

## **EMPLEO DEL MODELADO PREDICTIVO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL HALLAZGO DE CAMINOS CON COMPONENTES INKAICOS ENTRE EL VALLE DE LERMA Y LA QUEBRADA DE ESCOIBE, SALTA-ARGENTINA**

### **THE USE OF PREDICTIVE MODELS IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS TO LOCATE INCA ROAD SECTIONS BETWEEN THE LERMA VALLEY AND THE ESCOIBE QUEBRADA, SALTA, ARGENTINA**

Pablo Mignone<sup>1</sup>

#### **RESUMEN**

En este trabajo se buscó evaluar si las técnicas de modelización geomáticas propias de los Sistemas de Información Geográfica, como el cálculo de caminos de menor coste (*Least Cost Paths*), son una herramienta útil para el hallazgo de tramos desconocidos del Camino Principal inkaico o *Qhapaq Ñan*. Mediante el conocimiento previo de las variables ambientales que influyeron en el trazado de otros tramos, se modelaron caminos de menor coste que permitieron identificar en el terreno un tramo sin antecedentes de 36 km de largo entre los valles de Lerma y Calchaquí, de importancia capital en la comunicación de las zonas de Prepuna y Puna de la provincia de Salta, Argentina.

**Palabras clave:** caminos de menor coste, *Qhapaq Ñan*, predictibilidad

#### **ABSTRACT**

This paper's goal is to assess whether the modeling techniques available in Geographic Information Systems, namely the calculation of Least Cost Paths, are useful tools for locating unknown sections of the Inca Royal Road or *Qhapaq Ñan*. Based on environmental variables that influenced the layout of other segments of Inca roads, a Least Cost Path was used to predict a 36-km long segment of the Inca road, which was then checked in the field. This segment runs between the Lerma and Calchaquí Valleys and was of paramount importance for connecting the Prepuna and Puna in the province of Salta, Argentina.

**Keywords:** Least Cost Paths – *Qhapaq Ñan* – predictability

Recibido: 15/09/2019

Aceptado: 20/12/2019

<sup>1</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Instituto de Investigaciones en Ciencias Sociales y Humanidades. Universidad Nacional de Salta. pmignone@hotmail.com.

Mignone, 2019. Empleo del modelado predictivo de sistemas de información geográfica para el hallazgo de caminos con componentes inkaicos entre el valle de Lerma y la quebrada de Escoibe, Salta-Argentina. *Anales de Arqueología y Etnología* 74, N°2, 107-126. Mendoza.

## INTRODUCCIÓN

El imperio de los Inkas abarcó una extensa superficie (más de 1.700.000 km<sup>2</sup>), lo cual incluye parte de 5 países actuales: Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina y Chile. Este enorme territorio fue conectado por más de 20000 km de caminos que vinculaban cada porción del *Tawantinsuyu*, el estado incaico, con su centro, el Cusco. Las investigaciones científicas sobre este sistema vial o *Qhapaq Ñan* han resaltado, además de su gran magnitud (Matos, 2015), su enorme rol simbólico al ser la materialización del poder político en los territorios conquistados (Hyslop, 1992) y su protagonismo como medio de sostenimiento económico, ideológico y social del *Tawantinsuyu* (Moralejo, 2018).

A pesar de que los antecedentes de investigación sobre el *Qhapaq Ñan* son numerosos (Albeck, 2016; Berenguer *et al.*, 2011; Castro *et al.*, 2004; Hyslop, 1992; Matos, 2015; Moralejo, 2018; Mulvany y Soria, 1998; Vitry, 2000, entre otros), aquellos relacionados con la influencia del ambiente sobre su construcción y la modelización informática de esta relación son aún escasos. En los últimos años, sin embargo, esta tendencia comenzó a revertirse por el creciente empleo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG en adelante) y un tipo de cálculo predictivo conocido como “análisis de caminos de menor coste” o *Least Cost Path Analysis*, el cual consiste en la determinación vía algoritmos de los espacios que generan un menor coste para el tránsito a lo largo del paisaje y el trazado de un “camino de menor coste” (o *Least Cost Path*, LCP en adelante).

La aplicación del análisis de menor coste a la problemática incaica muestra que, a pesar de sus limitaciones (Verhagen *et al.*, 2019), los modelos creados permiten comprender la relación sociedad-ambiente y ayudan a identificar tramos de caminos desconocidos, lo que favorece tanto la investigación científica como la gestión patrimonial (Verhagen *et al.*, 2019). En este sentido, nuestro trabajo parte del conocimiento recabado sobre más de 150 km de camino incaico (Mignone, 2019) para evaluar mediante un SIG si la información de los factores ambientales que influyeron en el trazado de estos tramos viales puede ser de utilidad para identificar nuevos tramos.

Para probar este modelo predictivo se buscan superar algunas limitaciones existentes en la aplicación de las técnicas espaciales en los estudios viales del imperio cusqueño, como es el empleo de cartografía digital de baja resolución (90 o 30 m por pixel), la cual se basa en un conocimiento bibliográfico antes que empírico de los caminos y de cortos tramos del mismo (alrededor de 5 km).

Para aportar al estado de la cuestión se empleó la información recabada en el marco de las investigaciones en curso de cuatro tramos de camino en las zonas áridas y semi áridas de la provincia de Salta (Mignone, 2013 a, 2019). También se utilizó cartografía digital de una resolución adecuada para captar los accidentes del terreno (de 12,5 m por pixel), junto con el modelado de variables de uso corriente en arqueología sin antecedentes en el estudio del *Qhapaq Ñan*: pendiente, rugosidad del terreno, presencia de vegetación, velocidad del tránsito (tanto humano como de caravanas de llamas) y gasto energético.

Con esta información, se buscó identificar en el terreno nuevas vías de comunicación en la Quebrada de Escoipe, la cual conecta el valle de Lerma con el valle Calchaquí, ambos sectores con probada ocupación inkaica (De Lorenzi y Díaz, 1973; Mulvany, 1986; Mulvany y Soria, 1998; Williams, 2019; Williams y Villegas, 2017).

## LOS CAMINOS INKAICOS DE LA CORDILLERA ORIENTAL

Para evaluar la capacidad predictiva del LCP se empleó la información de 4 tramos de caminos (Mignone, 2019):

- 1. Un tramo de 10 km de largo que asciende desde la base hasta la cima del volcán Llullaillaco (6739 msnm).
- 2. Una sección de más de 20 km de largo que cruza de norte a sur el Nevado de Acay (5715 msnm) y que conecta las tierras altas de la puna con los valles y quebradas secos.
- 3. La conexión Morohuasi-Incahuasi registrada y estudiada por Vitry (2000) de casi 70 km de extensión.
- 4. El tramo Tastil-Potrero de Payogasta, de 65 km de largo<sup>1</sup> (figura 1).

Como se observa en la figura 1, los caminos del Nevado de Acay, la unión Tastil-Potrero de Payogasta y Morohuasi-Incahuasi, se encuentran en el sector centro-oeste de la provincia de Salta, en la provincia geológica de la Cordillera Oriental (Ramos, 2017), la cual está limitada hacia el este por las Sierras Subandinas y al oeste por los cordones montañosos de la Puna. Se asientan a su vez a lo largo de ríos de importancia que drenan en los valles y quebradas secos (Quebrada de Humahuaca, Quebrada del Toro, Valles Calchaquíes), los cuales conforman vías naturales de comunicación (Reboratti, 2005).

