



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

Análisis espacial mediante Google Earth Engine para el estudio y comprensión
de las vías de circulación entre la puna y los Valles Altos Catamarqueños

Matías Lepori, Diego Zamora

Relaciones 48, Número Especial 1, e051, 2023

ISSN 1852-1479 | <https://doi.org/10.24215/18521479e051>

<https://revistas.unlp.edu.ar/relaciones>

Sociedad Argentina de Antropología (SAA)

Buenos Aires | Argentina

ANÁLISIS ESPACIAL MEDIANTE GOOGLE EARTH ENGINE PARA EL ESTUDIO Y COMPRENSIÓN DE LAS VÍAS DE CIRCULACIÓN ENTRE LA PUNA Y LOS VALLES ALTOS CATAMARQUEÑOS

Matías Lepori* y Diego Zamora**

Fecha de recepción: 18 de octubre de 2022

Fecha de aceptación: 13 de enero de 2023

RESUMEN

Las investigaciones arqueológicas de carácter internodal requieren de un cambio en las escalas y perspectivas al plantear un abordaje que exceda los límites arbitrarios (y autoimpuestos) de alcance territorial en las investigaciones. Los datos generados tanto en la microrregión de Antofagasta de la Sierra como en la de los Valles Altos Catamarqueños indican vínculos y relaciones sostenidas en el tiempo entre estas y otras regiones aledañas. Así, proponemos el uso del Google Earth Engine (GEE) como herramienta analítica para la generación de información que aporte datos novedosos al tema de investigación propuesto, como pueden ser la disponibilidad de agua y pasturas, o el análisis de pendientes. La utilización de esta herramienta novedosa se sustenta en el análisis y procesamiento remoto de grandes catálogos de imágenes satelitales, actualizados constantemente, lo cual habilita una visión más dinámica y acorde de los procesos que buscamos entender.

Palabras clave: *sensores remotos – Google Earth Engine – arqueología internodal – circulación – NDVI*

* Instituto de Datación y Arqueometría - CONICET. E-mail: mlepori@indya.unju.edu.ar

** Instituto de Arqueología y Museo - Instituto Superior de Estudios Sociales - CONICET. E-mail: dzamorasca@gmail.com

SPATIAL ANALYSIS USING GOOGLE EARTH ENGINE FOR THE STUDY AND COMPREHENSION OF THE CIRCULATION PATHS BETWEEN THE PUNA AND HIGH VALLEYS OF CATAMARCA

ABSTRACT

Internodal archaeological research requires a change in the scales and perspectives considered, in order to propose an approach tending to overcome the arbitrary (and self-imposed) limits of territorial scope in investigations. Data generated both in the micro region of Antofagasta de la Sierra and in the High Valleys of Catamarca, indicate links and relations that endured in time between these and other surrounding regions. In this sense, here we propose the use of Google Earth Engine (GEE) as an analytical tool for the generation of information, providing novel data regarding the proposed research topic, such as those linked to the availability of water and pastures. The use of this innovative tool is based in the remote processing and analysis of large catalogues of satellite images, constantly updated, which enables a more dynamic and attuned insight to the processes that we are seeking to understand.

Keywords: *remote sensors – Google Earth Engine – internodal archaeology – circulation – NDVI*

INTRODUCCIÓN

La movilidad, el intercambio y la circulación (de personas, objetos, ideas) han sido temáticas abordadas por la arqueología, de manera directa o indirecta, desde prácticamente sus inicios. Las investigaciones en la Puna y los Valles Altos Catamarqueños no son la excepción (Korstanje 1998; Aschero 2006; Escola *et al.* 2009; Aschero y Hocsman 2011, entre otros), aunque solo recientemente han comenzado a ser abordadas de manera sistemática y con un marco teórico propio (Martel 2014; Martel *et al.* 2017); el de la Arqueología Internodal (Berenguer 2004; Nielsen 2006; Berenguer y Pimentel 2010).

Como resalta uno de estos autores:

Se trata de posicionar la mirada en los internodos para indagar sus propiedades distintivas, los principios que rigen las prácticas allí situadas y las lógicas que animan a sus protagonistas, buscando entender cómo intervienen en la constitución de la sociedad mayor. El principal desafío metodológico que plantea este enfoque a la arqueología es cómo aprovechar la evidencia material de los espacios y prácticas internodales para poner en riesgo distintas proposiciones sobre la naturaleza y organización de las redes sociales y sus procesos de transformación (Nielsen 2017:301).

