used to carry out

the study. Results highlight a light phenomenon that occurs at dawn and entails the participation of a specific rock within the public space and the surrounding topography, including a mountain pass and Mount Meléndez - the most important and visible summit at Nevado de Cachi.

Key words: *Andean skylscapes, Virtual archaeoastronomy, Late Intermediate Period, Stellarium, 3D Models.*

Introducción

El cielo como referente de observación ha formado parte de los sistemas de conceptualización y representación de distintas sociedades en diferentes tiempos y lugares (Aveni 2005; Kit Chappel 2002; Lull 2006; Magli 2016; Ruggles 2015; entre muchos otros). Sabemos que esto era así en los Andes debido a etnografías, crónicas y trabajos arqueológicos que destacan el lugar central que ocupaba el cielo y los cuerpos celestes en el desarrollo de la vida diaria (Arnold *et al.* 1992; Betanzos 1987 [1557], Bauer y Dearborn 1998; Bauer 2016; Cobo 1964 [1653]; Corrado y Giménez 2019; Moyano 2018; Pino Matos 2013; Urton 1981; Ziolkowski 2015; Zuidema y Burga 1989; Zuidema 2011; entre otros). Las prácticas astronómicas de estas sociedades han dejado evidencias concretas en monumentos y artefactos, así como en paisajes culturales y sociales. El cielo, en conjunción con un paisaje mayor que incluye no solo construcciones humanas sino rasgos geográficos como lagos, rocas y montañas, permitió organizar muchas de las actividades de la vida cotidiana. La posición del Sol, la Luna, y ciertas estrellas y planetas sobre los diferentes puntos del horizonte han sido empleados para determinar los momentos oportunos de la siembra y la cosecha, y para señalar fechas de importancia dentro del calendario ritual (*e.g.* los *ceques* y *sucancas* del Cuzco, Zuidema 2011). Se han registrado además casos donde los primeros rayos de luz se proyectaban sobre rasgos arquitectónicos concretos (nichos, aperturas, rocas destacadas), ingresando a través de ellos o iluminándolos en fechas calendáricas específicas (Garcilaso de la Vega 1617; Saintenoy *et al.* 2019; Sarmiento de Gamboa 2001:236 [1572]; Ziolkowski y Sadowski 1982-1984).

Modelar los paisajes sociales celestes (*sensu* Silva y Campion 2015) nos permite acercarnos a los marcos conceptuales de los grupos y sociedades indígenas en la medida que posibilita explorar si los cuerpos celestes eran incorporados a la cotidianeidad o a ceremonias particulares, analizando las herramientas y dispositivos que las personas utilizaron a tal fin. El estudio de los paisajes sociales celestes ha sido comúnmente realizado por la astronomía cultural, dedicada a la comprensión de la manera en la que el cielo y su contenido se vuelve un medio de representación de ideas sobre la vida social (Iwaniszewski 2001; López 2011; Ruggles y Saunders 1993) y por la arqueoastronomía, rama de la disciplina enfocada en el análisis de los sistemas astronómicos del pasado a partir de restos materiales (Belmonte Avilés 2006; Iwaniszewski 1991; López 2011). Se emplea aquí una aproximación que se denomina “arqueoastronomía virtual” (Zotti y Neubauer 2019; Zotti *et al.* 2019), y se trata del empleo de planetarios digitales junto con modelos tridimensionales de sitios arqueológicos y de su terreno. Este acercamiento permite investigar la conceptualización del cielo y de los cuerpos celestes que pudieron tener las

sociedades pasadas, debiendo complementarse con las investigaciones en campo realizadas por la arqueoastronomía tradicional. Presentaremos aquí un análisis preliminar sobre un espacio público de un poblado del Período Intermedio Tardío (PIT, 1000-1450 d.C., Acuto 2007), ubicado en el valle Calchaquí Norte (provincia de Salta, Argentina).

Las Pailas

SSalCac 18(1) - es la denominación que le fue asignada al conglomerado principal del sitio Las Pailas (Tarragó 1977), situado en las cercanías de la localidad de Cachi, Salta, Argentina (Figura 1a). Consta de una zona de 4 ha en la que se concentra la mayor densidad de estructuras habitacionales y que se encuentra adjunta a un área de 500 ha de campos de cultivo. Se han reconocido un total de 550 recintos de diverso tamaño (Figura 1b), muchos de los cuales están conectados entre sí conformando 80 módulos arquitectónicos, y la presencia de varios espacios públicos (Kergaravat 2013; Kergaravat *et al.* 2015; ver Izaguirre 2020 para una descripción extensa sobre su configuración espacial). En la parte central se encuentra uno de estos espacios públicos, denominado aquí como EP1, el que hemos escogido para evaluar mediante la arqueoastronomía virtual debido a que es aquel del que más información disponemos, habiendo realizado excavaciones que nos permiten reconstruir la altura de los muros, y modelos tridimensionales para realizar análisis acústicos (Izaguirre y Ferrari 2018; Kergaravat *et al.* 2015). Este espacio de forma irregular de 504 m² (Figura 2a), se encuentra delimitado hacia el noreste por una vía de circulación, mientras que hacia el sudoeste y el oeste por distintos complejos de estructuras.

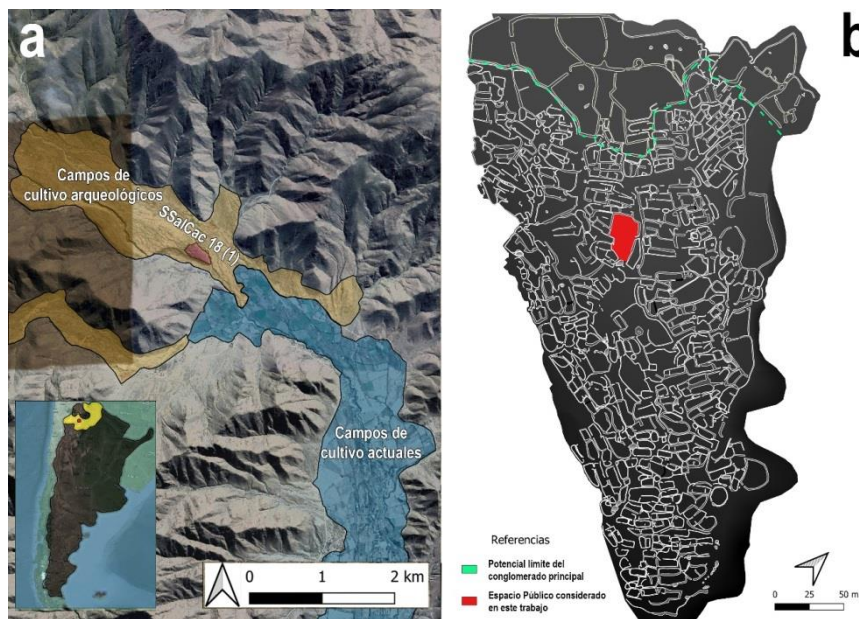


Figura 1. a) Las Pailas en su contexto. En rojo SSalCac 18 (1) referido aquí como el conglomerado principal. En naranja, la extensión dominada por posibles campos de cultivo de origen arqueológico. En celeste, extensión de los campos de cultivo en uso en la actualidad. b) Planimetría del conglomerado principal. Se distingue el límite posible del conglomerado principal y el espacio público considerado en este trabajo

En distintas regiones de los Andes, los espacios públicos eran lugares donde se realizaban una gran variedad de actividades. Las excavaciones en este espacio público nos permitieron determinar que parte de las actividades se concentraban en el sector oriental. Allí, en la base de una roca, se excavó un área de 12 m cuadrados¹ en la que se halló una inusual cantidad de material, así como la presencia de hoyos para ofrendas (Figura 2d) excavados en el sustrato (Kergaravat 2012, 2013; Kergaravat *et al.* 2015). Nos interesa destacar que algunos de estos espacios funcionaron como lugares en donde, en ocasiones, las personas se dedicaban a la observación del cielo y los fenómenos celestes (Bauer y Dearborn 1998; Hyslop 1990; Polo de Ondegardo 1916 [1554]; Niles y Bateson 1997). Existen diversos ejemplos que muestran una asociación entre las rocas que se encuentran en algunos de estos espacios públicos y determinadas posiciones del Sol, lo que provocaba su iluminación en fechas específicas (Dean 2010; Garcilaso de la Vega 1617; Saintenoy *et al.* 2019; Sarmiento de Gamboa 2001 [1572]; Ziolkowski 1982-1984).

Un ejemplo de esto es recogido por Duviols (2006 [1976]) en sus análisis de los juicios de idolatría:

“declaro que adoraba a una piedra guanca que era una piedra parada nombrada guacrayaru. Era de alto de una bara resplandesciente a manera de cristal por la parte que la adorauan i por donde miraua al nascimiento del sol” (Maray 1677 folio 3 y 4 en Duviols 2006:169 [1976]).

En el EP1 se destacan dos rocas por su forma y su tamaño (Figura 2a). La roca 1 posee 5,6 m de largo máximo y 3,8 m de ancho y una altura de 1 m sobre la actual superficie interna del espacio público (Figura 2b). Sabemos, gracias a las excavaciones realizadas al pie de esta roca, que el nivel de ocupación en este sector se hallaba 90 cm por debajo del actual, de manera que la roca alcanzaba una altura promedio de 1,9 m. La roca 2 se encuentra sobre el muro sudoeste, tiene una base de 1,5 m largo máximo, 1 m de ancho y una altura de 84 cm sobre la superficie actual (Figura 2c). En los Andes, esta clase de rocas eran a menudo consideradas como *chacrayoc* – custodios de las chacras – o *marcayoc* – protectores del poblado –razón por la cual recibían ofrendas frecuentes (Arriaga 1621; Duviols 2006 [1976], [1979]; Robin Azevedo 2010).

El paisaje terrestre en torno a SSaCac 18(1) presenta una geografía accidentada, especialmente hacia el oeste, en la que destaca la presencia del Nevado de Cachi (Figura 3). Varios autores han señalado que los cerros fueron (y aún son) considerados como entidades del paisaje con gran jerarquía (Allen 2015; Avila 1966 [1598]; Bernand 2008; entre otros). Esta adoración a los cerros es una tradición panandina íntimamente vinculada con el culto a los antepasados, a la fertilidad, al inframundo y a los ciclos meteorológicos. Fueron y aún son considerados las entidades tutelares de los territorios y, por ello, venerados y temidos (Bastien 1996; Cobo 1964 [1653]; Isbell 1974; entre otros). Al respecto, el cronista español Bernabé Cobo escribió:

“Adoraban también las fuentes, manantiales, ríos y lagos; los cerros que se distinguían en algo de los otros sus vecinos o en la hechura o en la sustancia, como si eran de tierra o arena, siendo los otros de peñascos, o al contrario; la cordillera nevada, y cualquiera otra sierra o monte alto que tuviese nieve; las penas o piedras grandes, los riscos y quebradas hondas, los altos y cumbres de los cerros y collados” (Cobo 1964: 166 [1653]).