Un tanto más alejado hacia el oeste del conjunto anterior se encuentra el camino inkaico del volcán Llullaillaco (figura 2), ubicado en la comunicación entre Copiapó y San Pedro de Atacama (Mignone, 2013a), en una zona característica de puna (Cabrera, 1957). El “complejo arqueológico Llullaillaco”, del cual el camino de casi 10 km de extensión forma parte, ha sido profundamente estudiado por Ceruti (Ceruti, 2003) y Reinhard (Reinhard y Ceruti, 2000, 2010).

La conexión entre Morohuasi e Incahuasi atraviesa de forma paralela la Quebrada del Toro y continúa hacia el Nevado de Chañi y El Moreno. Hacia el oeste se encuentra el Nevado de Acay, puerta de acceso al valle Calchaquí desde la puna a través de un camino con componentes inkaicos que atraviesa el macizo de norte a sur (De Lorenzi y Díaz, 1973).

En algún punto cercano a Cachipampa, hacia el nordeste del valle Calchaquí, los caminos del Acay y de Tastil-Payogasta se encontrarían para dirigirse al valle de Lerma a través de la Quebrada de Escoipe. Luego de desandar los hitos de Piedra del Molino, Cuesta del Obispo, Valle Escondido (Martel, 2011) y San Fernando de Escoipe (Vitry,

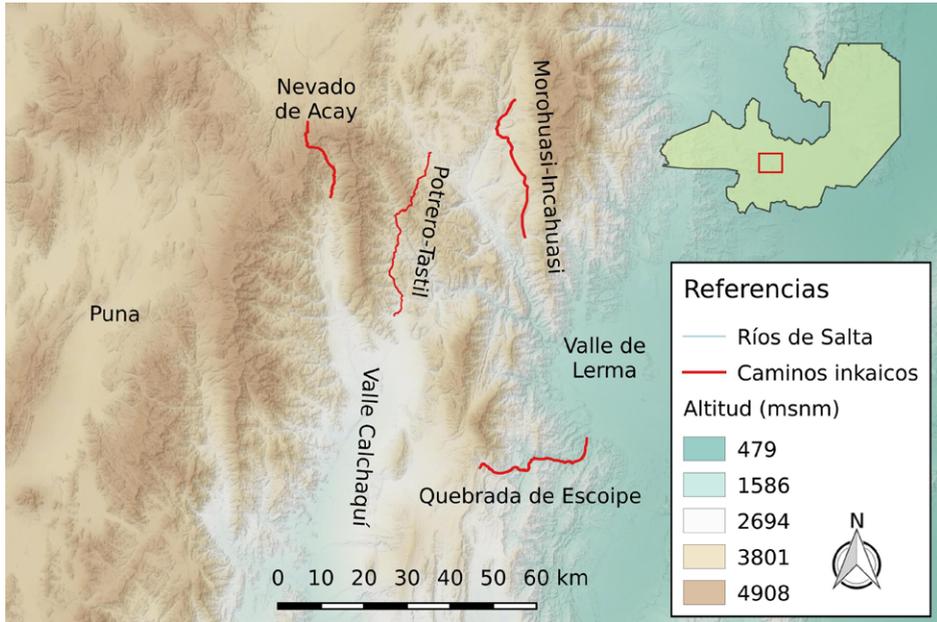


Figura 1. Ubicación de caminos incaicos en la provincia de Salta. Tramos Nevado de Acay, Potrero-Tastil, Morhuasi-Incahuasi. Figura en color en la versión digital.

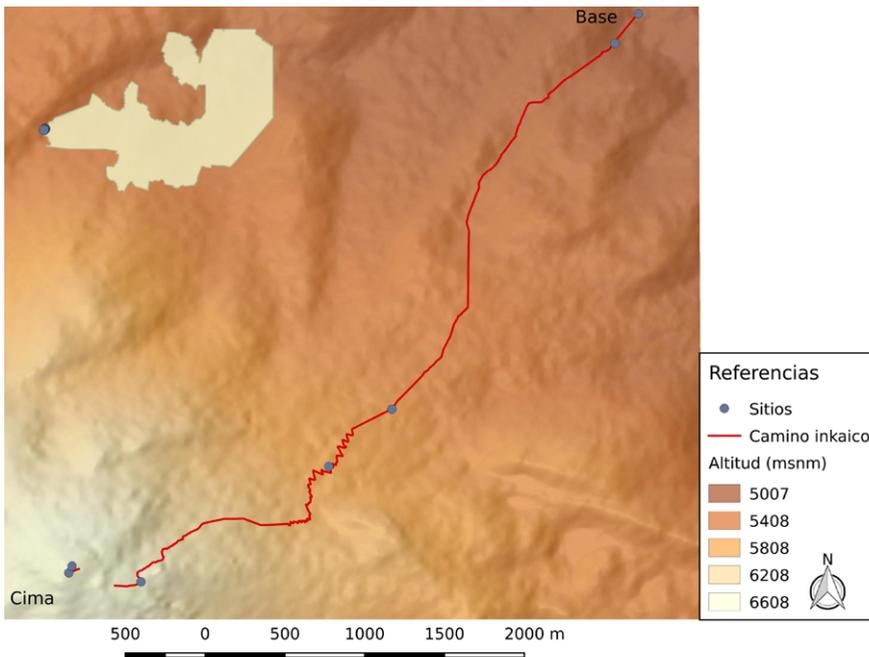


Figura 2. Ubicación del camino incaico del volcán Llullaillaco. Figura en color en la versión digital.

2004) el camino discurriría hacia el este por la quebrada homónima hasta adentrarse en el valle de Lerma y conectarse con el sitio inkaico Chivilme (Mulvany, 1986).

Este tramo de camino, dado a conocer parcialmente por Vitry, corre sobre las serranías que cierran la Quebrada de Escoipe por el sur y se aleja paulatinamente del río Chicoana o Escoipe que baja desde la cuesta del Obispo hacia la actual localidad de Chicoana a lo largo de más de 40 km. Algunos tramos analizados por Vitry para otras zonas se presentan en paralelo (Vitry, 2019), por lo que buscamos evaluar mediante el SIG la existencia en la quebrada de Escoipe de arterias paralelas al camino conocido y su continuidad hacia el sur.

## ANTECEDENTES

En los estudios sobre los caminos inkaicos no es extraña la idea del peso de los factores ambientales en su configuración y derrotero. Hyslop (1992), por ejemplo, remarca que el análisis del *Qhapaq Ñan* debe considerar las superficies naturales donde fueron construidos los caminos, tanto en su constitución lítica (arena, roca) y potencial económico (tierras agrícolas, estepas de gramíneas y superficies inundables), como en su geomorfología, con especial detenimiento en las pendientes. Vitry (2004), por su parte, menciona que los lugares elegidos para su construcción son en cierta forma determinantes para la ingeniería implicada e influyen en la percepción visual desde y hacia los caminos y estructuras asociadas.

Las aplicaciones del SIG al estudio de la vialidad inkaica aún son pocas. Entre ellas contamos con el aporte de De Feo y Gobo (2007), quienes comparan estadísticamente con información de campo un tramo de 5 km de camino inkaico y un camino de menor coste en la localidad de las Cuevas, en el ámbito de puna de la provincia de Salta, cuyo resultado es un modelo que concuerda con el *Qhapaq Ñan* en una porción muy pequeña del mismo.

Por su parte, Matsumoto (2008) emplea la información publicada por Hyslop para estudiar tres caminos inkaicos en Perú: las conexiones Cañar-Azuay, Lambayaque-Moche y Cajamarca-Huamachuco. El estudio encuentra varias dificultades, entre ellas la falta de trabajos de campo ya que se emplean los mapas realizados por Hyslop en la década de 1970, de los cuales el autor desconoce incluso el sistema geodésico y *datum* de sus coordenadas.