No obstante, son muchos los desafíos que implican este tipo de abordaje; uno de ellos es el de las escalas, principalmente el de las escalas espaciales sobre el cuál trabajaremos aquí. La circulación de objetos registrada en los distintos nodos arqueológicos (en este caso en particular hacemos referencia a los nodos de Antofagasta de la Sierra, por un lado, y la microrregión de los Valles Altos Catamarqueños por el otro) nos indica rangos de interacción con alcances máximos de hasta 600 km, estableciéndose nexos con espacios tan distantes como la costa del Pacífico o las Yungas (Aschero y Hocsman 2011).

Aunque la modalidad de investigación arqueológica actual, con áreas definidas para los distintos equipos de trabajo, no impide el abordaje de problemáticas vinculadas a la circulación y el movimiento fuera de tales áreas, sí puede ser un limitante al momento de intentar estudiar,

por ejemplo, el recorrido de las vías específicas de circulación o los caminos. De esta forma, dado que los autores pertenecemos a equipos de investigación distintos y que veníamos abordando preguntas similares, nos propusimos unificar esfuerzos y cruzar información.

Para ello, no solo debíamos plantearnos preguntas en común, sino también definir una metodología cuyo alcance, en este caso temporal y espacial, pudiera también aportar elementos a la discusión. Uno de los grandes obstáculos que implica el preguntarse por la circulación de personas entre lugares situados a cientos de kilómetros es la enorme dificultad de llevar a cabo tareas arqueológicas clásicas, como puede ser la prospección del terreno. En este sentido, los resultados de la metodología que presentaremos a continuación pueden funcionar como una suerte de filtro espacial, acotando espacialmente los lugares en los que posteriormente podremos intensificar las tareas puntuales.

CASO DE ESTUDIO Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

Como mencionamos anteriormente, en esta oportunidad vamos a intentar acercarnos a las posibles vías de circulación utilizadas por las poblaciones del pasado en sus movimientos entre las áreas de trabajo de nuestros respectivos equipos de investigación; entre Antofagasta de la Sierra y la zona de los valles altos catamarqueños (figura 1).

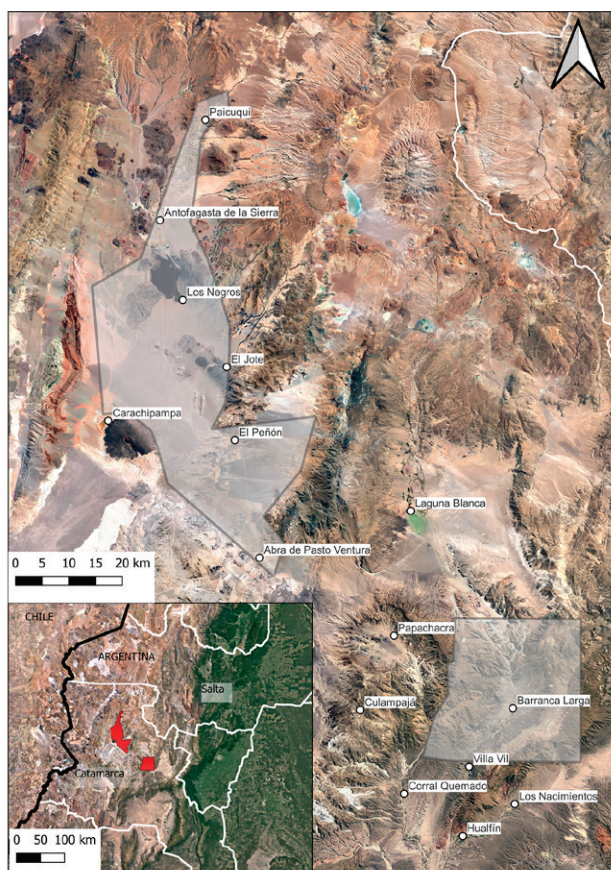


Figura 1. Detalle del noroeste de la provincia de Catamarca donde se ubican las localidades de Antofagasta de la Sierra y Barranca Larga

Es cierto que esta es una pregunta que ya ha sido planteada con anterioridad, muchas veces respondida de manera indirecta (Korstanje 1998; Escola *et al.* 2009; Aschero y Hocsman 2011; Escola y Hocsman 2011, entre otros), y desde hace unos años con un enfoque más directo (Martel 2014; Martel *et al.* 2017; Lepori 2021; Zamora 2022).