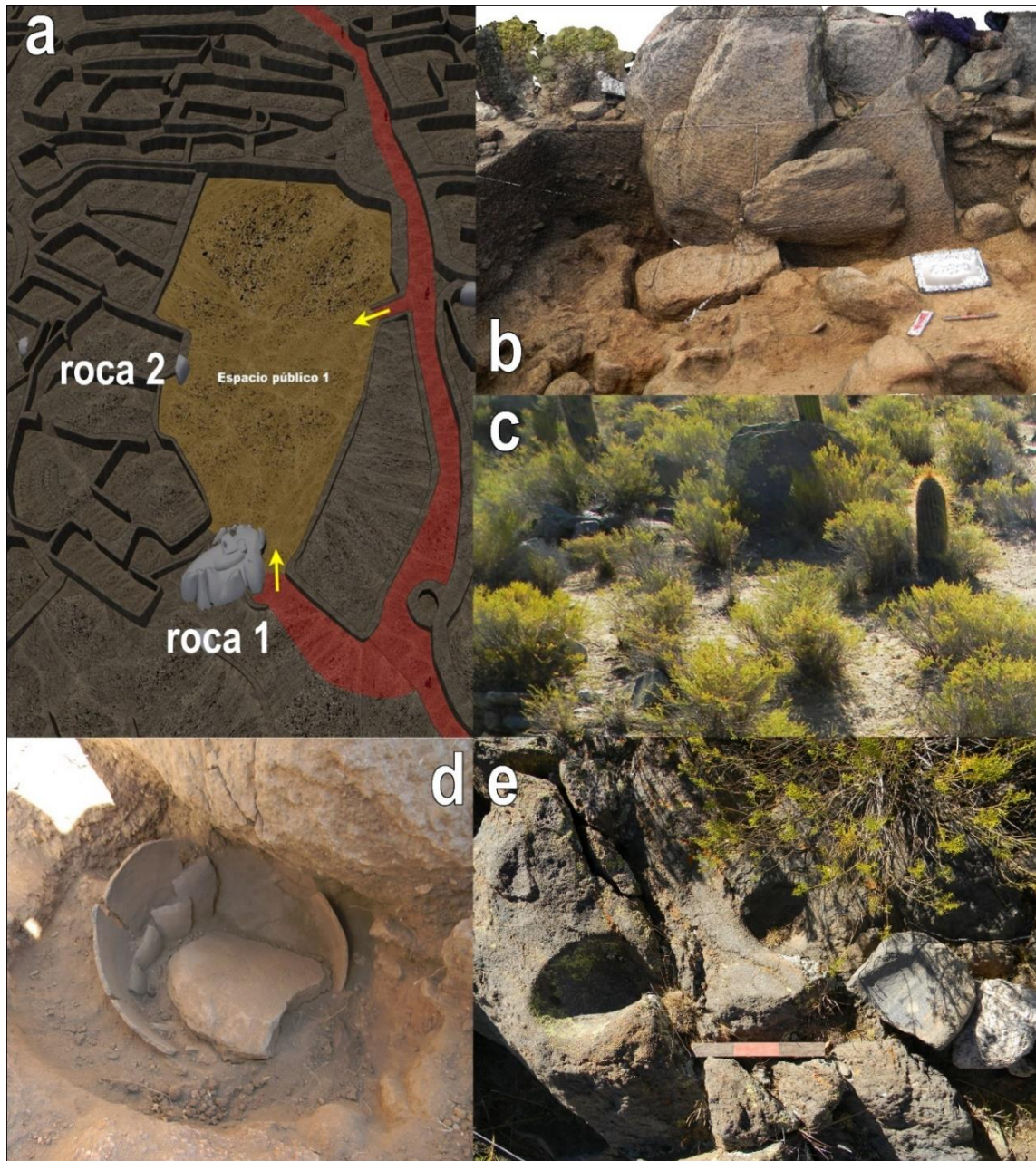


Figura 2. a) Reconstrucción 3D del EP1, se señalan las dos rocas destacadas, así como la vía de circulación que lo rodea y sus accesos. b) Reconstrucción fotogramétrica de la excavación hasta la base de la roca 1. c) Roca 2, situada en la parte media en el oeste del EP1. d) Hoyo para ofrendas excavado sobre la roca base al pie de la roca 1 con vasija en su interior. e) Oquedades en la roca 1.



Figura 3. Nevado de Cachi visto desde SSalCac 18(1)

Las cumbres y las abras de los cerros fueron frecuentemente utilizadas como marcadores de horizonte para señalar fechas dentro del calendario luni-solar. Por ejemplo, Cobo señala que en Cuzco los Inkas tenían un marcador en las montañas para cada mes (Cobo 1964 [1653]:166).

Sin lugar a dudas, las cumbres del Nevado de Cachi fueron muy importantes para los habitantes locales y también para los Inkas, quienes ocuparon posteriormente la región y ascendieron por sus laderas orientales para participar de actividades rituales destinadas a agasajar a las entidades sagradas del paisaje y controlar el suministro de aguas. Testigo de ello es la presencia de un circuito de peregrinaje Inka que conectaba los valles bajos con un sitio destinado al control ritual del agua a 4750 m s.n.m. conocido como El Apunao, la remodelación Inka del sitio local Uña Tambo a 4705 m s.n.m., y una serie de estructuras ceremoniales en la cumbre del Cerro Meléndez (6020 msnm) (Ceruti 2009; Ferrari 2019; Jacob *et al.* 2011; Leibowicz *et al.* 2018; Moyano 2014; Vitry 2008).

En este trabajo buscamos evaluar si el EP1 pudo haber funcionado como un espacio de observación astronómica. Específicamente, si el Nevado de Cachi pudo ser utilizado para marcar fechas del calendario solar y si las rocas 1 y 2 pudieron haber asistido a las personas en la determinación de fechas específicas, tal como fue registrado para otras regiones de los Andes (Bauer y Dearborn 1998; Ghezzi y Rugles 2011; Leibowicz *et al.* 2016; Moyano 2018; Pino Matos 2004; Reynoso 2003; Saintenoy *et al.* 2019).

Metodología empleada.

El uso de modelos 3D para evaluar fenómenos astronómicos no es algo reciente y han sido empleados como complemento del trabajo de campo (Frischer *et al.* 2016; Saintenoy *et al.* 2019, entre otros). Desde sus orígenes, la *arqueología virtual* (*sensu* Forte y Silloti 1997) entendió este potencial. Evidencia de esto es el trabajo de Johanson y Frischer (2008) sobre el adoratorio Inka de la Isla del Sol (Lago Titicaca, Bolivia) y su asociación arquitectónica con el astro homónimo. El avance de la informática en las últimas dos décadas y el desarrollo de planetarios digitales, junto con la masificación de técnicas de modelado tridimensional, facilitan la aplicación sistemática de estos acercamientos. Con el propósito de realizar mediciones astronómicas a partir de modelos tridimensionales, hemos escogido utilizar el *Stellarium* (programa de licencia gratuita y código abierto) en conjunto con el *plugin* "Scenary 3D" desarrollado por Georg Zotti (2015). El *Stellarium* es un planetario digital que sirve como herramienta para simular el cielo desde cualquier lugar del planeta y durante cualquier periodo de tiempo. Por lo tanto, permite

realizar mediciones para cualquier fecha calendárica desde cualquier recinto o espacio del sitio reconstruido, así como analizar la proyección de la luz y la sombra sobre las diferentes superficies de acuerdo a la posición del Sol. La precisión del *Stellarium* para la medición de la posición del Sol es de 1" (Zotti y Wolf 2020). Errores adicionales pueden surgir de la orientación, la resolución y la escala del modelo 3D utilizado y fueron considerados por diversos autores (por ejemplo, Frischer *et al.* 2016; Zotti 2016; Zotti *et al.* 2019; entre otros). Nuestras propias exploraciones han destacado que el empleo de modelos digitales de elevación de 1 arco segundo produce un error de medición menor a los 15 minutos de variación en el azimut y la altura (Izaguirre *et al.* 2019). La incorporación de la curvatura terrestre aquí propuesta reduce considerablemente este error. De esta forma, es posible postular diferentes hipótesis relacionadas con los espacios arquitectónicos y fenómenos celestes trabajando en tiempo real a partir de modelos 3D. Un diagrama simplificado del flujo de trabajo se presenta en la Figura 4 y se detalla en los apartados siguientes.

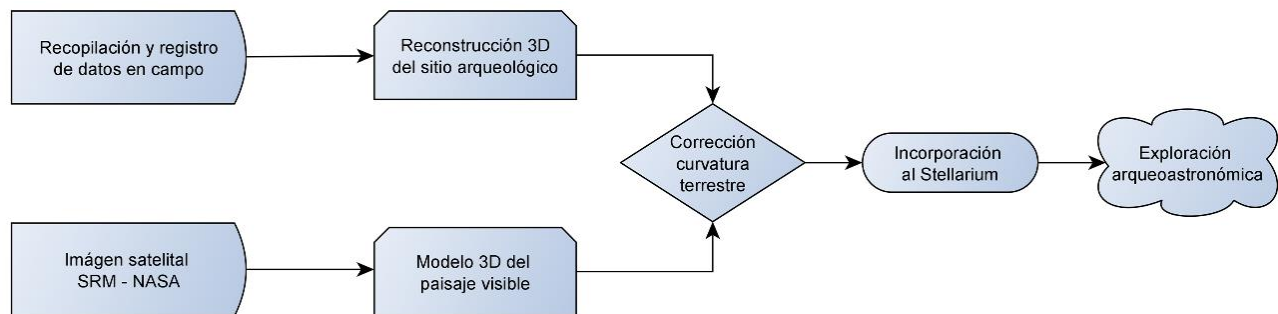


Figura 4. Flujo de trabajo propuesto.

El relevamiento de SSaCac 18 (1) y su planimetría tridimensional

Durante el año 2012 se llevó a cabo una campaña de investigación que incluyó la realización de la planimetría de SSaCac18 (1) junto con una serie de excavaciones que permitieron estimar el nivel de la superficie de ocupación y la altura de los muros. Para el relevamiento se realizaron croquis a mano alzada de todas las estructuras y, posteriormente, se registraron sus perímetros con una estación total. Se midieron 8740 puntos y, dados los desniveles del terreno y la vegetación, fue necesario desplazar la ubicación de la estación total nueve veces a fin de asegurar la cobertura de la totalidad del área estudiada (Figura 5a). El plano fue posteriormente georreferenciado mediante las herramientas de geolocalización del programa *Autodesk Civil3D* a partir de coordenadas GPS tomadas sobre puntos registrados por la estación total². A partir de los puntos registrados por la estación total, las mediciones georreferenciadas y los croquis confeccionados a mano alzada se dibujó, en el mismo programa, el contorno de cada una de las estructuras y de sus muros mediante trazos poligonales. Este contorno conformó la planimetría bidimensional que se presentó en la Figura 1.

Los puntos registrados por la estación total fueron utilizados para crear una superficie 3D sólida conformada por una red de triángulos irregulares, también llamado modelo TIN (por sus siglas en inglés *Triangulated Irregular Network*) mediante *Autodesk Civil 3D*. El proceso de triangulación une todos los puntos entre sí de acuerdo a su distancia mínima, incluso si forman parte de recintos diferentes. Este modelo representa un primer esbozo tridimensional de nuestros datos, pero no representa de manera correcta las superficies del terreno ni contempla la altura de los muros de las estructuras (Figura 5b).

Para que la malla tridimensional se ajuste a la forma de las estructuras registradas en la planta bidimensional, fue necesario insertar puntos intermedios siguiendo el contorno de los recintos (Figura 5c), densificando la malla y direccionando la triangulación. Este método permite un control total sobre la superficie, el ajuste correcto de los límites de los recintos y de rasgos particulares como caminos y desniveles, y corregir mediciones corrompidas o datos dañados. A partir del mismo proceso se insertaron puntos contiguos a los puntos de superficie sobre el lienzo interno de los muros con el fin de modelar su altura estimada (Figura 5d).

Para generar la reconstrucción tridimensional del sitio fue necesario establecer dos criterios:

1. El grado de nivelación de las superficies
2. La altura de los muros.

Ambos aspectos son problemáticos debido a que el sitio se encuentra emplazado sobre un terreno con varias pendientes. La pendiente 1-2 (γ), como puede apreciarse en el perfil de la Figura 6a, tiene una dirección noreste-sudoeste con una diferencia altitudinal de 8° y una variación altitudinal de 56,26 m en sus extremos. Por otro lado, desde la zona central que corta el perfil 1-2 se extienden hacia los laterales dos pendientes: una hacia el sudoeste con una diferencia altitudinal de 14,86 m (α) y otra hacia el noreste con una diferencia altitudinal de 8 m (β). La superficie actual de cada recinto se encuentra en pendiente. Las excavaciones llevadas a cabo en la década de 1970 por Tarragó y Núñez Regueiro en un complejo de estructuras conocido como “patio de las conanas” (R3 en Tarragó, 1977), mostraron que las superficies de ocupación se encontraban niveladas. Para realizar esta nivelación en el modelo 3D se utilizó como referencia el punto de menor superficie de cada recinto registrado por la estación total.

Las excavaciones también permitieron establecer la altura promedio de los muros a partir del tamaño de las rocas extraídas del sedimento y la altura actual de los paramentos; estimándose una altura máxima de 1,5 m. Como fue registrado por Tarragó (1977) y verificado en nuestro relevamiento, la mayoría de las estructuras se encuentran construidas siguiendo las curvas de nivel de la pendiente del sitio, minimizando así la variación altitudinal en la superficie de ocupación. El perfil A-B representado en la Figura 6b compara el perfil registrado por la estación total (contornos verdes y rojos) con el perfil hipotético construido tridimensionalmente.