Otra de las dificultades es la baja resolución del modelo digital de elevaciones elegido, de 90 m de resolución (cada 1 píxel significa 90 x 90 m en el terreno), lo que le impide tener en cuenta numerosos detalles del terreno. Concluye el autor que el LCP no es buen predictor del camino inkaico por las consideraciones propias de la percepción humana, para la cual no existe un camino económico óptimo sino, cuando menos, un corredor que incluye cierta variedad de soluciones para la confección y trazado de una vía.

Magee (2015), por su parte, emplea 4 rutas calculadas a partir de la pendiente, la cercanía a ríos, la eficiencia energética y la distancia para inferir la posible ubicación de

la hoy desaparecida vía que conectaba Cuzco con Vilcashuaman, desde el conocimiento bibliográfico de sus antiguas ciudades inkaicas (Magee, 2015: 84).

En el ámbito de la arqueología de alta montaña, Racoviteanu (2004) modela varios LCP con la variable pendiente y sus derivadas, como tiempo de marcha y gasto energético, para evaluar si las construcciones inkaicas erigidas en los santuarios de altura Coropuna (6377 msnm) y Pichu Pichu (5634 msnm) en el sur de Perú siguen una economía de coste. Mediante la combinación de la información de campo y el SIG concluye que los LCP unen los sitios arqueológicos conocidos de forma más eficiente en coste energético y tiempo que las modernas rutas elegidas por los montañistas. Sin embargo, señala que la calidad del modelo depende del DEM empleado, ya que un DEM de baja resolución (90 m por píxel) crea rutas rectas, menos efectivas y menos adecuadas a la realidad topográfica que un DEM de mayor resolución (de 30 m por píxel al menos) (Racoviteanu, 2004: 121).

Además de la influencia de los factores ambientales en el trazado de caminos, Moralejo y Gobbo (2015) muestran de qué forma los espacios de alta significación simbólica, como la plataforma ceremonial o *ushnu* y la plaza o *aukaipata* en el sitio inkaico Shincal, fueron más importantes para la selección de espacios en el trazado de los caminos inkaicos que los criterios de ahorro de coste energético.

Recientemente empleamos una plataforma SIG de código abierto (Quantum Gis 2.18.13 *Las Palmas* de G. C.) para aislar las variables más relevantes en el trazado de 4 caminos inkaicos: pendiente, Índice de Rugosidad del Terreno (*Terrain Ruggedness Index* o TRI), gasto energético (*Energetic Expenditure*), Índice Normalizado de Vegetación (*Normalized Vegetation Index* o NDVI) y cálculos de coste de Tobler (1993) y Tripcevich (2008), para crear 6 LCP por cada camino inkaico (Mignone, 2019). Los resultados obtenidos nos permiten destacar que los factores más influyentes en el tránsito a lo largo de los 4 tramos estudiados son la pendiente y una variable derivada, el gasto o costo energético, mientras que las restantes variables son menos relevantes. La percepción del espacio en base a la visibilidad, calculada mediante cuencas visuales acumuladas, tampoco juega un rol fundamental en las construcciones de los caminos.

Un aspecto a destacar es que los caminos de menor coste y los caminos inkaicos no coinciden, sin embargo, al detalle. A nivel general, los caminos teóricos presentan un menor gasto energético que los arqueológicos, ya que se modelan sobre menor altitud y presentan menor longitud que los segundos, además de tener diferencias notables en las pendientes sobre las que se asientan.

## MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

El modelado de los LCP tiene como objetivo reconstruir los espacios de circulación y estudiar la relación dialéctica entre los seres humanos y los sistemas naturales de forma integrada y no lineal (desde una “ecodinámica humana” según Fitzhugh *et al.*, 2019). En este sentido, la ecodinámica humana implica estudiar el registro arqueológico como una continuidad espacial (Ebert *et al.*, 1987), y se centra en los “proporcionamientos” (*affordances*), es decir, en lo

que el ambiente puede ofrecer potencialmente a los individuos, y en las capacidades de respuesta ante estos estímulos (para moverse, obtener alimento, etcétera). Implica en otros términos la interdependencia (Gibson 2007) entre el ambiente y los individuos (Verhagen *et al.*, 2019).

Una de las prestaciones que tienen los SIG para modelar esta relación dialéctica entre los seres humanos y su entorno corresponde al llamado *algoritmo de menor coste* (*Least Cost Algorithm* en inglés, en adelante LCA), cálculo por el cual se evalúa la opción de menor esfuerzo para desplazarse entre dos o más lugares del paisaje, en virtud de la ocurrencia de ciertos factores biomecánicos, ambientales, sociales o culturales (Fonte *et al.*, 2017). Tal como indican Lucero *et al.* (2014) mediante el principio del menor esfuerzo elaborado por Zipf (1950), los seres humanos buscan economizar su comportamiento al desplazarse por el paisaje con costos bajos para lograr una mayor accesibilidad.

Verhagen, por otro lado, considera como factores de primer orden tanto a la pendiente como al tipo de suelo, la cobertura vegetal, la hidrología, la geomorfología y los factores culturales como la presencia de facciones rivales, de hitos paisajísticos sagrados o de tabúes religiosos que pueden propiciar o limitar el desplazamiento de las personas (Verhagen, 2017).

En esta línea, Tripcevich (2008) realiza un estudio etnoarqueológico del movimiento de una caravana de llamas para analizar el rol del caravaneo prehispánico en la configuración de las rutas de intercambio. En base a la pendiente obtenida de un DEM, desarrolla una función geomática basada en la velocidad de transporte de las caravanas cuya aplicación obtiene también valiosa información acerca de distintos aspectos del manejo de los rebaños, el uso de los corrales, las prácticas rituales y la selección de caminos en las montañas, entre otros aspectos de interés.

En un estudio de los rasgos culturales compartidos entre sociedades del NO de la provincia argentina de San Juan y el Norte Semiárido de Chile entre los años 290 aC y 670 dC, Lucero *et al.* (2014) buscan establecer las posibles vías de circulación en base a caminos de menor coste creados mediante un SIG, para lo cual emplean el algoritmo de Tripcevich (2008) antes mencionado y el de Tobler (1993). Este último permite estimar la velocidad y el tiempo necesario (obtenidos de la observación de marcha de la infantería suiza), o costo acumulado, de transitar por un paisaje en base al cociente del cambio vertical de la pendiente y el cambio horizontal de la distancia.

Además de las posibilidades analíticas que aportan los SIG, existen algunas limitaciones de los LCP aplicados a la arqueología. Según Lock y Pouncett (2010), estas se basan en que el algoritmo no considera la topografía como un todo, sino que se centra en un modelo digital de elevaciones (DEM) formado por una miríada de celdas (*cells*) que toma como referencia una sola celda a la vez y el coste de moverse a las 8 celdas inmediatamente adyacentes a ella. Como resultado, el camino puede no ser realista ya que se traza celda a celda sin considerar una visión más amplia del terreno, circunnavega hacia arriba y hacia abajo de las pendientes y busca obviar a toda costa los accidentes del terreno, algo que difícilmente sucede en la realidad.

El fundamento teórico de la crítica responde a la psicología ecológica de Gibson (1969), la cual entiende que el movimiento no es producto de un cálculo económico sino de la percepción general del ambiente con una fuerte influencia de la visión. La percepción general del terreno y de puntos intermedios al destino produce en quien lo recorre una intencionalidad direccional, la que sumada al destino conocido al cual intenta dirigirse el actor crea un “corredor de intencionalidad” (Lock y Pouncett, 2010).