Las respuestas indirectas sobre la circulación fueron dadas desde la identificación de elementos alóctonos en contextos arqueológicos, tomados como evidencia de la macromovilidad de grupos humanos, pudiendo ser estos elementos “recursos bióticos y abióticos, así como información sobre prácticas de subsistencia, diseños de tecnofacturas y de arte rupestre, en espacios situados a grandes distancias, sea por medio de intercambio, *viajes de propósito especial*, redes de parentesco o matrimoniales” (Hocsman 2006:166, el énfasis es nuestro). Como vemos en la cita, la circulación era inferida y señalada, más no directamente estudiada. Lo mismo podemos decir para el caso de los valles altos catamarqueños, que desde su conceptualización histórica fueron concebidos como “un lugar de paso”, sin gran relevancia arqueológica más que servir como una vía de comunicación entre los valles bajos fértiles y la Puna.

Esta visión indirecta sobre el movimiento y la circulación comenzó a ser, no contrastada, sino más bien complementada por otras evidencias arqueológicas. En este sentido, uno de los primeros trabajos en plantearse la posibilidad de estar lidiando con un sitio caravanero fue el centrado en el sitio El Médano (Korstanje 1998). Ese artículo, publicado con anterioridad al establecimiento más formal de la Arqueología Internodal como marco teórico para el abordaje directo de los espacios de circulación (Berenguer 2004; Nielsen 2006; Berenguer y Pimentel 2010), se planteaba de manera bastante cauta la posibilidad de que El Médano se tratase de un sitio propio de lo que hoy llamaríamos la internodalidad. La logística de emplazamiento, la particular arquitectura y los materiales recuperados en excavación permitieron a la autora “pensar que puede tratarse de un sitio caravanero temprano, aun no contando con otras evidencias de la existencia de estos sitios en el NO argentino” (Korstanje 1998:49).

Esta primera evidencia directa de circulación, movilidad, tráfico o intercambio de bienes fue posteriormente robustecida, no para este sitio en particular, sino para la región en general. Aquí nos centraremos, dado el alcance del artículo, en los avances realizados para la microrregión de Antofagasta de la Sierra. Los trabajos de Martel y colaboradores, sustentados en la información indirecta que mencionamos anteriormente, pero también en evidencias vinculadas a un arte rupestre caravanero, plenamente vigente desde momentos formativos (Martel 2010), comenzaron a indagar de manera más directa sobre la “red vial” (*sensu* Pimentel 2013) utilizada por las personas que realizaban estos viajes. En primer lugar, se avanzó en la investigación del internodo del Volcán Galán, entre Antofagasta de la Sierra y los Valles Calchaquíes (Martel 2014). Aunque los trabajos más pertinentes para la propuesta aquí presentada son los que se vienen realizando en vinculación al internodo de Pasto Ventura, vía de circulación propuesta para la comunicación entre Antofagasta de la Sierra y el valle de El Bolsón.

Tanto en los tramos Pasto Ventura-El Peñón, como Carachipampa-Antofagasta de la Sierra se lograron identificar una serie de ramales de circulación con estructuras de pernocte y/o habitación asociadas y materialidad correspondiente a distintos eventos de ocupación al menos desde el Formativo (Martel *et al.* 2017) y que llegan incluso a momentos subactuales entre finales del siglo XIX y mediados del XX (Zamora 2022).

A pesar de haber realizado un trabajo de prospección bastante intensivo en los dos tramos mencionados (por ejemplo, 31,8 km lineales repartidos en cinco ramales para el tramo Pasto Ventura-El Peñón, donde se identificaron 63 estructuras asociadas de distinto tipo), aún quedan espacios realmente vastos sin prospectar y que revisten dificultad en su abordaje. Estas dificultades se asocian a la logística que implicaría su prospección, ya que no hay estructuras o rasgos camineros observables mediante imágenes satelitales que permitan circunscribir las prospecciones, se encuentran muy alejados de rutas vehiculares modernas y la topografía de estos sectores

también entorpece la búsqueda (por ejemplo, en algunos sectores hay muchas abras disponibles que pudieron haber sido utilizadas, pero subir a cada una de ellas demandaría muchísimo tiempo).

De esta dificultad surge la propuesta de este trabajo: encontrar alguna manera alternativa de acercamiento al espacio que nos permita delimitar con cierto grado de precisión posibles sectores que hayan sido utilizados por las poblaciones del pasado para la circulación entre los valles altos catamarqueños y la microrregión de Antofagasta de la Sierra.