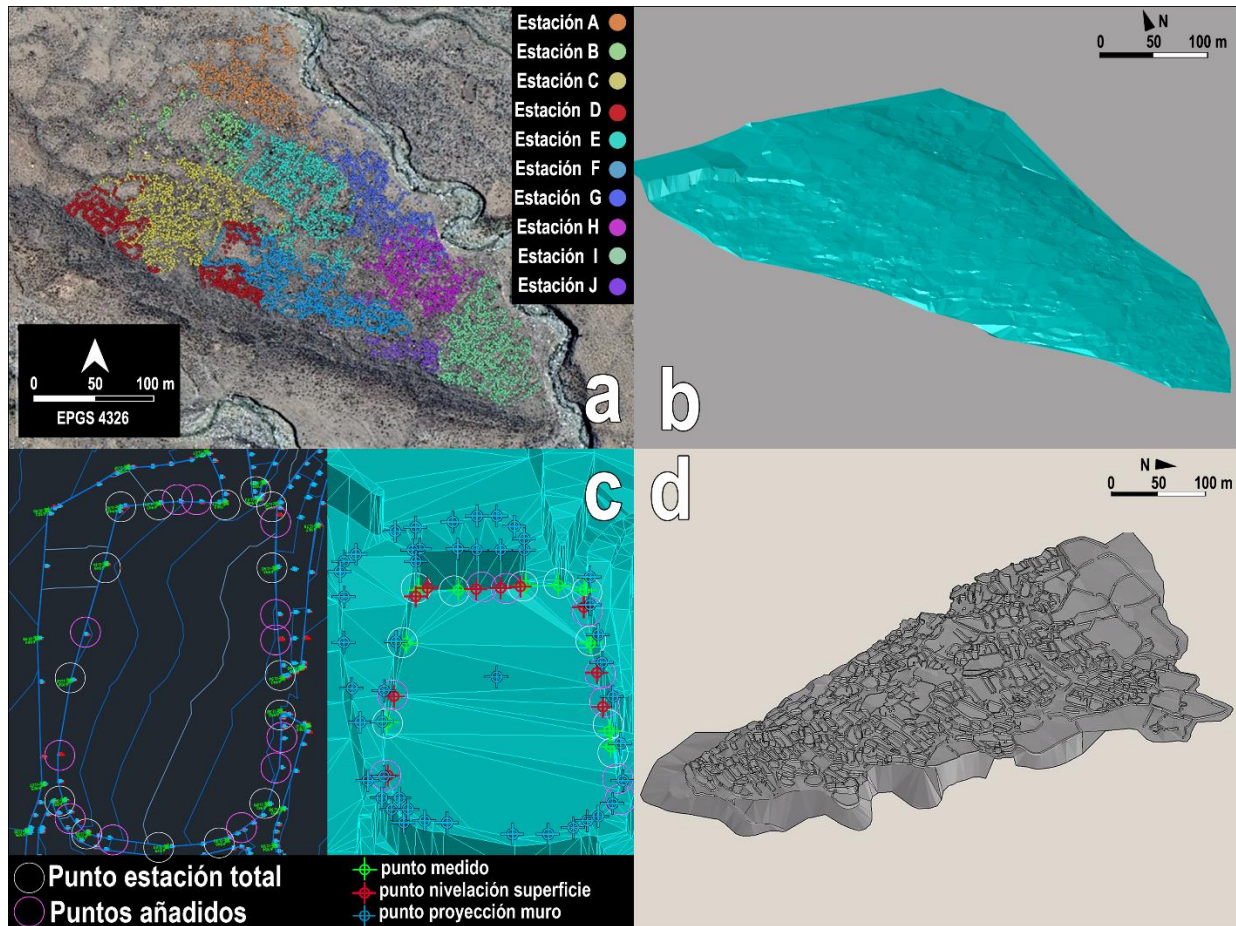


Figura 5. Proceso de modelado tridimensional. a) Puntos registrados por cada desplazamiento de la estación total (A-J). b) Modelo TIN a partir de los puntos registrados por la estación total. c) Densificación de puntos de superficie e inserción de puntos de altura de muros. d) Modelo TIN resultante.

La reconstrucción 3D del terreno presentó menos dificultades que la reconstrucción del núcleo conglomerado principal. Para realizar este procedimiento se utilizó una imagen satelital (Figura 7a), provista por la *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) y procesadas en 2014 por *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) y *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Estas imágenes son de acceso gratuito y poseen una resolución de 1 segundo sexagesimal (también llamado arco-segundos)³, que equivale al registro de la variabilidad vertical de la superficie de la tierra en un grillado de 30 x 30 m. Se utilizó un área aproximada de 24 x 21 km a fin de integrar el modelo del sitio con los rasgos topográficos visibles desde allí. La imagen satelital fue procesada mediante el programa Autodesk Civil 3D a partir de la herramienta *create Surface from DEM*, lo que permitió generar un modelo TIN (Figura 7b). Ambos modelos 3D –el sitio reconstruido y el terreno en el que se emplaza – fueron combinados en un único modelo (Figura 7c), factible de ser procesado mediante *Stellarium*.

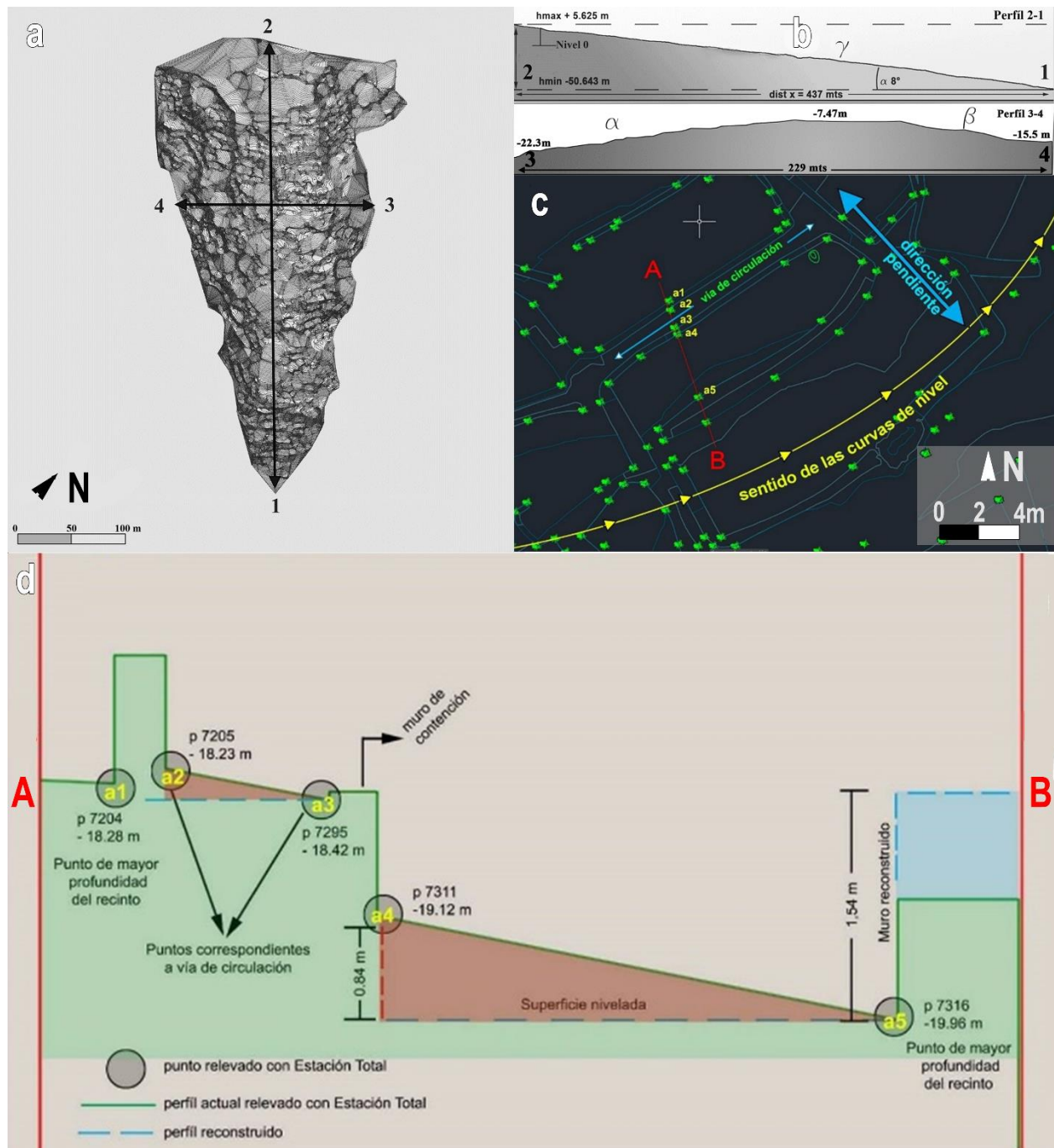


Figura 6. a) Curvas de nivel de SsalCac 18(1). b) perfiles 1-2 y 3-4, correspondientes a las dos pendientes principales γ y α y β . c-d) representación del proceso de nivelación de superficies y reconstrucción hipotética de muros. Las áreas rojas representan el volumen del TIN que debió ser removido en la reconstrucción 3D para alcanzar la nivelación y las azules la proyección hipotética del muro.

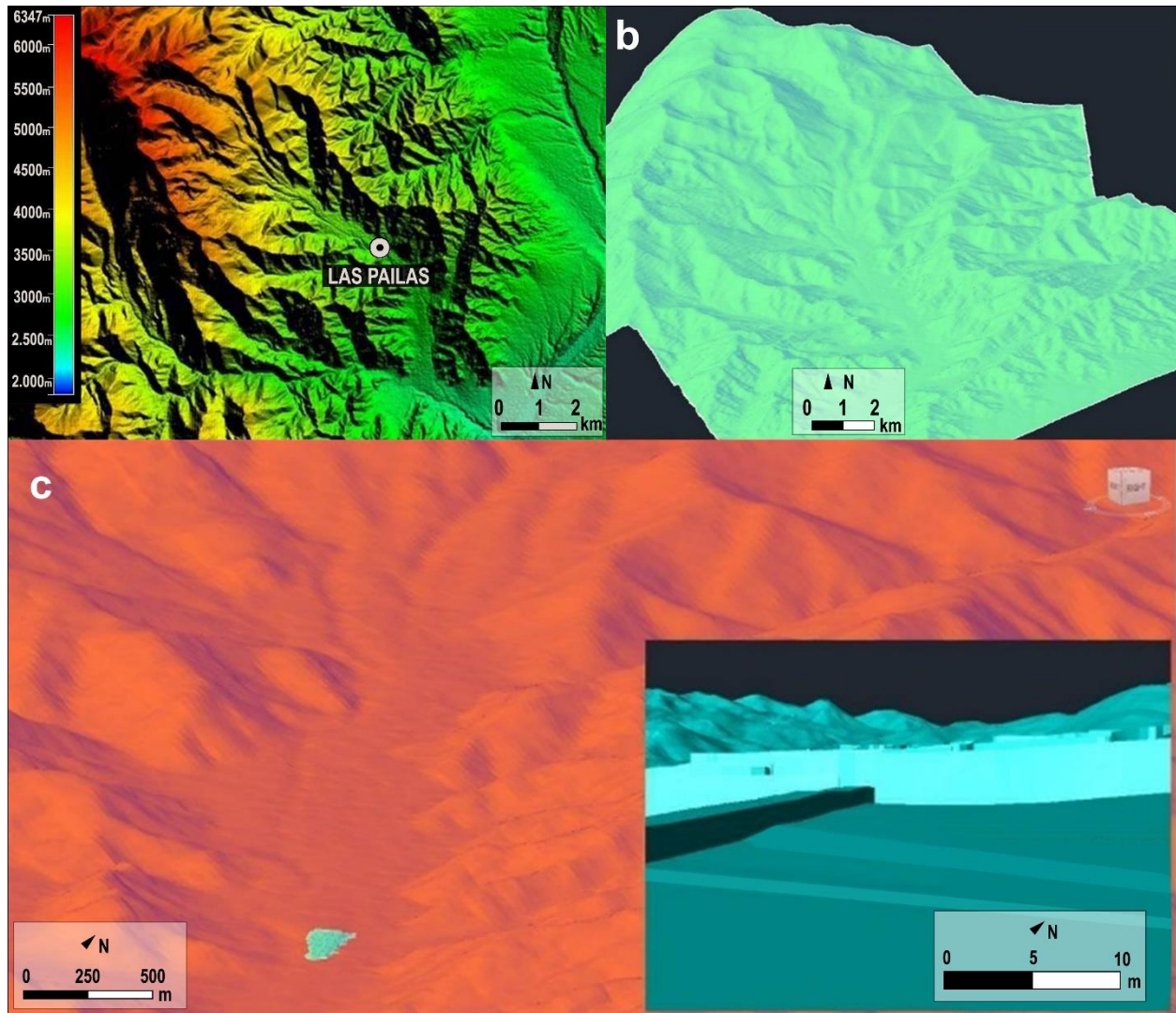


Figura 7. Proceso de modelado 3D del terreno y fusión con la reconstrucción 3D de SSalcac 18(1). a) Imagen satelital de la SRM empleada. b) Modelo TIN realizado a partir de dicha fotografía. c) Modelo 3D fusionado. En el recuadro inferior derecho se representa una vista desde el sitio que contempla el paisaje circundante.