Como resumen de lo anterior, se puede decir que el LCA da una visión aproximada de las elecciones espaciales de las sociedades del pasado para trazar las rutas y debe adecuarse a la percepción del paisaje de los seres humanos (Lock y Puncett, 2010). Su calidad depende de cuánto se adecue a la topografía, por lo que se necesita una base cartográfica de mayor resolución que la empleada por los antecedentes (90 x 90 m) y es imprescindible el trabajo de campo como forma de validar el modelado informático (Magee, 2015). En consecuencia, para que el LCP pueda ser un buen predictor de caminos se debe crear alrededor de él un área *buffer* de entre 2000 y 1000 metros de ancho, de acuerdo con la idea de Kondo (2007) de que los LCP debieran ser reemplazados por corredores de menor coste para ampliar su capacidad predictiva.

Con estos antecedentes y nuestra experiencia de investigación (Mignone 2013 b, 2019) se logró precisar la metodología más adecuada para el estudio de la viabilidad inkaica desde un SIG, con el uso de la pendiente y de otras funciones derivadas de ella como el gasto energético-metabólico, el índice de rugosidad (*Terrain Ruggedness Index*, TRI en adelante), la velocidad de marcha a pie calculada para seres humanos y la relativa a camélidos. Otro aspecto considerado fue la humedad del suelo modelada a partir de un indicador indirecto, el índice de vegetación de diferencia normalizada o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) y la corrección de este índice ajustado a las características del suelo, SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*).

La cartografía base empleada es un DEM (*Digital Elevation Model* o modelo digital de elevaciones) del satélite ALOS PALSAR (de 12,5 m de resolución espacial) e imágenes satelitales LANDSAT 8 (30 m de resolución espacial, bandas 4 y 5), ambos de acceso libre, que fueron trabajados con la plataforma SIG *Quantum GIS* versión 2.18.0 Las Palmas de G. C. Se usó además la cartografía correspondiente a los ríos y afluentes del Instituto Geográfico Nacional de Argentina (1:250.000, versión digital vectorizada).

Con el modelo digital de elevaciones se utilizó una de las funciones básicas del SIG que es el cálculo de pendientes. La herramienta emplea la programación lógica de Horn para realizar una estimación derivada de primer orden en el cálculo del ángulo de la pendiente y se obtiene una capa de pendientes estimada en grados y porcentajes. A los fines de nuestra investigación, se empleó la pendiente calculada en grados.

El índice o coste energético ( $M$ , expresado en watts, Pandolf *et al.*, 1977) se calculó a partir del gasto metabólico del tránsito a baja velocidad llevando una carga a través de determinadas pendientes y topografías. La ecuación toma como base el peso de la persona ( $W$ , en kilogramos), la carga que lleva ( $L$ , carga externa en kilogramos), la pendiente que atraviesa ( $s$  en porcentaje), su velocidad de marcha ( $v$ , en metro sobre segundo) y el coeficiente del terreno ( $\eta$ ).

$$M = 1.5W + 2(W + L) \left(\frac{L}{W}\right)^2 + \eta(W + L)(1.5v^2 + 0.35v.s)$$

Los valores que se tomaron como referencia para el modelo son 70 kg de peso para una persona con una carga 30 kg, ambos datos surgen de estimaciones sobre el tránsito a los santuarios de altura incaicos por parte de porteadores experimentados (Ceruti, 1999) que caminan a una velocidad de bajo desgaste de 1.3 m/s, por una pendiente de entre 0 y 60%, a lo largo de un terreno rocoso con un coeficiente de 1.0 (Racoviteanu, 2004).

Por otro lado, el NDVI mide la absorción espectral de la luz realizada por la clorofila y la refracción de la misma; los valores cercanos a 0 o menores indican la presencia de áreas de vegetación escasa o dispersa y los valores cercanos a 1, las zonas de vegetación más densa (Zanni y de Rosa, 2019). Se calcula a partir de las bandas  $R_{\text{NIR}}$  (*Reflectance Near-Infrared* o reflectancia del infrarrojo cercano) y  $R_{\text{RED}}$  (*Reflectance Red* o reflectancia del rojo visible), correspondientes a las bandas 5 y 4 de las imágenes satelitales LANDSAT 8, con la siguiente fórmula (tomada de Zanni y de Rosa, 2019):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{RNIR (Reflectance Near Infrared)} - \text{RRed (Reflectance Red)}}{\text{RNIR} + \text{RRed}}$$

Este índice ha sido empleado como una aproximación indirecta al estudio de la humedad del suelo, puesto que las zonas secas presentan una menor fricción para el tránsito y, por el contrario, las zonas anegadas presentan un mayor coste (Verhagen, 2008). Por esta razón, y a partir de la propuesta de Fonte *et al.* (2017), le asignamos a los valores más altos del NDVI un factor de coste extra de 4x para evitar que el LCP siguiera el lecho del río.

Los sectores más altos de la Cordillera Oriental en donde se ubica la zona de interés (por arriba de los 1600 msnm) muestran una reducción progresiva de la cubierta vegetal, por lo que el NDVI puede llegar a tener ciertas limitaciones dada su sensibilidad ante la presencia de vegetación escasa, que tiende a enmascarar las variaciones del entorno (Evans y Traviglia, 2012). Por ello, y para normalizar el efecto de la variación de reflectancia del suelo, se calculó también el SAVI mediante la fórmula siguiente en la cual RNIR corresponde al igual que en el NDVI a la reflectancia del infrarrojo cercano y RRED a la reflectancia del rojo visible, mientras que la constante L oscila entre 0 y 1, desde las concentraciones más altas a las más bajas de vegetación, respectivamente. Por las características de la zona el valor elegido es de 0,5.

$$\text{SAVI} = \frac{\text{RNIR (Reflectance Near Infrared)} - \text{RRed (Reflectance Red)}}{(\text{RNIR} + \text{RRed} + L) * (1 + L)}$$

Otra variable, *Terrain Ruggedness Index* (índice de rugosidad del terreno, o TRI en adelante), desarrollada por Riley *et al.* (1999), fue incluida para revelar la dificultad potencial para atravesar el terreno. Se obtiene mediante la diferencia entre el valor de una celda (unidad mínima de un DEM) y la media de las ocho celdas vecinas que la rodean.

Incluimos también el modelado del desplazamiento pedestre mediante la función exponencial de Tobler (1993), la cual evalúa la velocidad (en km/h) de marcha mediante la fórmula  $V(s) = 6e^{-3.5|dh/dx+0.05|}$ , en la cual  $e$  es la constante de Euler (2.7318),  $dh$  la diferencia de elevación,  $dx$  la distancia y  $dh/dx$  la tangente del ángulo de la pendiente.

Por último, en virtud de la importancia del recurso *camelidae* para el *Tawantinsuyu* y para la historia andina en general, se adoptó la fórmula de velocidad de Tripcevich para identificar algún tipo de indicio del empleo de caravanas de llamas como fundamento de sus trazados:

$$\text{Tripcevich} = \frac{(4.028 * 46)^2}{(\text{pendiente} + 4.127)^2 + 46^2}$$

En resumen y como se observa en la tabla 1 se calcularon 7 LCP, uno por cada aspecto considerado y las combinaciones entre la pendiente y los índices de vegetación (1-3 y 1-4). Alrededor de cada LCP se trazaron dos áreas *buffer* de 200 m hacia cada lado del camino modelado, como “corredor de intencionalidad” (Lock y Pouncett, 2010) por el que se representa de manera más abarcadora la complejidad de la percepción humana del espacio.

Código	Variable/función/índice
LCP 1	Pendiente
LCP 2	Coste energético ( <i>Energy Expenditure</i> )
LCP 3	NDVI
LCP 4	SAVI
LCP 5	TRI ( <i>Terrain Ruggedness Index</i> )
LCP 6	Función de Tobler
LCP 7	Función de Tripcevich

Tabla 1. Variables, índices y funciones empleadas para el cálculo de LCP.