Para abordar la problemática, nos propusimos elaborar un modelo predictivo siguiendo lo propuesto por Warren y Asch (2000) en el sentido de que estos se basan en dos suposiciones generales: 1) la selección de lugares de emplazamiento en el pasado estuvo influenciada o condicionada por características ambientales y, 2) esos factores ambientales están reflejados (al menos indirectamente) en los mapas modernos de variación ambiental.

Con un fuerte arraigo en las corrientes procesuales de la arqueología, los modelos predictivos tienen una larga tradición en Norteamérica, principalmente en el sudeste estadounidense. Los trabajos fundacionales en la materia se pueden rastrear a Kohler y Parker (1986), que definen al modelado predictivo cualitativo y diferencian entre métodos inductivos y deductivos, y el volumen editado por Judge y Sebastian (1988), que sirve para el establecimiento del marco matemático para la creación y testeado de los modelos predictivos.

Ya en la década de 1990, junto con el aumento en la utilización de los Sistemas de Información Geográficos (SIG), aparecen los primeros simposios en congresos nacionales directamente apuntados a los modelos predictivos en arqueología (Reunión Anual N°61 de la SAA en Nueva Orleans). A partir de los trabajos presentados en ese simposio, en el año 2000 se edita un libro con diversos casos de estudios sobre la aplicación de modelos predictivos (Wescott y Joe Brandon 2000).

En la arqueología de la península ibérica se vienen desarrollando trabajos de esta índole (ver Fernández Cacho 2009), elaborando modelos de *viewshed* (cuencas visuales, permiten determinar la visibilidad relativa desde un sector del paisaje cualesquiera), modelos de *accumulated cost flow*, de redes o de movilidad óptima (los cuales permiten modelizar las posibles vías de circulación dentro de un territorio) (Llobera 2006; Jimenez-Puerto *et al.* 2016; Carrero-Pazos 2018; Parcero-Oubiña 2018), o incluso con la aplicación de redes neuronales e inteligencia artificial (Fernández Fernández 2013; Negre Pérez 2014), solo por nombrar algunos.

En la arqueología del norte argentino, la elaboración de modelos predictivos comienza a tener cada vez más presencia, principalmente en investigaciones sobre la red vial incaica (Moralejo 2011; Gobbo *et al.* 2015; Moralejo y Aventín Moretti 2015), pero sobre todo muestra un gran potencial a futuro. Como antecedentes locales directos tenemos el trabajo de De Feo y Gobbo (2005), en el que los autores elaboraron y evaluaron un modelo diseñado a partir de variables espaciales características del *Qhapaq Ñan*, con el objetivo de utilizarlo para identificar áreas en donde puedan encontrarse tramos del camino.

Más recientemente, Mignone (2011, 2019, 2022a y 2022b) abordó la espacialidad en momentos de desarrollos regionales, de presencia incaica y coloniales desde la elaboración, evaluación y análisis de modelos. En su trabajo de 2011, analizó desde una plétora de modelos geoespaciales (análisis de movimiento óptimo de acuerdo con las pendientes, análisis de *viewshed*, de insolación, de ubicación de sitios en función de las geoformas, y otras) una serie de estructuras ubicadas en las laderas y área cumbre del nevado El Acay. En los trabajos publicados en 2019 y 2022, realizó análisis de *Least Cost Paths* (caminos de menor coste), así como análisis y modelos de red en un territorio muy amplio, con el objetivo de determinar o detectar cambios o continuidades en la forma de conectar espacios durante momentos incaicos y coloniales.

No obstante, es importante resaltar que, aunque nuestro trabajo se encuentra en concordancia con los anteriormente mencionados, la principal novedad pasa por el modo de procesamiento y la cantidad de información analizada. El hecho de trabajar en el entorno de GEE nos permite

el procesamiento remoto de un conjunto de datos espaciales que serían imposibles de manejar localmente.

Al mismo tiempo, es importante mencionar que la utilización de GEE en arqueología aún se encuentra en una etapa sumamente inicial, por lo que esta propuesta es una de las primeras en expresarse formalmente. Siguiendo el relevamiento realizado por Zhao y colaboradores (2021) con relación al progreso y las tendencias registradas en el uso de Google Earth (GE) y Google Earth Engine (GEE), a pesar del crecimiento exponencial de publicaciones dónde se utiliza GEE desde su popularización en 2015, sobre 565 artículos revisados solamente uno corresponde a arqueología (y otro más a antropología) (ver Figura 3 en Zhao *et al.* 2021).