Sin embargo, este modelo no puede ser utilizado directamente en el Stellarium para obtener valores astronómicos ya que no contempla la curvatura de la tierra. Tal como señalan Zotti y Neubauer (2019), en modelos digitales de elevación que poseen horizontes de observación situados a más de 1km de distancia del observador se produce, debido a la curvatura de la tierra, un desfase que repercute sobre las mediciones obtenidas. Esto se debe a la forma en la que el Stellarium incorpora al modelo digital de elevación (Zotti y Neubauer 2019: 99). A fin de resolver este problema, trasladamos la curvatura de la tierra a nuestro modelo 3D en *Autodesk 3D Max*. Para ello, se asumió que la tierra es esférica con un radio de 6371 km. La cantidad de deformación existente desde el punto central de un área de 100 x 100 km se puede calcular mediante la siguiente fórmula: $\sqrt{re^2 - d^2} - re$, en donde 're' equivale al radio de la

tierra (6371 km) y 'd' a la distancia del objeto en el horizonte (50 km). Para este polígono la deformación terrestre genera una variación de 196,185 m en sus extremos con respecto a su centro (Earth Curvature Calculator 2016). Para trasladar esta deformación a nuestro modelo se aplicó el modificador *bend*, que genera la curvatura de una superficie a partir de cualquiera de sus ejes longitudinales partiendo de un punto determinado. La deformación de 196 metros señalada para el polígono de 100 x 100 km se obtiene a partir de un ángulo de 1 grado sobre el eje *x* y sobre el eje *y* desde su centroide. Debido a que el polígono de nuestro modelo DEM tiene una extensión de 24 km x 21 km, se aplicó una deformación de 0,24° en sentido norte-sur y una deformación de 0,21° en sentido este-oeste.

A fin de cotejar la reducción del error se compararon las mediciones realizadas en campo de los valores de azimut y altura de 3 hitos visibles desde un observador situado en una coordenada georeferenciada con valores obtenidos para el mismo punto desde el Stellarium. Esta comparación, que considera el MDE de 1 arco segundo con y sin curvatura de la tierra, se expone en la tabla 1. Los resultados señalan que el error se reduce de manera considerable en todos los casos tras incorporar la curvatura de la tierra como variable del MDE.

Rasgo medido	Mediciones en campo	Stellarium sin procesar curvatura	Error	Stellarium con curvatura corregida	Error con curvatura corregida
Hito 1	325°37'59" / 07°09'21.11"	325°34'37.7" / 07°23'25.9"	0° 3' 21" / - 0° 14'5"	325°37'51/ 07°17'12.7"	0° 0' 8" / -0° 07' 52"
Hito 2	323°30'59" / 07°19'28.72"	323°26'54.4" / 07°28'10.2"	0° 4' 5" / - 0° 08'41"	323°28'21.9" / 07°24'01.8"	0° 2' 37" / - 0° 04'33"
Hito 3	329°40'59" / 06°38'58.26"	329°26'19.6" / /06°53'37.1"	0° 14'42" / 0° 14' 39"	329°33'57.9/ 06°49'06.8	0° 7' 1" / 0° 10' 8".

Tabla 1. Comparación de mediciones en campo con las obtenidas a través del Stellarium, con y sin la curvatura terrestre corregida.

Stellarium y Variables astronómicas evaluadas

La incorporación del modelo tridimensional a la plataforma del *Stellarium* se realizó mediante un *script* en lenguaje *HTML* de acuerdo a la guía del programa disponible *online* (Zotti y Wolf 2020). Se detallan aquí las principales líneas de comando que habilitan la integración del modelo a la plataforma del *Stellarium*. Estas se organizan en torno a tres secciones principales: *[Model]*, *[Location]* y *[Coord]*.

Sección [Model]: Hace referencia a los parámetros de configuración del modelo

Name=: Sirve para identificar el modelo.

Landscape=: Permite cargar una panorámica de 360° del terreno. Se utiliza esta opción en caso de querer emplear una fotografía en lugar de un modelo de elevación del terreno. Se utiliza aquí el valor por defecto *Zero Horizon* que implica la ausencia de fotografía panorámica.

Scenary=: Es el modelo 3D que deseamos correr en la plataforma del *Stellarium*. El mismo debe tener formato ".obj".

Obj_order=: Permite la carga correcta del modelo .obj en la plataforma. Para ello, toma las coordenadas espaciales de cada polígono organizadas en tres columnas (x, y, z) y vincula el sistema de coordenadas con el eje de representación de geometrías del *Stellarium*. Esta información suele estar disponible cuando se exporta el modelo 3D desde el programa que lo originó. En el caso de Las Pailas, el orden del posicionamiento de los polígonos fue XYZ.

CamNearZ=: Explicita la distancia en las unidades del modelo a la que un objeto es visible. En nuestro caso se utilizó un valor de 0.1. Debido a que utilizamos el sistema de medición métrico, este valor implica que todo polígono que esté a una distancia menor a los 10 cm no será visible por el observador.

CamFarZ=: Explicita la distancia máxima de los objetos visibles por el observador. A través de esta línea de código se debe explicitar la distancia máxima que existe entre dos puntos opuestos del modelo 3D. Para el caso aquí propuesto utilizamos una distancia de 500000 m (500 km) a fin de incorporar los polígonos correspondientes a los cerros más lejanos.

ShadowDistance=: Indica la distancia máxima a la cual el observador puede ver la sombra de un objeto. En el caso de Las Pailas se empleó el mismo valor que en CamFarZ. Esto permite obtener la proyección de las sombras generadas por el Sol sobre las montañas.

Sección [Location]: Hace referencia a la ubicación del modelo en las coordenadas espaciales a fin de calcular los valores de azimut y altura de los cuerpos celestes.

Name=: Corresponde al nombre de la ubicación geográfica donde se sitúa espacialmente el modelo 3D. No repercute sobre su ejecución.

Country=: Refiere al nombre del país en el cual el modelo se inserta. No repercute sobre su ejecución.

LandscapeKey= Se utiliza para asociar la ubicación definida a una imagen panorámica de un paisaje predefinido y debe ser el mismo que se indicó en la sección [Model] bajo la clave "Landscape=".

Longitude=; Latitude=; Altitude=: Se indica al script el posicionamiento del modelo en función de su centro de gravedad (centroide). Este valor es indicado por lo general por el programa en el cual se generó el modelo y permite situarlo en función del paisaje celeste.

Sección [Coord.]: Hace referencia a los parámetros de configuración del observador en el paisaje.

Grid_name=; *GrydType=*: se utiliza para señalar la proyección geográfica que se usará para referenciar al observador en el espacio. En el caso de Las Pailas se utilizó una proyección UTM 19 J con *datum* WGS 84.

Orig_E=; *Orig_N=*; *Orig_H=*: Definen la ubicación de inicio a partir del cual se calcula la posición de los cuerpos celestes desde el modelo.

Convergence_angle=: Explicita la diferencia entre el norte del modelo y el norte magnético real. Este dato suele obtenerse del programa en el que se georreferenció el modelo 3D. En caso contrario debe calcularse ya que afecta las mediciones realizadas.

Start_E=; *Start_N=*: Definen la ubicación inicial del observador, es decir en dónde va a aparecer la cámara cuando se ejecute el modelo.

Start_az_alt_fov=: Estas variables indican el ángulo vertical de la cámara, la altitud del observador y el campo de visión. Estos valores deben ingresarse separados por coma y no repercuten sobre la ejecución del modelo, pero sí sobre la vista del observador. Es posible ajustarlos durante la ejecución del *Stellarium* a través del movimiento de la rueda del *mouse*.

La ejecución del *script* permitió la observación de los fenómenos astronómicos, así como la proyección de luces y sombras. Cabe destacar que los modelos procesados en *Stellarium*, a pesar de poseer una alta cantidad de polígonos (más de 850.000 en este caso), son completamente funcionales en ordenadores de baja performance⁴.

Variables astronómicas evaluadas

Como la Tierra gira en torno al Sol y en la misma dirección que gira su eje, para un observador en un punto fijo del paisaje, éste parecerá desplazarse de este a oeste, describiendo un círculo completo de 360° contra el fondo de estrellas en un año trópico de 365,2422 días. Los solsticios (lat. *Solstitium* "Sol quieto") son los momentos del año en que el Sol alcanza su mayor distancia al norte y al sur del Ecuador celeste. Esto ocurre en la actualidad aproximadamente los días 21 de junio y 21 de diciembre respectivamente. Mientras que los equinoccios (lat. *Aequinoctium* "igual noche") serán los eventos en que el Sol cruza por el ecuador, pasando del hemisferio sur al norte aproximadamente el día 20 de marzo y del hemisferio norte al sur el día 22 de septiembre (Aveni 2005). Para realizar los análisis de horizonte centramos nuestro interés específicamente en las fechas de los solsticios y equinoccios. Se utilizó la fecha de 1290⁵ d.C. (630 ± 50 AP, Gluzman 2008). El programa *Stellarium*, mediante el *plugin archaeolines* (Zotti 2015), permite identificar con precisión en qué fecha se sitúan los solsticios y equinoccios astronómicos para cualquier fecha determinada. De acuerdo al calendario Juliano, y al empleo de este *plugin*, para el año de referencia utilizado, el solsticio de invierno sucedió el día 13 de junio, el solsticio de verano el 12 de diciembre y los equinoccios durante los días 13 de marzo y 15 de septiembre. Se registraron además las fechas en las que el Sol se posa sobre todas las

cumbres visibles del Nevado de Cachi. Las coordenadas de observación de los horizontes corresponden a un observador situado en el centroide geométrico del espacio público ($25^{\circ}1'13.12''$ S y $66^{\circ}13'44.94''$ O).

A fin de evaluar si existe algún fenómeno de iluminación vinculado a las dos rocas que se encuentran en el espacio público, se consideraron las salidas del Sol para todas las fechas registradas en el horizonte, prestando principal interés a cómo se proyectan las primeras luces sobre el espacio público y sus rasgos arquitectónicos. Para corroborar la relevancia de los fenómenos de iluminación identificados, se testeó si estos ocurren los demás días del año. Para establecer los lugares desde donde son visibles los fenómenos lumínicos generados se ejecutaron análisis de visibilidad mediante el programa de distribución gratuita *QGIS DESKTOP 3.14*.

Paisaje considerado

Las vistas hacia el poniente se encuentran protagonizadas por el Nevado de Cachi. Desde SSaCac 18(1) se destacan 7 cumbres y 11 abras (Figura 8a). El más alto de estos cerros visibles es el Meléndez con 6020 m s.n.m. Le siguen en altitud el San Miguel de Palermo (6000 m s.n.m.), el Pilar de Las Pailas (5960 m s.n.m.), el Pellicelli (5840 m s.n.m.), el Di Pasquo (5400 m s.n.m.), el Peñón Blanco (5400 m s.n.m.) y La Pirámide (5300 m s.n.m.). Hacia el oriente las salidas del Sol ocurren sobre un paisaje sin accidentes geográficos notorios, donde solo consideramos tres marcadores (Figura 8b). A estos últimos los entendemos como rasgos destacados del paisaje, es decir, formas que se recortan en el horizonte llamando la atención. Sin embargo, no son cumbres destacadas o abras y por lo tanto se les asignó una jerarquía menor.