## Resultados

Tal como se observa en la figura 3 los 7 LCP obtenidos indican 5 derroteros distintos. Las superposiciones se produjeron por la presencia e importancia de la variable pendiente presente en casi todos ellos.

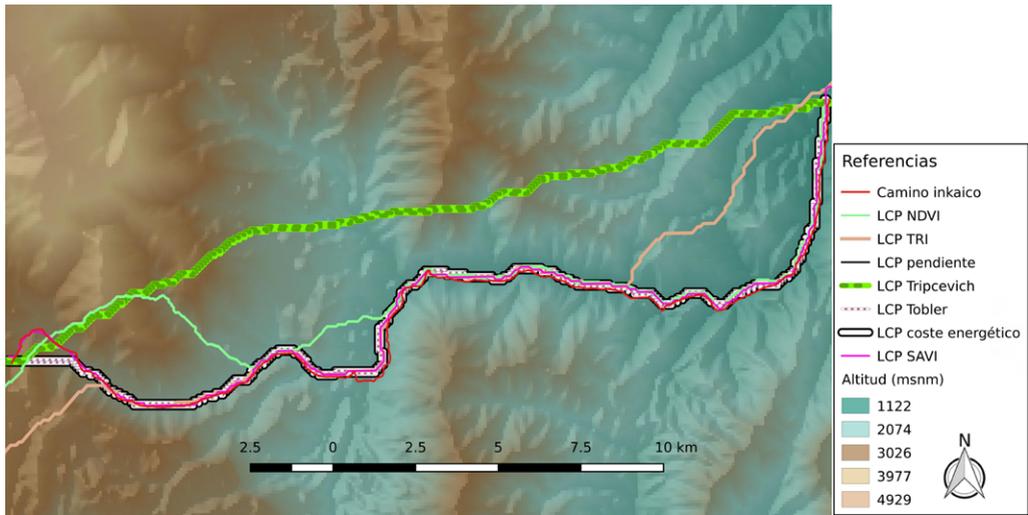


Figura 3. Modelado de LCP y relación con el Qhapaq Ñan. Figura en color en la versión digital.

El LCP 1 modelado a partir de un tránsito por lugares de menor pendiente ( $>10^\circ$ ) coincide con el trazado del río Pulares/Chicoana que desciende en sentido oeste-este por la Quebrada de Escoipe desde los valles Calchaquíes hacia el valle de Lerma, mientras que las funciones de Tobler y el SAVI atravesaron las márgenes septentrionales de la quebrada y ascendieron casi 1000 m por arriba del cauce del río.

El LCP 2, fuertemente ligado a la pendiente, transitó por aquellos espacios que permiten cierto ahorro tanto de tiempo como de velocidad, además de la ponderación de la inclinación del terreno, con lo que coinciden en mayor parte con el LCP1.

En el LCP 3, el camino trazado pasó por sectores poco anegados y de fuertes pendientes y se alejó del fondo de cuenca. Esta tendencia en LCP 4 se da de forma más marcada, ya que el camino calculado a partir del SAVI tomó como superficies de menor fricción las más desprovistas de cubierta vegetal y, por lo tanto, más alejadas del fondo de cuenca.

El LCP 5, basado en el índice de rugosidad del terreno (TRI), si bien seleccionó hitos del paisaje sin accidentes notables, mantuvo un derrotero con cambios abruptos de altitud sobre laderas de fuerte erosión con pendientes más demandantes.

Por su parte, el LCP 6 basado en la función de Tobler, cruzó en forma transversal las quebradas tributarias a la Quebrada de Escoipe por los pasos altos. En una tendencia similar pero más atenuada, el LCP 7 según el cálculo de velocidades propuesto por Tripcevich, presentó un recorrido por fuertes pendientes a mayor altura que el fondo de cuenca y alejado de la concentración de recursos a lo largo de los cursos de agua.

Con el resultado del LCP1 (más un *buffer* de 200 m alrededor) se realizaron prospecciones a lo largo del río Escoipe desde su desembocadura en la localidad de Pulares en el valle de Lerma hasta el Maray, en la Quebrada de Escoipe. Se pudo identificar un

tramo de camino incaico de 36,3 km, el cual surge a 1359 msnm en las serranías de la selva montana sobre cuyos faldeos reposa la actual localidad de Chicoana.

El camino comienza a remontar la quebrada en sentido norte-sur sobre las estribaciones de los cerros que encajonan el río Escoipe en un ascenso constante de casi 700 m de desnivel, a veces a media ladera y otras a nivel del río, forzado por la poca consistencia del suelo en la ladera, el acarcavamiento y lo abrupto del desnivel en los barrancos, el cual alcanza pendientes de hasta 60°.

Luego de un espacio de 5 km en dirección norte-sur, el camino incaico comienza a alternar entre el lecho del río y la ladera forzado por la caída de detritos y los rectos farallones de la quebrada; luego, a medida que sigue el sentido este-oeste predominante de la Quebrada de Escoipe hacia la Cuesta del Obispo, une en su derrotero distintas concentraciones de estructuras (semicirculares y rectangulares de pequeñas dimensiones), sin otra evidencia superficial (vg. cerámica o lítico) (figura 4).

La visibilidad de este tramo aumenta a medida que el camino asciende desde la selva montana hasta el pastizal de neblina, en donde pueden observarse las características de su construcción: un camino de 4 m de ancho despejado con amojonamiento lateral (Vitry, 2000) en cornisas apuntalado con muros de retención de casi 2 m de altura que permiten un acomodamiento armónico a la ladera. Cuando la pendiente aumenta en tramos cortos, el desnivel es salvado con escalinatas excavadas en la roca.

El camino sigue hasta la localidad de El Maray a 36,3 km del punto de inicio. Según Vitry (2004), luego ascendería por la serranía en zigzag hasta llegar al valle Encantado a 10 km de distancia, para desde allí seguir a los valles Calchaquíes a través de Cachipampa



Figura 4. Camino excavado en la ladera (izquierda), de tipo despejado con amojonamiento lateral (centro) con estructuras semicirculares asociadas (derecha). Perfil altitudinal (realizado con Google Earth). Figura en color en la versión digital.

y Tintín. Desde allí surgen tres caminos: uno se dirige al sur del valle Calchaquí en paralelo a la ruta 40 desde San José de Escalchi; otro hacia el norte del valle por Cachi, Payogasta y el Nevado de Acay hacia la puna; y un tercero atraviesa el sitio inkaico Cortaderas, luego Potrero de Payogasta y desde allí se dirige directamente hacia Santa Rosa de Tastil (figura 5).

La variable individual que mejor predijo el tramo de *Qhapaq Ñan* es la pendiente. Sin embargo, el LCP1 se ve interrumpido reiteradas veces por el río Escoipe y el anegamiento de sus márgenes, algo que el camino esquiva al descansar sobre las márgenes altas. Este hecho requirió una corrección del cálculo de LCP ya que, como sostiene Verhagen (2008), la humedad del suelo aumenta la fricción y por lo tanto el coste de moverse a través de él. Se trazaron entonces distintas combinaciones de LCP, de las cuales la suma entre LCP 1 y 4 (pendiente y SAVI respectivamente) fue la que más se acercó al trazado del camino inkaico, como se puede ver en la figura 5.

Como se observa en la tabla 2, la capacidad predictiva de esta combinación es del 95% con la creación de un área *buffer* de 200 m. Al reducir el área *buffer* a 100 m, la longitud del camino abarcada por el *buffer* es del 67%.