De esta manera, además de la resolución espacial, podemos mejorar y empezar a preguntarnos sobre la resolución temporal de los datos, volviendo a lo planteado por Warren y Asch (2000) en relación con la importancia de los mapas ambientales modernos para analizar conductas en el pasado.

METODOLOGÍA

Sobre la base de lo anteriormente expuesto, nos preguntamos sobre las alternativas analíticas de las que disponemos y qué variables podrían ser de interés para delimitar posibles sectores o vías de circulación. La variable de la disponibilidad de agua y pasturas se destaca como de importancia fundamental, ya que es considerada un elemento crítico al momento de planificar viajes (García *et al.* 2002; García y López 2004; Núñez Srytr 2011; Abeledo 2013; Morales *et al.* 2019, entre otros), especialmente en el área de estudio considerada (la puna salada o puna sur, extremadamente árida) (Troll 1980). Abordamos esta variable a partir de imágenes satelitales y del cálculo del índice de vegetación normalizada (NDVI), gracias a la teledetección. De esta manera, no se observa de manera directa la presencia de agua en superficie, sino la presencia/ausencia de zonas vegetadas, desde una perspectiva diacrónica.

Este índice, introducido por Tucker (1979), representa la diferencia normalizada entre la reflectancia en las bandas espectrales del infrarrojo cercano (NIR) y del rojo (R). Estas bandas pueden aparecer con diferentes denominaciones de acuerdo al satélite que estemos utilizando. Para el caso de Landsat 8, las bandas utilizadas son la Banda 4 (Rojo) y la Banda 5 (Infrarrojo Cercano).

En este primer abordaje recurrimos solo al cálculo del NDVI debido a que nos puede proveer información sobre agua y vegetación al mismo tiempo. Ciertamente, a futuro la idea es trabajar con otros tipos de índices, vinculados por ejemplo a la presencia de agua en superficie (NDWI), a la humedad del suelo (NDMI), o a la vegetación ajustada por tipo de suelo (SAVI). Además, utilizar este índice en particular nos permitirá más adelante contar con más información de base y comparativa para trabajar con estimaciones de paleo-NDVI, con la posibilidad de reconstruir este índice durante el Holoceno Tardío de acuerdo a lo propuesto por Marconetto y colaboradores (2015).

Dada la necesidad de realizar un cálculo del índice de vegetación normalizada (NDVI), para grandes superficies, y con una perspectiva temporal lo más amplia posible, nos interiorizamos en la utilización del Google Earth Engine (Gorelick *et al.* 2017). En palabras de estos autores, se trata de “una plataforma basada en la nube para el análisis geoespacial a escala planetaria que aporta la enorme capacidad computacional de Google para abordar una serie de problemas sociales de gran impacto” (Gorelick *et al.* 2017:18, la traducción es nuestra).

Esta plataforma permite el acceso a enormes catálogos de *datasets* geoespaciales (imágenes satelitales, datos geofísicos, climáticos, demográficos y mucho más), listos para su visualización y procesamiento mediante la introducción de una serie de algoritmos o instrucciones (*scripts*) que son procesados de manera remota por los servidores de Google, y devuelve al usuario los resultados de estos análisis listos para ser insertados en cualquier otra plataforma, como puede ser

el QGIS, por ejemplo. Los principales *datasets* que hemos considerado de utilidad para nuestra investigación son las imágenes provenientes de sensores remotos, entre las cuales se incluye la totalidad del archivo Landsat, así como también de Sentinel, MODIS y otros.

Todas las imágenes pertenecientes al mismo sensor remoto son agrupadas y presentadas en lo que la plataforma denomina “colecciones”, las cuales pueden ser fácilmente filtradas y clasificadas para obtener de manera más precisa la información que estamos buscando. La forma en que se realizan estas consultas es a través de *scripts* o secuencias de comandos. Esta es una de las grandes ventajas que presenta esta plataforma en relación con otras en las cuales podríamos realizar el procesamiento de imágenes satelitales, como veremos más adelante.

Al tratarse de un primer acercamiento para evaluar el potencial de la metodología y del entorno de trabajo, decidimos utilizar una colección que cumpliera de la mejor manera posible con los siguientes tres requisitos: amplitud temporal, resolución espacial y mejor calidad de producto.¹ Considerando que esta es una investigación aún en curso, a futuro replicaremos la metodología con otras fuentes de imágenes satelitales, y cálculos sobre diversos índices. Al mismo tiempo, no está de más repetir que esta fuente de información es netamente moderna, por lo que las extrapolaciones hacia momentos más antiguos siguen siendo provisorias y limitadas, aunque más adelante se sugieren algunas posibilidades analíticas en este sentido.