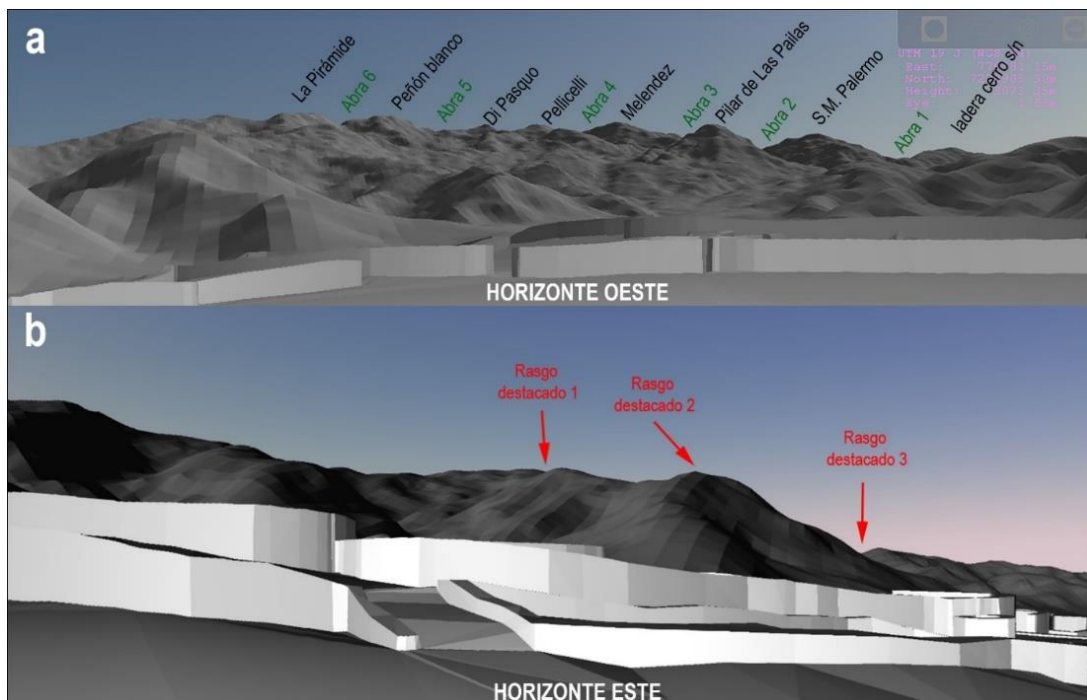


Figura 8. Paisaje terrestre visible desde el EP1. a) Paisaje hacia el poniente, se destacan los rasgos principales del Nevado de Cachi. b) Paisaje hacia el oriente y sus rasgos destacados.

Resultados

El estudio del horizonte observable desde el EP1 (Figura 9) mostró un único evento de correlación entre una cumbre del Nevado de Cachi y una fecha destacada en el calendario solar. Se trata de la puesta del Sol en el solsticio de invierno que, desde el EP 1, se puede ver que ocurre tras el Pilar de Las Pailas. Ninguna de las salidas del Sol por alguno de los tres rasgos destacados identificados sobre el oriente (señalados en la Figura 8b) arrojó asociaciones calendáricas.

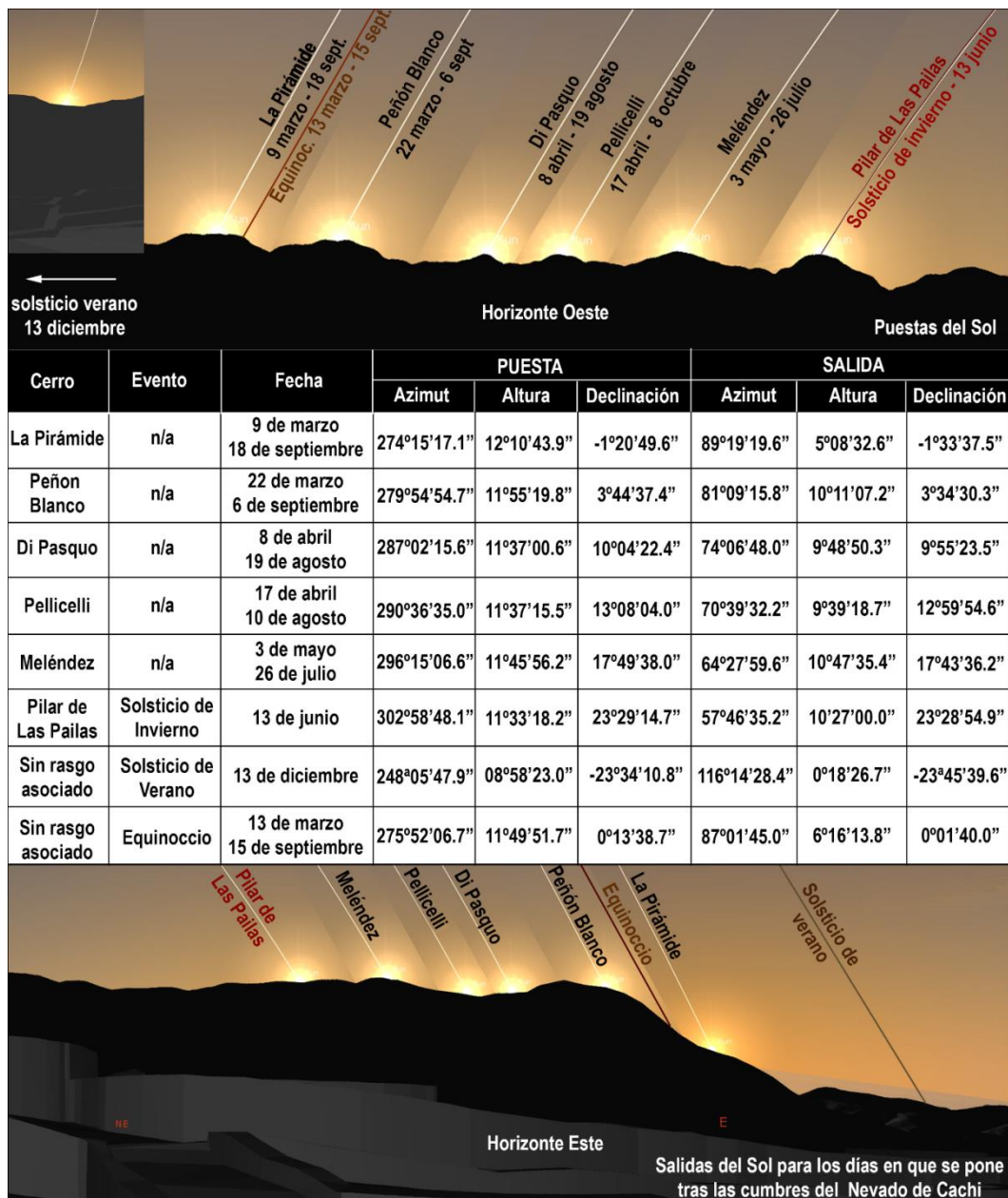


Figura 9. Horizontes resultantes observables desde el EP1. Se señalan las salidas correspondientes a las puestas sobre el Nevado de Cachi.

Como fue registrado en otras regiones, la posición del Sol sobre las cumbres de diferentes cerros pudo haber señalado los momentos para la realización de celebraciones locales (Bauer y Dearborn 1998; Corrado *et al.* 2018; Ghezzi y Rugles 2011; Moyano 2018; Ziolkowski y Kosciuk 2018; Zuidema 2011) o para organizar los ciclos agrícolas (Saintenoy *et al.* 2019; Sarmiento de Gamboa 2001 [1572]; Williams 1992). La identificación del solsticio de junio, cuando el Sol se oculta tras la cumbre del Pilar de Las Pailas, y del evento menor del equinoccio astronómico sobre un extremo del cerro La Pirámide, pudo haber servido para medir el tránsito del Sol durante la estación seca. Esta temporada se asocia usualmente con el inicio de la cosecha, el culto a los cerros y al agua, y el mantenimiento de los canales de riego (Celestino 1997; Gose 2004; Harris 1983).

Como complemento de los análisis de horizonte, se realizaron estudios de iluminación que evalúan la proyección directa de la luz del Sol durante los primeros momentos del amanecer en los ocho eventos registrados en la Figura 9. Estos resultados se presentan en las Figuras 10 a 13 (ver en Archivos complementarios las animaciones de los primeros segundos en los que la iluminación directa toca el EP1 o alguno de sus rasgos). Los principales actores de estos juegos de luces y sombras son las rocas que fueron referidas previamente como roca 1 y roca 2.

Los resultados señalan que cada día que el Sol se oculta tras las cumbres del Nevado de Cachi, exceptuando cuando se posa sobre la cumbre del cerro Di Pasquo, la roca 2 se ilumina a la mañana en una gran proporción, durante la salida del Sol, antes que se ilumine cualquier otra superficie de la Plaza. Sin embargo, no se lo puede considerar como un fenómeno especialmente relevante ya que se verificó que, a lo largo del año, esta roca se ilumina en otras 166 ocasiones antes que el espacio público sin que la puesta esté vinculada con cerros o fechas específicas.

Los días en los que el Sol se oculta sobre la cumbre del cerro Meléndez (3 de mayo y 26 julio), este fenómeno se produce de manera diferente sugiriendo que la roca 2 pudo haber cumplido un papel destacado en el EP1. Si se observa con detalle las Figuras 12 y 13, pueden observarse 3 fenómenos adicionales que no se producen ninguno de los otros días del año. En primer lugar, la roca 2 recibe luz directa iluminándose completamente antes que cualquier otra zona del Espacio Público. En los otros casos esta iluminación cubría gran parte de la roca, pero nunca en su totalidad⁶.

En segundo lugar, una vez iluminada la roca 2, los primeros rayos de luz directos sobre el EP1 producen un cono de luz que la destaca aún más de su entorno (Figura 14a). Este fenómeno se produce por la proyección de la luz del Sol a través de un abra (identificada como rasgo destacado 1 en Figura 8b y Figura 15). Un hecho no menor es que el cono de luz que se proyecta en torno a la roca 2 ocurre únicamente los dos días del año en los que el Sol se posa al atardecer sobre el Meléndez. En el día previo, la proyección del cono de luz se hallaba desplazada hacia el sur de la roca 2, por fuera del EP1 (Figura 14b). El día posterior, se encontraba desplazada hacia el norte (Figura 14c).

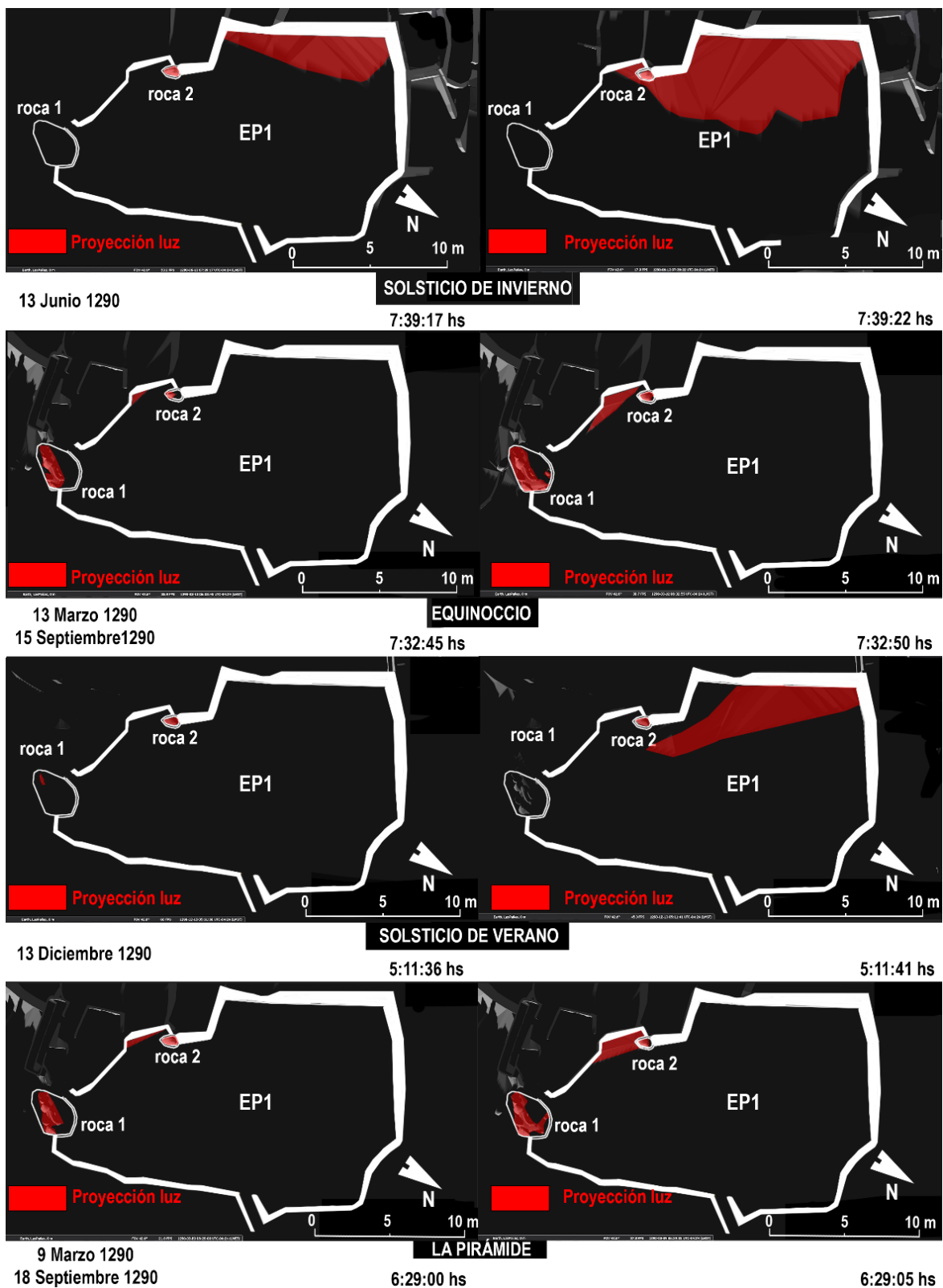


Figura 10. Iluminación del Ep1 durante la salida del Sol, para los Solsticios de Invierno y verano, Equinoccios, y para el día que el Sol se sitúa por detrás de la cumbre del cerro La Pirámide.