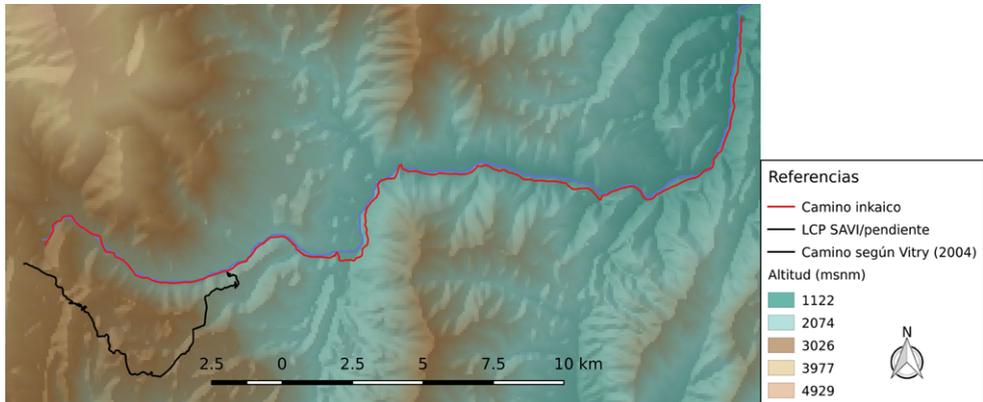


Figura 5. *Qhapaq Ñan* entre Pulares y El Maray, con *buffer* de 200 m de ancho y camino según Vitry (2004). Figura en color en la versión digital.

Variable	Buffer 200m (%)		Total
	Afuera	Adentro	
LCP 1	36	64	100
LCP 2	42,7	57,3	100
LCP 3	41,1	58,9	100
LCP 4	100	-	100
LCP 5	49,1	50,9	100
LCP 6	97,3	2,7	100
LCP 7	95,6	4,4	100
LCP 1 + LCP 3	11	89	100
LCP 1 + LCP 4	5	95	100

Tabla 2. Distribución de frecuencias de las variables en relación al *Qhapaq Ñan*.

Por otra parte, al reclasificar con la calculadora ráster los valores del NDVI (multiplicando por 4 los valores cercanos a 1) y combinar la capa con la correspondiente a la pendiente y un *buffer* de 200 m, la longitud del camino prehispánico cubierta es del 89%, por lo que las combinaciones entre LCP 1, LCP 2 y LCP 3 tuvieron mayor valor predictivo que las variables tomadas individualmente.

## DISCUSIÓN

Uno de los desafíos que atañe al uso del SIG en arqueología es el determinismo ambiental subyacente en muchas de sus primeras aplicaciones, en cuanto a la relación de orden entre las variables ambientales (tomadas como principales) y las culturales (entendidas como secundarias) y a la determinación de las primeras sobre las segundas (Ebert y Singer, 2004; Wheatley, 2003).

Esta subsunción de lo cultural a lo ambiental ha sido abandonada por una nueva valoración de las experiencias sensibles en la construcción de los paisajes sociales, lo cual se refleja en las investigaciones sobre el *Qhapaq Ñan* en las que se resalta que las percepciones humanas (en particular las percepciones visuales) tuvieron gran influencia en la estructuración del espacio (Moralejo, 2018; Moralejo y Gobbo 2015; Vitry, 2007).

Sin embargo, con nuestro trabajo se quiso mostrar que las representaciones humanas se encuentran ligadas indisolublemente al marco físico de la vida, al punto que, por ejemplo, la percepción visual en la revelación u ocultamiento de determinados hitos culturales está sujeta a considerar el ocultamiento topográfico, es decir, lo que se puede ver o no según la situación de lo observado en el paisaje.

Esto significa que, lejos de adherir a una posición arbitrariamente determinista física o fisiográfica, nuestro trabajo ha versado en la visión dialéctica humanos-ambiente sin caer en el dimensionamiento de la naturaleza por sobre las cuestiones culturales, y es consciente también de las limitaciones que posee un SIG a la hora de incorporar variables no ambientales, tales como las cognitivas o experienciales, lo cual es propio del fuerte componente cuantitativo de sus análisis (Verhagen, 2017).

Esas limitaciones se manifiestan en los resultados mismos del trabajo, ya que los porcentajes de los caminos que los distintos LCP no permiten explicar oscilan entre el 6 (en el mejor de los casos) y el 100% en aquellas variables de menor poder predictivo. No obstante, tanto sus alcances como sus limitaciones pueden ser ponderados cuantitativamente y, en consecuencia, mejorados.

Fuera de lo metodológico, los estudios realizados nos permiten entrever una percepción del paisaje y una valoración subjetiva del mismo que no toma en cuenta variables que en la modernidad toman importancia capital, como son la velocidad y su variable asociada, el tiempo.

Otro aspecto que pierde entidad por el análisis de más de 150 km de caminos es el tránsito de caravanas de llamas, un uso de los recursos que pareciera de gran importancia para el estado inkaico en su fase expansiva (Hyslop, 1992) pero que al parecer no habría tenido

el peso suficiente como para ser el factor principal en la selección de ambientes para trazar las comunicaciones en las arterias analizadas. En su lugar, la predominancia de caminos por pendientes menores a 15° nos mostraría la relevancia del tránsito a pie de elementos de infantería, lo que indica a su vez la importancia de los caminos en la movilización de los ejércitos para la expansión y mantenimiento de los límites del *Tawantinsuyu*.

Un análisis del ejercicio del poder entre los inkas, no obstante, no se agotaría en el control de recursos o en la captación del tributo desde las provincias, sino que debería también incluir otros factores que den cuenta de la complejidad del despliegue del *Tawantinsuyu* por el sur andino. Una manera de mejorar en el futuro el enfoque presentado debería hacerse mediante un análisis multi criterio, que tome en cuenta tanto los costes ambientales como los socio-culturales, es decir, la consideración de los factores sociales, rituales y simbólicos y su relación con la movilidad (Verhagen *et al.*, 2019).

Otra forma de abarcar la complejidad de la construcción de las vías de tránsito es la de crear múltiples caminos desde la teoría de circuitos (Howey, 2011), la cual en lugar de plantear una sola solución para cada modelo, como lo hace el LCP, traza las vías alternativas que se le plantean a los seres humanos en su tránsito por el paisaje.

## PALABRAS FINALES

A través de este trabajo de investigación hemos evaluado la aplicabilidad de las técnicas de uso corriente en arqueología para estudiar la comunicación en las sociedades antiguas.

Si bien los antecedentes al respecto consideran una o pocas variables para el modelado de vías de comunicación y tránsito, hemos aplicado 9 cálculos complejos (7 LCP de una sola variable y 2 combinaciones) para la predicción de la ubicación de tramos desconocidos de caminos. Esto nos permite hacer inferencias válidas acerca de dos aspectos: la relación de las vías con los factores naturales sobre los que se asientan y la metodología que da cuenta de estos fenómenos.

En cuanto a lo primero, el hecho de que las variables ambientales nos hayan permitido encontrar un tramo de casi 37 km de largo que explica más del 90% de su recorrido nos indica la importancia de la topografía, en particular de la pendiente además de las características del suelo y de la vegetación, en la selección de ambientes para trazar los caminos. Los ambientes con pendientes menores a 15°, como aquellos que sirvieron de asiento a los caminos, son también el asiento de los ríos de la región, los cuales conformaron a su vez las vías de comunicación naturales seleccionadas tanto en tiempo prehispánico como colonial; en éste último, para la construcción de los caminos de herradura y de carretas, algo a tener en cuenta en futuras investigaciones.