Así, decidimos utilizar la colección correspondiente al satélite Landsat 8 (Surface Reflectance - Tier 1), que nos provee de imágenes entre abril del 2013 y la actualidad. Sin embargo, al tratarse de una perspectiva que tratará de analizar las variaciones en la disponibilidad de aguas/pasturas de acuerdo a una base anual y estacional, en esta oportunidad seleccionamos trabajar con las imágenes satelitales entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de diciembre del 2021. Es importante resaltar que en esta oportunidad solo estamos discriminando entre vegetación sí/vegetación no, pero en futuros trabajos podríamos agregar al proceso el método de *spectral unmixing* para reconocer las distintas huellas espectrales de los distintos tipos de vegetación y tener un resultado aún más ajustado y certero.

Esta colección de imágenes fue a continuación filtrada para mostrar solo aquellas que cubrieran el área de trabajo definida, cargada como una geometría espacial en el entorno del Google Earth Engine (en adelante GEE) (figura 2). Así, luego de aplicar el filtro temporal y espacial que nos permite minimizar el ruido a nivel de datos en nuestro procesamiento, vemos que vamos a estar trabajando con un total de 903 imágenes satelitales.

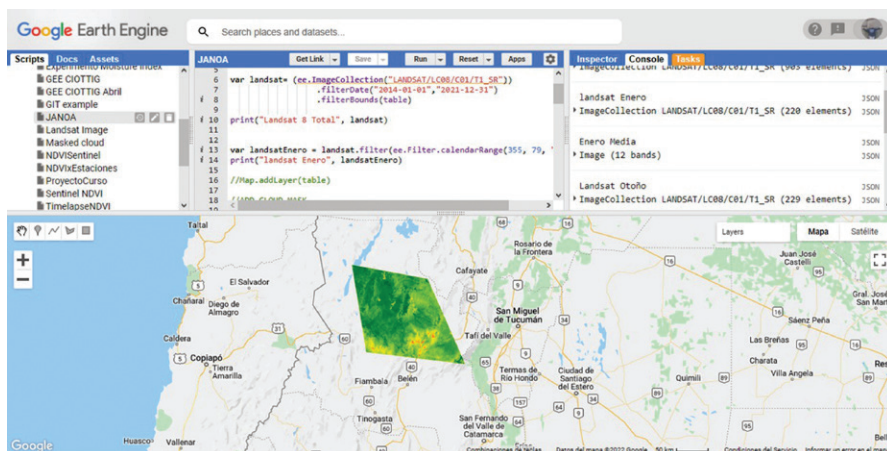


Figura 2. Entorno de trabajo del Google Earth Engine donde se puede apreciar el sector para la escritura del *script* solicitando procesamientos al entorno y en la parte inferior la visualización, donde lo que se ve en color responde al área de trabajo definida

A continuación, sometimos el total de imágenes a dos nuevos filtros. En primer lugar, le pedimos al entorno de trabajo que las agrupe de acuerdo con el momento del año en que fueron obtenidas, creando cuatro nuevas categorías: 220 imágenes obtenidas en verano, 229 en otoño, 230 en invierno y 224 en invierno.

Con posterioridad, aplicamos un algoritmo o *script* diseñado por investigadores del USGS que permite crear una máscara sobre los píxeles correspondientes a nubes o sombras de nubes. De esta manera, en vez de quedarnos con datos confusos para sectores afectados por nubes o sombras –es decir, que no nos permiten ver la superficie–, le solicitamos al GEE que nos devuelva la misma imagen, pero que en esas zonas no tenga datos.

Esto nos es de particular utilidad debido a que el siguiente paso en el procesamiento corresponde a la creación de una imagen compuesta, donde estos sectores sin datos en las imágenes particulares van a ser rellenados por los correspondientes a tomas realizadas otros días. Estas cuatro imágenes compuestas –una para cada estación– son obtenidas utilizando la función “median” en el entorno del GEE. Es importante aclarar que, dentro de la perspectiva analítica considerada, no nos interesa trabajar con sectores con disponibilidad de aguas/pasturas que puedan aparecer de manera extraordinaria, sino identificar aquellas zonas donde esta disponibilidad responda a una mayor predictibilidad a lo largo del tiempo. Así, no estamos “reduciendo” los datos con los que trabajamos, sino limpiando las apariciones extraordinarias y quedándonos con las recurrentes.