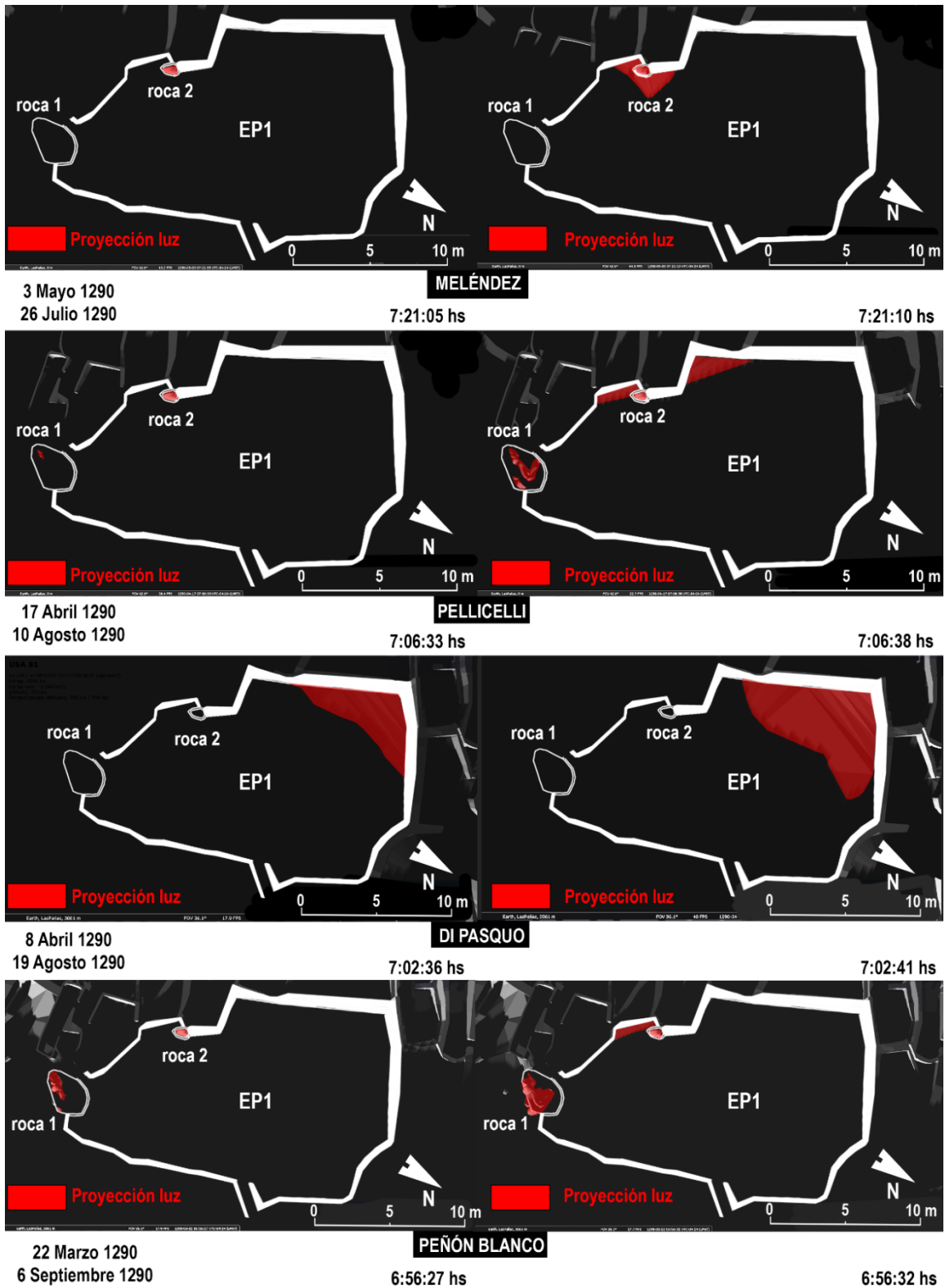


Figura 11. Iluminación del Ep1 durante la salida del Sol, para los días que el Sol se sitúa por detrás de la cumbre de los cerros Peñón Blanco, Di Pasquo, Pellicelli y Meléndez.

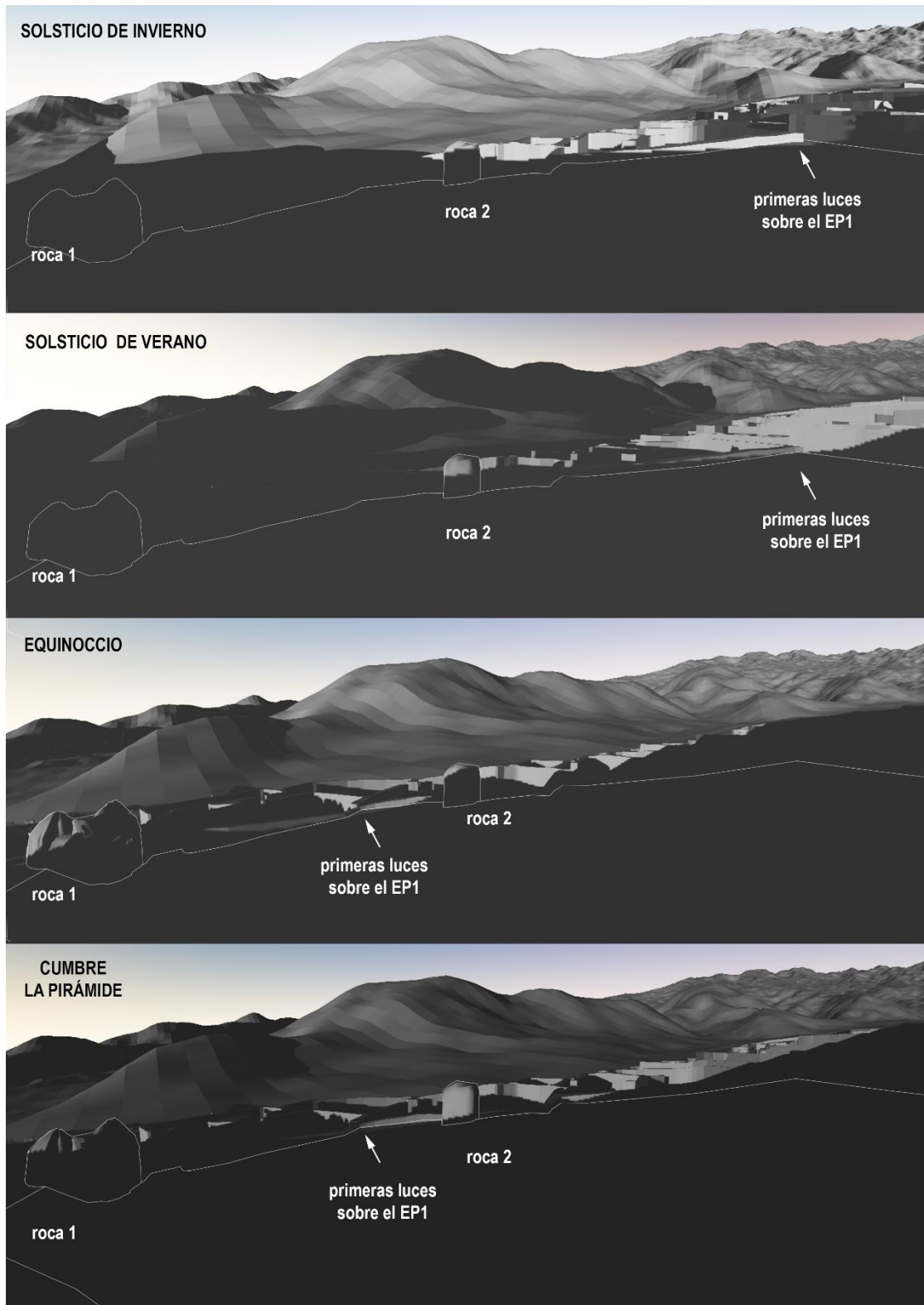


Figura 12. Vista en perspectiva del EP1 señalando el momento en el que la luz directa toca su superficie para los eventos analizados de Solsticios de Invierno y Verano, Equinoccios, y Nevado de Cachi (cumbre La Pirámide).

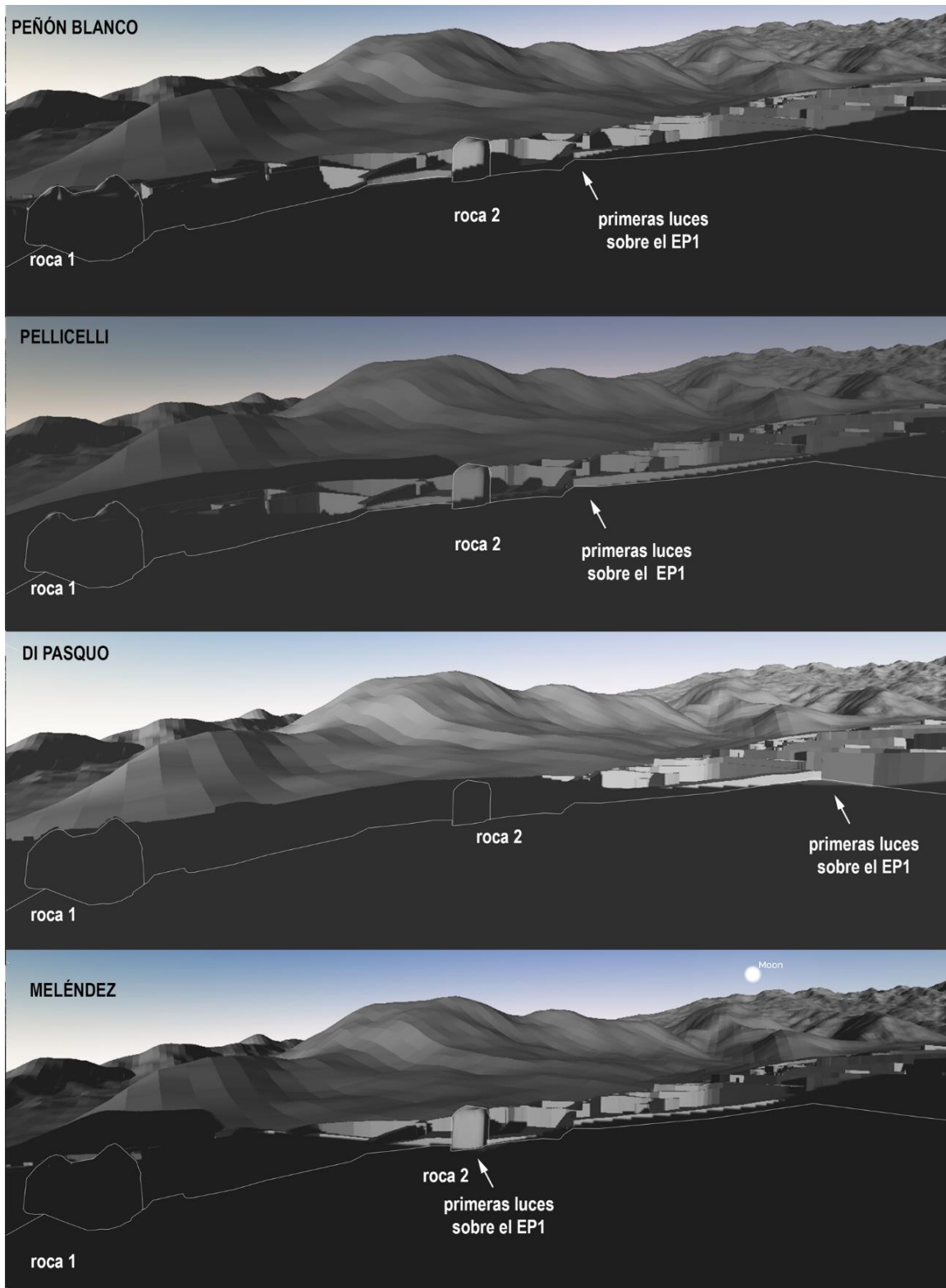


Figura 13. Vista en perspectiva del EP1 señalando el momento en el que la luz directa toca su superficie para los eventos analizados del Nevado de Cachi (Meléndez, Peñón Blanco, Pellicelli y Di Pasquo).