El modelado en base a la pendiente y los índices de vegetación (NDVI y SAVI) muestra que si bien los ríos se presentan adecuados para el tránsito por el bajo declive y la disponibilidad de recursos de flora y fauna, la humedad del suelo y la flora pueden ser obstáculos a sortear, y así lo demuestra el hecho de que el tramo de camino inkaico analizado corre paralelo al río Pulares/Escoipe sin tocar su cauce y donde la vegetación es escasa.

En cuanto a los aspectos metodológicos, se puede decir que el LCP, usado con recaudos, es útil para reducir la búsqueda arqueológica de áreas de gran extensión a unos pocos metros, ya que indica de antemano la probabilidad de hallazgo en el terreno a través de *software* y cartografía de alta resolución gratuitos, en lugar de emplear medios de alto costo y complejidad (como *drones* o imágenes satelitales de alta resolución), lo que favorece por igual tanto a la investigación del terreno como a la gestión patrimonial.

No obstante, el proceso de generar un modelo predictivo del *Qhapaq Ñan* no puede ser automático ya que un cálculo de caminos de menor coste es un modelo ideal, una aproximación a la realidad, por lo que es necesario tener en cuenta la topografía de la zona (mediante la experiencia de campo de primera mano) además de otras variables ambientales difíciles de modelar, como la vegetación, el tipo de suelo, o bien algunos condicionantes socio culturales como los linderos étnicos y los espacios sagrados, entre otros.

Por último, el hecho de que el *Qhapaq Ñan* y los sitios asociados se encuentren en las arterias de mayor caudal hidrográfico del área nos muestra el control directo de los ríos, lo cual fuerza a considerar a futuro nuevas líneas de investigación que desentrañen la manera en la cual el *Tawantinsuyu* pudo ejercer dicho control en zonas con una tradición de ocupación densa y muy anterior al advenimiento del mismo, como el valle Calchaquí y el valle de Lerma.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. A las Dras. María Ester Albeck y Sara Mata, por acceder a dirigir estas investigaciones y por su apoyo generoso y constante. Al Lic. Christian Vitry por compartir generosamente la información de campo del proyecto *Qhapaq Ñan* de Salta. A la directora del Museo de Antropología de Salta-Argentina, Lic. Mirta Santoni, por otorgar los permisos de excavación correspondientes y a los tres evaluadores externos por sus valiosas sugerencias.

## NOTAS

1. El tramo de camino inkaico del Nevado de Acay fue prospectado por el autor. La información acerca de las conexiones entre Tastil y Potrero de Payogasta y el camino hacia el santuario del volcán Llullaillaco fue generosamente aportada por el Lic. Christian Vitry, jefe del proyecto *Qhapaq Ñan*, Secretaría de Patrimonio Cultural, provincia de Salta. El tramo Morohuasi-Incahuasi fue reconstruido de la publicación del mismo investigador (Vitry, 2000) y del estudio de imágenes satelitales Landsat 8 y de Google Earth Pro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albeck, M. E.  
2016. Producción y lógica de la red vial incaica en el extremo septentrional del NOA. *Arqueología* 22 (1): 61-79. <https://doi.org/10.34096/arqueologia.t22.n1.2465>.
- Berenguer, J., C. Sanhueza T. e I. Cáceres R.  
2011. Diagonales incaicas, interacción interregional y dominación en el Altiplano de Tarapacá, norte de Chile. En Núñez Atencio, L. y A. Nielsen (eds.) *En ruta. Arqueología, historia y etnografía del tráfico sur andino*: 247-283. Encuentro Grupo editorial. Córdoba.
- Cabrera, A.  
1957. La vegetación de la Puna Argentina. *Revista de Investigaciones Agrícolas* XI (4): 317-412.
- Castro, V., V. Varela, C. Aldunate y E. Araneda.  
2004. Principios orientadores y metodología para el estudio del Qhapaqñan en Atacama: desde el Portezuelo del Inka hasta Río Grande. *Chungará* 36 (2): 463-481. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73562004000200017>.
- Ceruti, M. C.  
1999. *Cumbres sagradas del Noroeste Argentino. Avances en arqueología de alta montaña y etnoarqueología de santuarios de altura andinos*. EUDEBA. Buenos Aires.
- Ceruti, M. C.  
2003. *Llullaillaco. Sacrificio y ofrendas en un santuario Inca de Alta Montaña*. EUCASA. Salta.
- De Feo, M. E. y D. Gobbo.  
2007. Diseño de un modelo predictivo para la localización de tramos de vialidad incaica mediante la utilización de SIG. En *Actas del Primer Congreso Argentino de Arqueometría: metodologías científicas aplicadas al estudio de bienes culturales*, A. Pifferetti y R. Bolmaro (eds.): 37-61. Humanidades y Artes Ediciones. Rosario.
- De Lorenzi, M. y P. Díaz.  
1973. La ocupación incaica en el sector septentrional del Valle Calchaquí. *Estudios de Arqueología. Revista del Museo Arqueológico de Cachi* 2: 45-59.
- Ebert, J, S. Larralde y L. Wandsnider.  
1987. Distribution archaeology: Survey, mapping and analysis of surface archaeological materials in the Green River Basin, Wyoming. En Osborn, A. y R. Hassler (eds.) *Perspectives on archaeological resources management in the "Great Plains"*: 159-177. I & O Public Company. Nebraska.
- Ebert, D. y M. Singer.  
2004. GIS, predictive modelling, erosion, site monitoring. *Assemblage, The Sheffield graduate journal of archaeology* 8: 19-40.
- Evans, D. y A. Traviglia.  
2012. Uncovering Angkor: Integrated remote sensing applications in the archaeology of early Cambodia. En R. Lasaponara y N. Masini (eds.). *Satellite remote sensing: A new tool for Archaeology*: 197-230. Springer. New York. [http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-8801-7\\_9](http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-8801-7_9).

- Fitzhugh, B., V.L. Butler, K. M. Bovy y M. A. Etnier. 2019. Human ecodynamics: A perspective for the study of long-term change in socioecological systems. *Journal of Archaeological Science* 23: 1077-1094. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.03.016>
- Fonte, J., C. Parceró-Oubiña y J. M. Costa-García. 2017. A GIS-based analysis of the rationale behind Roman roads. The case of the so-called Via XVII (NW Iberian Peninsula). *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 17 (3):163-189. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1005562>
- Howey, M.C. L. 2011. Multiple pathways across past landscapes: circuit theory as a complementary geospatial method to least cost path for modeling past movement. *Journal of Archaeological Science* 38 (10): 2523-2535. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2011.03.024>
- Hyslop, J. 1992. *Qhapaqñan, el sistema vial incaico*. INDEA. Lima.
- Kondo, Y. 2007. *Rethinking GIS-based travel cost modeling*. Ponencia presentada en 24a Semiannual Meeting of Japan Society for Archaeological Information. Keio University. Tokyo.
- Lock, G. y J. Pouncett. 2010. Walking the ridgeway revisited: The methodological and theoretical implications of scale dependency for the derivation of slope and the calculation of Least-Cost Pathways. En Frischer, B. D., J. W. Crawford y D. Koller (eds.) *Making history interactive. Computer applications and quantitative methods in Archaeology (CAA)*. British Archaeological Reports. International Series 2079: 192-203. Archaeopress. Oxford. <http://dx.doi.org/10.15496/publikation-3304>
- Lucero, G., E. Marsh y S. Castro. 2014. Rutas prehistóricas en el NO de San Juan: una propuesta macrorregional desde los Sistemas de Información Geográfica. En Cortegoso, V., V. Durán y A. Gasco (eds.) *Arqueología de ambientes de altura de Mendoza y San Juan (Argentina)*: 275-305. EDIUNC. Mendoza.
- Magee, S. 2015. *How do I get to Vilcashuaman? Least Cost Path Analyses of the Chinchaysuyu Road from Cuzco to Vilcashuaman*. Tesis de Maestría, University of Colorado Boulder. [https://scholar.colorado.edu/concern/undergraduate\\_honors\\_theses/44558d773](https://scholar.colorado.edu/concern/undergraduate_honors_theses/44558d773).
- Martel, A. 2011. El espacio ritual pastoril y caravanero. Una aproximación desde el arte rupestre del Valle Encantado (Salta, Argentina). En Núñez A., L. y A. Nielsen (eds.) *En Ruta. Arqueología, historia y etnografía del tráfico sur andino*: 111-150. Encuentro Grupo editorial. Córdoba.
- Matos, R. 2015. El Qhapaq Ñan del Tawantinsuyu: reflexiones sobre su significado político y social en el presente andino. *Revista de Antropología del Museo de Entre Ríos* 1: 12-20.
- Matsumoto, G. 2008. *Availability of Least-cost Pathway Analysis for the study of Inka Road system*. Poster presentado en la 36a Conferencia Annual del Occidente Medio sobre Arqueología Andina y Amazónica. Universidad de Illinois.
- Mignone, P. 2013 a. El camino hacia el Santuario Incaico del Lulllaillaco: el complejo arqueológico más alto del mundo analizado a través de un SIG. *Virtual Archaeology Review* 4 (8): 145-154. <https://doi.org/10.4995/var.2013.4356>.