Por último, calculamos el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI por sus siglas en inglés) sobre cada una de estas cuatro imágenes compuestas. Es importante resaltar que el NDVI es comúnmente utilizado como un *proxy* para evaluar la actividad de la vegetación (Weber *et al.* 2018) y en este caso en particular, nos interesa porque resalta las áreas vegetadas dentro de un ambiente en el que este recurso no es particularmente predominante. Es importante recordar que “las variaciones espaciales y temporales de la actividad fotosintética de la vegetación tienen una estrecha relación con la disponibilidad de agua en el suelo, especialmente en zonas áridas y semiáridas” (Marconetto *et al.* 2015:47).

Una vez obtenidas estas cuatro imágenes que nos muestran la media del NDVI de los últimos 8 años, divididas por estaciones, procedemos a descargarlas y seguir el procesamiento en un entorno local, en nuestro caso el QGIS Desktop 3.22.2 ‘Białowieża’. Al momento de realizar la descarga, GEE nos permite seleccionar distintos parámetros como sistema de coordenadas, formato del archivo de salida y escala de la imagen, de manera tal que lo podamos ajustar al resto de nuestros análisis.

Es importante resaltar que en esta primera oportunidad decidimos trabajar solo con la información correspondiente a Landsat 8 y por eso la muestra es desde el 2014 en adelante, pero este mismo flujo de trabajo puede aplicarse a otros sensores remotos, alcanzando una mayor profundidad temporal.

Una vez que tenemos las cuatro imágenes ráster podemos realizar cálculos de superficie, categorizar de distinta manera de acuerdo con los valores de NDVI, cruzar esa información con datos compilados por otras vías, y tratar de entender de la mejor manera la posible vinculación entre esta variable y las acciones de movimiento asociado al tráfico y el caravaneo.

RESULTADOS

Las evidencias arqueológicas nos permiten afirmar la utilización de algunas vías de comunicación entre las áreas de estudio (valle de El Bolsón en los valles altos catamarqueños y la microrregión de Antofagasta de la Sierra) al menos desde hace 1800 años (Martel *et al.* 2017), con indicios de utilización reiterada hasta hace unos 50 años atrás en varios de los tramos de caminos registrados.

Aunque consideramos que esta vía analítica puede, luego de seguir siendo utilizada, refinada y perfeccionada, ayudar a aportar información predictiva sobre la circulación de bienes y personas en distintas temporalidades, en esta primera oportunidad vamos a limitarnos a cruzar la información generada a partir del análisis en GEE con entrevistas realizadas por uno de nosotros a pobladores de Antofagasta de la Sierra (en adelante, ANS) en relación con los viajes que ellos realizaron hasta no hace mucho tiempo atrás, cuando esta era la principal forma de obtener ciertos objetos y elementos, con anterioridad a la construcción de las rutas vehiculares (Zamora 2022).

En primer lugar, nos interesa mostrar que el procesamiento vinculado al cálculo del NDVI realizado en el entorno de GEE funciona. Así, lo primero que realizamos en el QGIS fue una vectorización de la capa ráster correspondiente a cada estación, seleccionamos solo los valores mayores a 0,5² y utilizamos la función “disolver” para crear un único polígono del cuál pudiéramos calcular la superficie. De esta manera, gráficamente podemos observar los ciclos anuales de crecimiento y decrecimiento de áreas vegetadas (figura 3), al mismo tiempo que podemos calcular las superficies con valores de NDVI mayores a 0,5 para el área de trabajo definida. Estos cálculos nos indican que las estaciones de otoño y verano muestran mayores superficies vegetadas (73,17 y 66,43 km² respectivamente), mientras que estos valores decrecen drásticamente para primavera y, principalmente, invierno (11,32 y 1,22 km², respectivamente).