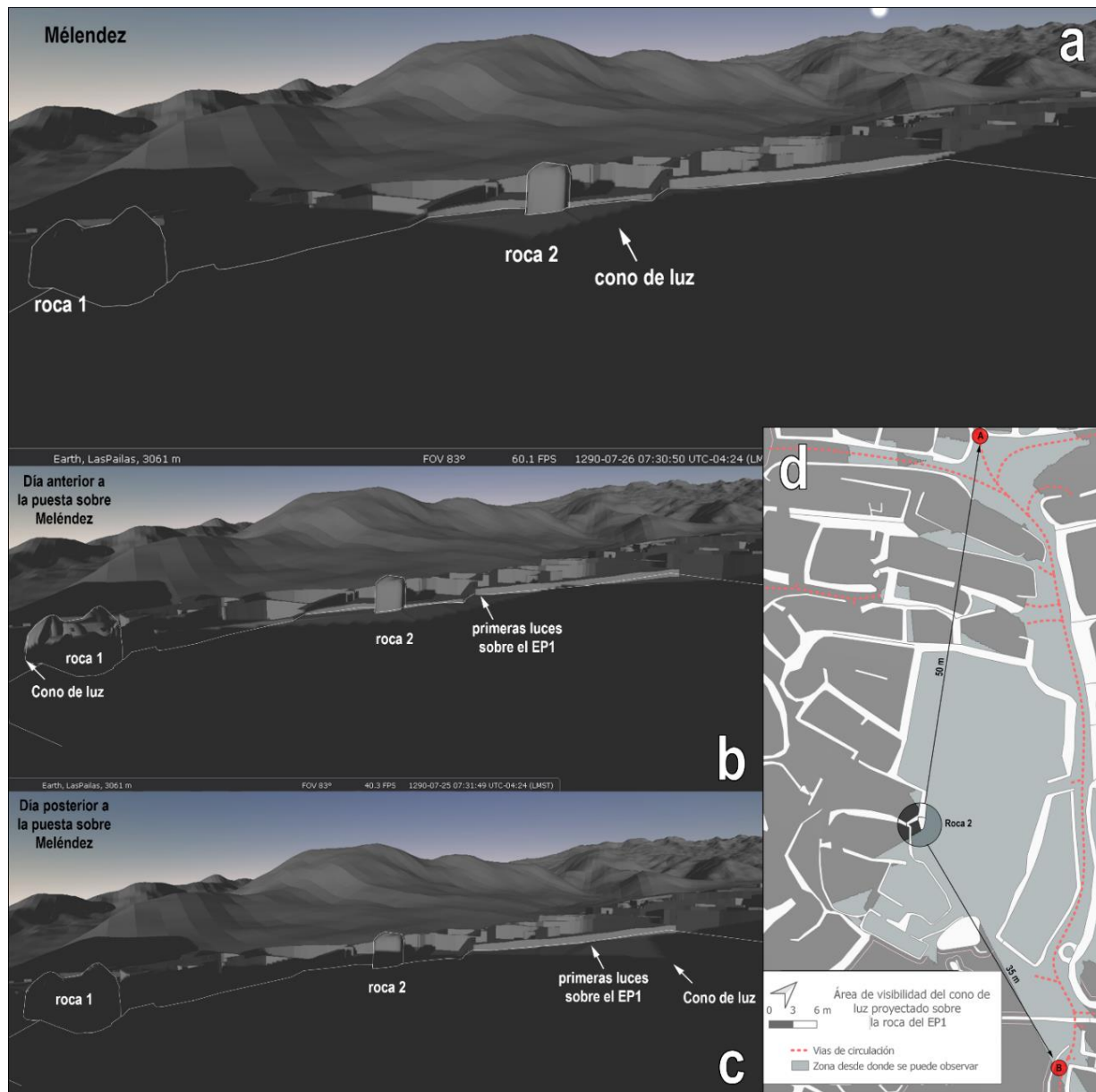


Figura 14. a) Iluminación directa sobre roca 2 el día en que el Sol se posa sobre la cumbre del Meléndez b) el día previo y c) el día posterior. d) Zonas desde donde se puede observar el cono de luz en torno a la roca 2.

En tercer lugar, la roca 1, permanece aún sin recibir iluminación directa incluso luego de iluminada la roca 2, lo que la destaca aún más. En los otros casos analizados, cuando el Sol se posa sobre las otras cumbres (Figura 12 y 13), la roca 1 se iluminaba de manera parcial, en mayor o menor medida al mismo tiempo que la roca 2 se iluminaba progresivamente.

Dado lo llamativo de este fenómeno, se evaluó desde qué partes del sitio era visible (Figura 14d) y se determinó que podía ser observado desde el camino que bordea el EP1, extendiéndose al norte poco más de 50 m, y al sur aproximadamente 35 m. Estas distancias máximas señalan

los límites desde los cuales el fenómeno pudo haber sido percibido, indicando que no era necesario estar en el interior del EP1 para poder ver la iluminación de la roca 2 y el cono de luz que se proyecta a su alrededor.

Señalamos anteriormente que este fenómeno de iluminación no responde a variables arquitectónicas, sino que es producto de la proyección de la luz a través de un abra. A fin de corroborar si la arquitectura del complejo de recintos situados al Este pudo haber bloqueado este fenómeno, se elevaron los muros de este complejo a un valor exagerado de 3 metros. A pesar de ello, el fenómeno persistió.

Debido a que la proyección de la iluminación depende del modelo 3D del entorno, se constató la existencia de este rasgo en las fotografías disponibles (Figura 15). No obstante, dada la precisión del modelo, cierta variación entre el paisaje real y el modelo virtual es esperable, por lo que es necesario revisar estos resultados en el campo.



Figura 15. Comparación entre el MDE de 1 arco segundo y una fotografía del mismo sector, donde se constata el modelado del rasgo destacado 1

Conclusiones

Los análisis aquí realizados nos permiten sugerir posibles propiedades astronómicas de uno de los espacios públicos del sitio Las Pailas. El análisis de horizontes mostró que, desde el EP1, el solsticio de invierno podía ser observado en asociación con una de las cumbres del Nevado de

Cachi (Pilar de las Pailas). Los análisis de iluminación nos permitieron establecer que, el día en el que Sol se pone sobre el Meléndez, una serie de fenómenos lumínicos al amanecer le daban protagonismo a una de las dos rocas presentes en el espacio público⁷. La posibilidad de apreciar este fenómeno lumínico no se encontraba restringida a los límites del espacio público, sino que podía verse desde la vía de circulación cercana. La existencia de múltiples espacios públicos en SSaCac 18 (1) y la presencia de rocas destacadas tanto en estos espacios como en otros recintos a lo largo del conglomerado, abren la posibilidad de que esta clase de fenómenos pueda haberse replicado en otras partes del sitio y en asociación con las otras cumbres.

Como aproximación, el empleo de reconstrucciones tridimensionales en conjunto con los planetarios digitales presenta una serie de ventajas evidentes. El entorno del Stellarium permite una fácil manipulación del modelo 3D, siendo factible desplazarse a través de él para abordar los fenómenos astronómicos desde diferentes lugares del sitio. Se destaca la posibilidad de realizar un estudio en tiempo real considerando cualquier fecha del calendario solar con alta precisión y con una resolución de segundo a segundo. Los métodos aquí propuestos deben ser complementados con investigaciones en campo a fin de corroborar los resultados alcanzados. En este sentido, el trabajo en campo y la aproximación propuesta pueden retroalimentarse positivamente permitiendo explorar ideas en campo que surgen desde lo virtual, y viceversa. Excavaciones en torno a la roca 2 nos permitirán determinar si existen otros elementos que fortalezcan nuestras interpretaciones. Por otro lado, la incorporación de otras tecnologías, especialmente aquellas como la fotogrametría aérea o LIDAR, nos permitirán producir modelos tridimensionales más precisos, ajustando aún más la resolución de los datos generados.

Agradecimientos: Agradecemos a los evaluadores por las sugerencias y comentarios realizados sobre el manuscrito. Las actividades de campo y laboratorio que hicieron posible este artículo fueron subvencionadas por CONICET y Wenner Green-Foundation. Agradecemos especialmente el apoyo continuo brindado por la comunidad Diaguíta Calchaquí de Cachi Adentro.

Notas

1. Parte de la superficie excavada correspondía a la extensión de la roca
2. Se registraron 15 puntos de control tomados con un *GPS Etrex 20* sobre puntos medidos por la estación total. Mientras el error de la estación total es de 1,5 mm, el del navegador GPS es de 3 metros. Al poseer un registro combinado de ambos, fue posible equiparar el error del GPS al de la estación total
3. Las imágenes satelitales disponibles para la Argentina son de 1 arco segundo, sirven para delimitar los rasgos fundamentales del terreno, pudiendo ocurrir cierta variación con la morfología real del terreno.
4. Las mediciones aquí realizadas fueron efectuadas desde un ordenador portátil con un microprocesador Intel I5 (2da Generación), 6 GB de memoria RAM, y una placa de video NVIDIA GeForce m820.

5. Los fechados que obtuvimos en uno de los espacios públicos también indican que fue ocupado al menos entre los siglos XII A XV de nuestra era.
6. Es necesario considerar que al no haber excavaciones en torno a la roca 2 desconocemos si la iluminación habría alcanzado su base. Es necesario realizar excavaciones a fin de contemplar si el fenómeno señalado persiste en dichas condiciones.
7. La puesta sobre el Meléndez ocurre en la actualidad el día 1 de agosto. Está fecha es de gran importancia para todas las poblaciones andinas ya que tiene lugar la fiesta de la Pachamama.

Bibliografía Citada

Acuto, F. A.

2007 Fragmentación vs. Integración comunal: Repensando el Período Tardío del Noroeste Argentino. *Estudios Atacameños: Arqueología y Antropología Surandinas* 34: 71-95.

Allen, C.

2015 The whole World is Watching: New Perspectives on Andean Animism. *The Archaeology of Wak'as. Explorations of the Sacred in the Pre-Columbian Andes* (ed. por T. Bray), pp. 23-46. Boulder, Colorado: University Press of Colorado.

Arnold, D. y J. De Dios Yapita Domingo Jiménez Aruquipa

1992 *Hacia un orden Andino de las cosas. Tres pistas de los Andes meridionales*. Instituto de Lengua y Cultura Aymara, La Paz.

Arriaga, P. I.

1621 *Extirpación de la Idolatría del Piru*. Geronimo de Contreras impresor de libros, Lima.

Aveni, A. F

2005 *Observadores del cielo en el México antiguo*. Fondo de Cultura Económica, México DF.

Ávila, F. De

1966 [1598] *Dios y hombres de Huarochiri*. Instituto de Estudios Peruanos, Lima.

Bastien, J. W.

1996 *La montaña del cóndor: metáfora y ritual en un Ayllu andino*. Hisbol, La Paz.

Bauer, B. S.

2016 The Cusco ceque system as shown in the Exsus immeritus Blas Valera populo suo. *Ñawpa Pacha* 36(1): 23-34.

Bauer, B. S. y D.S. Dearborn

1998 *Astronomía e imperio en los andes*. Centro de Estudios Regionales Andinos "Bartolomé de Las Casas", Cuzco.

Belmonte Avilés, J. A.

2006 De la arqueoastronomía a la astronomía cultural. *Boletín de la Sociedad Española de Astronomía* 15: 23-40.

Bernand, C.

2008 Cerros, nevados y páramos: un intento de arqueología etnográfica. *Revista Española de Antropología Americana* 38 (1): 167-189.

Betanzos, J. De

1987 [1551] *Suma y narración de los incas*. Editorial Atlas, Madrid.

Celestino, O.

1997 Transformaciones religiosas en los Andes peruanos. Ciclos míticos y rituales. *Gazeta de antropología* 13:1-22.

Ceruti, M. C.

2009 Relevamiento arqueológico en el Nevado de Cachi: Cumbre Meléndez y Quebrada de la Hoyada (Provincia de Salta). *Actas del VI Congreso Argentino de Americanistas, Tomo 2*, pp. 17-32. Dunken, Buenos Aires.