- Mignone, P.  
2013 b. Arqueología y SIG histórico: desafíos interpretativos del “Itinerario” del Oidor de la Real Audiencia de Charcas Juan de Matienzo (1566) a la luz de la arqueología espacial. *Arqueología iberoamericana* 17: 23–32. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1311219>
- Mignone, P.  
2019. Alcances y limitaciones del modelado SIG predictivo de caminos con componentes inkaicos. Cinco casos de estudio en perspectiva comparada. En *XX Congreso Nacional de Arqueología Argentina Libro de Resúmenes*, A. Laguens, M. Bonnin y B. Marconetto (eds.): 1732-1735. Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba.
- Moralejo, R.  
2018. Un modo de pensar los caminos. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano* 6 (1): 21-36.
- Moralejo, R. y J. D. Gobbo.  
2015. El Qhapaq Ñan como espacio de poder de la política incaica. *Estudios atacameños: 131-150*. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-10432015000100007>.
- Mulvany, E.  
1986. Nuevas evidencias de la ocupación incaica en el valle de Lerma. *Runa* (XVI): 59-84.
- Mulvany, E. y S. Soria.  
1998. Sitios y caminos en los bosques serranos de los Andes meridionales. *Tawantinsuyu* 5: 120-126.
- Pandolf, K. B., G. B. Givoni y R. F. Goldman.  
1977. Predicting energy expenditure with loads while standing or walking very slowly. *Journal of Applied Physiology* 43 (4): 577-581.
- Racoviteanu, A. E.  
2004. *Sacred mountains and glacial archaeology in the Andes*. Tesis de Maestría. Department of Geography, Faculty of the Graduate School, University of Colorado, Denver. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.709.1870>.
- Ramos, V. A.  
2017. Las provincias geológicas del noroeste argentino. En: Muruaga, C. M. y P. Grosse (eds.) *Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA. Relatorio del XX Congreso Geológico Argentino*: 42-56. San Miguel de Tucumán.
- Reboratti, C.  
2005. *Situación ambiental en las ecorregiones Puna y Altos Andes. La situación ambiental argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina. <http://www.fvsa.org.ar/situacionambiental/Puna.pdf> (30 de octubre de 2018).
- Reinhard, J. y M. C. Ceruti.  
2000. *Investigaciones arqueológicas en el volcán Llullaillaco. Complejo ceremonial incaico de alta montaña*. UCASAL. Salta.
- Reinhard, J y M. C. Ceruti.  
2010. *Inca rituals and sacred mountains: A study of the world's highest archaeological sites*. Cotsen Institute of Archaeology. Los Angeles.
- Riley, S, S. De Gloria y R. Elliot.  
1999. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences* 5 (1-4): 23-27.
- Tobler, W.  
1993. Three presentations on geographical analysis and modeling: Non-isotropic geographic modeling; Speculations on the geometry of geography; and global spatial analysis. *Technical Report* 93-1: 3-26.

- Tripcevich, N.  
2008. *Estimating llama caravan travel speeds: ethno-archaeological fieldwork with a Peruvian salt caravan*. Poster presentado en la inauguración del Center for Spatial Studies, University of California. Santa Bárbara. [http://mapaspects.org/sites/default/files/caravan2007/Tripcevich2008\\_UCSB\\_Llama\\_poster.pdf](http://mapaspects.org/sites/default/files/caravan2007/Tripcevich2008_UCSB_Llama_poster.pdf).
- Verhagen, P. L.  
2008. Testing archaeological predictive models: a rough guide. En A. Posluschny, K., Lambers e I. Herzog (eds.) *Layers of perception, Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*: 285-291. Bonn. <https://doi.org/10.11588/propylaeumdok.00000523>.
- Verhagen, P. L.  
2017. Spatial analysis in archaeology: Moving into New Territories. En: Siart, C., M. Forbriger y O. Bubbenzer (eds.) *Digital Geoarchaeology*: 11-25. Springer. New York. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-25316-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-25316-9_2).
- Verhagen, P., L. Nuninger y M. R. Groenhuijzen.  
2019. Modelling of pathways and movement networks in Archaeology: An overview of current approaches. En Verhagen, P., J. Joyce y M. R. Groenhuijzen (eds.) *Finding the limits of the limes modelling demography, economy and transport on the edge of the Roman Empire*: 217-249. Springer. New York. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04576-0\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04576-0_11).
- Vitry, C.  
2000. *Aportes para el estudio de caminos incaicos. Tramo Morhuasi-Incahuasi. Salta-Argentina*. Gófica Editores. Salta.
- Vitry, C.  
2004. Camino de los diaguitas y del Inga en Escoipe. Intersecciones entre la Historia y la Arqueología. *Revista Escuela de Historia*. Año 3, Vol. 1 (3).
- Vitry, C.  
2007. Caminos rituales y montañas sagradas. Estudio de la vialidad inka en el Nevado de Chañi. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 12 (2): 69-84.
- Vitry, C.  
2019. Nuevas evidencias de caminos incas paralelos y en proceso de construcción. Quebrada del Toro, Salta, Argentina. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano* 7 (1): 1-16.
- Wheatley, D.  
2003. Making space for an archaeology of place. *Internet Archaeology* 15. <https://doi.org/10.11141/ia.15.10>
- Williams, V. I. y M. P. Villegas.  
2017. Rutas y senderos como paisajes. Las quebradas altas del valle Calchaquí medio (Salta). *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 22 (1): 71-94. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-68942017005000201>.
- Williams, V. I.  
2019. Nuevos datos sobre las Quebradas altas del Calchaquí medio, Salta, noroeste de Argentina (NOA). Reproducción local entre los siglos XI a XV. En Páez, M. C., M. A. Giovannetti y L. Prates (eds.). *Recorridos de la arqueología del NOA en tiempo, espacio y perspectivas: seis investigaciones, seis miradas*. *Revista del Museo de la Plata* 4 (1): 183-208. <https://doi.org/10.24215/25456377e074>.
- Zanni, S. y A. De Rosa.  
2019. Remote sensing analyses on Sentinel-2 Images: Looking for Roman Roads in Srem region (Serbia). *Geosciences* 9 (25). <https://doi.org/10.3390/geosciences9010025>