Cobo, B.

1964 [1653] *Historia del Nuevo Mundo*. Tomo III. Ediciones Atlas, Madrid.

Corrado, G. y S. Giménez Benítez

2018 La orientación del ushnu de El Shincal de Quimivil (Catamarca, Argentina). *Comechingonia. Revista de arqueología* 22 (2): 251-263.

Corrado, G., Giménez Benítez, S., Pino Matos J. L. y N. Balbi

2018 Comparison Between Two Inca Sites, Located North And South Of The Tropic Of Capricorn. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 18(4): 123 -129

Duviols, P.

2006 [1976] Un simbolismo Andino del doble: La litomorfosis del ancestro. *Escritos de Historia Andina, Tomo 1* (ed. por J. Flores Espinosa y C. Itier), pp. 167-174. Biblioteca Nacional de Peru e IFEA, Lima.

2006 [1979] Un simbolismo de la ocupación, el ordenamiento y la explotación del espacio: el monolito "Huanca" y su función en los andes prehispánicos. *Escritos de Historia Andina, Tomo 1* (ed. por J. Flores Espinosa y C. Itier), pp. 175-206. Biblioteca Nacional de Peru e IFEA, Lima.

Dean, C.

2010 *A Culture of Stone. Inka perspectives on rock*. Duke University Press, Durham y Londres.

Earth Curvature Calculator

2016 GITHUB. Aplicación Online: <https://github.com/dizzib/earthcalc>

Ferrari, A. A.

2019 Al encuentro con las wak'as: entidades humanas y no humanas en las tierras altas del valle Calchaquí Norte (Salta, Argentina). Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires - Facultad de Filosofía y Letras, Buenos Aires.

Forte, M. y A. Siliotti

1997 *Virtual archaeology: re-creating ancient worlds*. Harry N Abrams, London

Frischer, B., Zotti, G., Mari, Z. y G. Capriotti Vittozzi

2016 Archaeoastronomical experiments supported by virtual simulation environments: Celestial alignments in the Antinoeion at Hadrian's Villa (Tivoli, Italy). *Digital applications in Archaeology and Cultural Heritage* 3 (1): 55-79.

Garcilaso De La Vega, I.

1617 *Comentarios reales de los Incas, Segunda parte*. Princeps, Cordova.

Ghezzi, I. y C. L. N. Ruggles

2011 The social and ritual context of horizon astronomical observations at Chankillo. "Oxford IX" International symposium on Archaeoastronomy. *Proceedings IAU Symposium 278* (ed. por C. L. N. Ruggles), pp. 144-153. Cambridge University Press, Cambridge.

Gluzman, G.

2008 Producción metalúrgica de bienes utilitarios en el noroeste argentino prehispánico. *Estudios arqueológicos en Yocavil* (ed. por M. Tarragó y L. González), pp. 179-224. Asociación amigos del Museo Etnográfico, Buenos Aires.

Gose, P.

2004 *Aguas mortíferas y cerros hambrientos: ritos agrarios y formación de clases en un pueblo andino*. Abya-Yala, Quito.

Harris, O.

1983 Los muertos y los diablos entre los laymi de Bolivia. *Chungara: Revista de Antropología Chilena* 11: 135-152

Hyslop, J.

1990 *Inka settlement planning*. University of Texas Press, Austin.

Isbell, B. J.

1974 Parentesco andino y reciprocidad. Kukak: los que nos aman. *Reciprocidad e intercambio en los Andes peruanos* (ed. por G. Alberti y E. Mayer). Instituto de Estudios Peruanos, Lima.

Iwaniszewski, S.

1991 Astronomy as a cultural system. *Interdisciplinarni Izsledwaniya* 17: 282-288

2001 Time and space in social systems - further issues for theoretical archaeoastronomy. *Astronomy, Cosmology and Landscape: Proceedings of the SEAC 98 Meeting* (Ed. por C. Ruggles, F. Prendergast y T. Ray), pp. 1-7. Ocarina Books, Dublin.

Izaguirre, J. I.

2020 Paisajes sensoriales para el estudio del ámbito doméstico. Un análisis sobre los esquemas perceptivos, la arquitectura y la interacción social en el Sitio Arqueológico de Las Pailas, Valle Calchaquí Norte (Salta, Argentina). Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires - Facultad de Filosofía y Letras, Buenos Aires.

Izaguirre J.I. y A. A. Ferrari

2018 Aproximación preliminar a la simulación de la dispersión sonora en asentamientos arqueológicos. *Arqueología (dossier)* 24(3): 59-78.

Izaguirre, J.I, Ferrari, A.A. y R.Moyano

2019 Modelos tridimensionales y paisajes celestes. Un flujo de trabajo para generar hipótesis arqueoastronómicas en sitios arqueológicos. *Actas del XX del Congreso Nacional de Arqueología Argentina* (ed. por M. Bonin, A. Laguens y M.B. Marconeto), pp. 1605-1607. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.

Jacob, C., Moyano, R., Acuto, F. e I. Leibowicz

2011 Quilca del Cielo: Valle Calchaquí, Salta, Argentina. *Quellca Rumi. Revista de Investigación de la Asociación Peruana de Arte Rupestre* 1 (1): 348-350.

Johanson, C. y B. Frischer

2008 A Digital model of the Inca sanctuary of the Sun. *Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology* (ed. por B. Frischer y A. Dakouri-Hild), pp. 98-102. British Archaeological Reports Oxford Ltd, Oxford.

Kergaravat, M.

2012 Los espacios públicos en las comunidades surandinas (900-1450 AD): Escalas de interacción y prácticas sociales. Informe de excavación presentado al Museo Arqueológico Pío Pablo Díaz. Cachi, Salta.

2013 Los espacios de reunión en el paisaje social tardío del valle Calchaquí Norte. *Anuario de arqueología* 5: 269-285.

Kergaravat, M., Ferrari, A. A., y F. Acuto

2015 Dinámica social y estructuración del espacio en el sitio Las Pailas (Valle Calchaquí Norte, Salta) durante el Período Tardío. *Arqueología (Dosier)* 21: 89-109.

Kit Chappel, S. A.

2002 *Cahokia. Mirror of the cosmos*. University of Chicago Press, Chicago

Leibowicz, I., Moyano, R., Ferrari, A., Acuto, F y C. Jacob

2016 Archaeoastronomy on inka sites in northwestern Argentina. *Journal of Skyscape Archaeology* 2(2): 165-187

2018 Culto y peregrinaje inka en el Nevado de Cachi, Salta, Argentina. Nuevos datos en arqueología de alta montaña. *Ñawpa Pacha, Journal of Andean Archaeology* 38(2): 183-202.

López, A.M.

2011 Ethnoastronomy as an academic field: a framework for a South American program. *Archeoastronomy and ethnoastronomy: building bridges between cultures. Proceedings of the 278th Symposium of the International Astronomical Union y 'Oxford IX' International Symposium on Archeoastronomy held in Lima, Peru, January 5-14-2011* (ed. por C.L.N. Ruggles), pp. 38-49. Cambridge University Press, Cambridge.

Lull, J.

2006 *La astronomía del antiguo Egipto*. Publicaciones de la Universidad de Valencia, Valencia.

Magli, G.

2016 Sirius and the project of the megalithic enclosures at Gobekli Tepe. *Nexus Network Journal* 138: 337-346.

Moyano, R.

2014 Astronomical observation on Inca ushnus in southern Andes. *Inca sacred space landscape, site and symbol in the Andes* (ed. por F. Meddens, C. McEwan, K. Willis y N. Branch), pp. 187-195. Archetype Publications, Londres.

2018 "De noche también sale el Sol". Arqueoastronomía y ciclos lunares en los Andes del Collasuyu. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano - Series Especiales* 6(1):58-83.

Niles, S. y R. Bateson

1997 Sculpting the Yucay valley: Style and Technique in Late Inca Architecture. *Variations in the Expression of Inka Power: A symposium held at Dumbarton Oaks, 18 and 19 October 1997* (ed. por R. L. Burger, C. Morris y R. Matos Mendieta), pp. 185-222. Dumbarton Oaks Research Library and Collection; Washington D.C.

Pino Matos, J. L.

2004 El ushnu Inka y la organización del espacio en los principales Tampus de los Wamani de la Sierra Central del Chinchaysuyu. *Chungara, Revista de Antropología Chilena* 36 (2): 303-311.

2013 El ushnu de Huánuco Pama: una plataforma ceremonial inca como lugar de libaciones y eje de planificación de un centro administrativo-religioso en los Andes Centrales. *Arqueología y Sociedad* 26 (1): 249-264.

Polo De Ondegardo, J.

1916 [1554] *Los errores y supersticiones de los indios, sacadas del tratado y averiguación que hizo el Licenciado Polo*. Sanmarti y Cia., Lima.

Reynoso, A.

2003 Arqueoastronomía en Rincón Chico (Catamarca, Argentina). Monumentos del tiempo, monumentos de encuentro en el valle de Yocavil. *Anales Nueva Época* 6: 127-161.

Robin Azevedo, V.

2010 La petrificación de los antiguos en Chumbivilcas (Cuzco, Perú). De la wanka prehispánica al actual ramadero. *Revista Española de Antropología Americana* 40 (1):219-238.

Ruggles, C.L.N. (Ed.)

2015. *Handbook of Archeoastronomy and ethnoastronomy*. Springer-Verlag. Nueva York.

Ruggles, C.L.N y N. J Saunders

1993 The study of Cultural Astronomy. *Astronomies and Cultures* (ed. por C.L.N Ruggles y J. Saunders), pp. 1-31. University Press of Colorado, Colorado.

Saintenoy, T., González-García, A. y M. C. Fernández

2019 The making of an imperial agricultural landscape in the Valley of Belén. *Antiquity* 93 (372): 1607-1624.

Sarmiento De Gamboa, P.D.

2001 [1572] *Historia de los Incas*. Miraguno ediciones, Madrid.

Silva, F. y N. Campion

2015 *Skyscapes. The Role and Importance of the Sky in Archaeology*. Oxbow Books, Oxford.

Tarragó, M. N.

1977 La localidad arqueológica de Las Pailas, provincia de Salta, Argentina. *Actas del VII Congreso de Arqueología de Chile. Vol. II*, pp. 499-517. Altos de Vilche, Chile.

Urton, G.

1981 *At the crossroad of the earth and the sky: An andean cosmology*. University of Texas Press, Austin.

Vitry, C.

2008 *El Nevado de Cachi*. Palloni Ediciones, Rio Cuarto.

Williams, C. L.

1992 Sukankas y Ceques: La medición del tiempo en el Tahuantisuyo. *Pachamac. Revista del Museo de la Nación* 1 (1): 101-114

Ziolkowski, M.S.

2015 *Pachap vnancha. El calendario metropolitano del estado Inca*. Ediciones El Lector, Arequipa.

Ziolkowski, M.S. y J. Kosciuk

2018. Astronomical observations in the Inca Temple of Coricancha (Cusco)? A critical review of the hypothesis. *Teka XIV* (1):7-33

Ziolkowski, M. S y R. M. Sadowski

1982-1984 Los problemas de la reconstrucción de los calendarios prehispánicos andinos. *Estudios latinoamericanos* 9: 45-84.

Zotti, G.

2015 Archaeoastronomical simulations in a desktop planetarium. *21th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies*, pp. 1-10. CHNT, Vienna.

2016 Open-source virtual archaeoastronomy. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 16 (4):17-24.

Zotti, G y W. Neubauer

2019 Beyond the landscape: analysis of Neolithic circular ditch system of lower Austria with advanced virtual archeoastronomy. *Virtual Archaeology Review* 10 (21): 90-102.

Zotti, G y A. Wolff (eds.)

2020 Stellarium 0.20.2 User Guide. Stellarium.org.
https://github.com/Stellarium/stellarium/releases/download/v0.20.2/stellarium_user_guide-0.20.2-1.pdf

Zotti, G., B. Frischer, F. Schaukowitsch, M. Wimmer y W. Neubauer

2019 Virtual archaeoastronomy: Stellarium for research and outreach. *Archeoastronomy in the Roman World. Historical & Cultural Astronomy* (ed. por G. Magli, G. González García, A. Belmonte Avilés y J. Antonello), pp. 187-205. Springer, Charm.

Zuidema, R.T.

2011 *El calendario Inca: Tiempo y espacio en la organización ritual del Cusco. La idea del pasado*. Fondo Editorial del Congreso del Perú y Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Zuidema, R.T. y M. Burga

1989 *Reyes y Guerreros: Ensayos de la Cultura Andina*. Fomciencias, Lima.