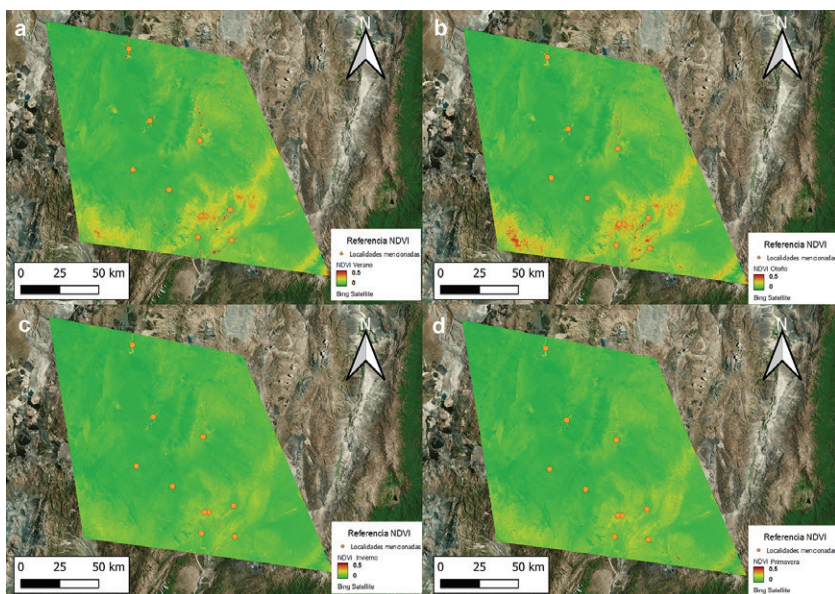


Figura 3. Área de trabajo definida y cálculo de NDVI para las estaciones de a) verano, b) otoño, c) invierno y d) primavera. Los valores de NDVI más bajo están representados en verde, mientras que a medida que crecen, pasan a amarillos y rojos

Estos datos concuerdan con las observaciones en campo, la información sobre precipitaciones mensuales entre 2014 y 2021 a los que pudimos acceder gracias al Global Climate Monitor (Camarillo-Naranjo *et al.* 2019), como así también con análisis sobre el mismo índice realizados en la zona de Arica (Saintenoy *et al.* 2017) que señalan esta tendencia a formaciones vegetacionales más extensas al final de la temporada de lluvias y la menor cobertura para el mes de agosto. Recordemos que la temporada húmeda en el área de trabajo presentada aquí va de diciembre a marzo, con una fuerte estacionalidad.

Al mismo tiempo, dado que “las jornadas de viaje se planteaban de modo de conectar *lugares*

de pernocte con agua, pasturas, y en muchos casos una mínima estructura preexistente de refugio para viajeros humanos y animales” (Zamora 2022:239, el énfasis es nuestro), podemos identificar a este como uno de los recursos críticos para ser tenidos en cuenta. De allí que la previsibilidad se torna aún más importante. Toda actividad que implique movimientos de personas y animales en este tipo de entornos naturales requiere de planificaciones que incluyan el aprovisionamiento de estos recursos, como menciona por ejemplo Abeledo al estudiar el pastoreo en Santa Rosa de los Pastos Grandes, mencionando que “está estructurado en gran parte por la disponibilidad estacional y esparcida de pasturas y aguadas que se concentran en lugares puntuales del ambiente” (Abeledo 2013:18).

Entonces, ¿cómo se solapan los derroteros registrados en las entrevistas con la información obtenida a través del procesamiento en el GEE? El trabajo de Zamora (2022) logró reconstruir el trazado de varias vías de circulación entre ANS y la zona de los valles hacia el sur; “íbamos al Jote, del Jote íbamos a la orilla de Pasto Ventura, de Pasto Ventura a Corral Viejo, y caíamos a Corral Quemado” (Zamora 2022:241), o “si por acá por este lado íbamos a Laguna Blanca, de aquí, de Pasto Ventura se separa el camino, iba a Laguna Blanca y abajo a los Nacimientos y de ahí a Villa Vil” (Zamora 2022:241).

Este derrotero vincula distintos puntos en el espacio caracterizados por agrupar parches con valores de NDVI más altos que en áreas circundantes. Básicamente, posibles lugares con concentración de aguas y pasturas. Por ejemplo, en el tramo entre El Peñón-ANS, podemos observar muy claramente la quebrada con disponibilidad de agua donde se instaló el Jote, resaltando notablemente en relación a la nula presencia de estos recursos en el resto de este recorrido. Pero además de utilizar esta metodología para la corroboración de la información registrada, nos interesa también utilizarla para definir futuros lugares de prospección en búsqueda de evidencias asociadas a la circulación. Y en este caso, pudimos identificar una vega recurrente en las cercanías del actual trazado de la Ruta Provincial 43 que sería interesante registrar dada su posición intermedia entre Laguna Blanca y El Peñón (figura 4).

Con relación a otras vías de circulación registradas en las entrevistas, también pudimos identificar, gracias al procesamiento en GEE, puntos mencionados por los entrevistados, como así

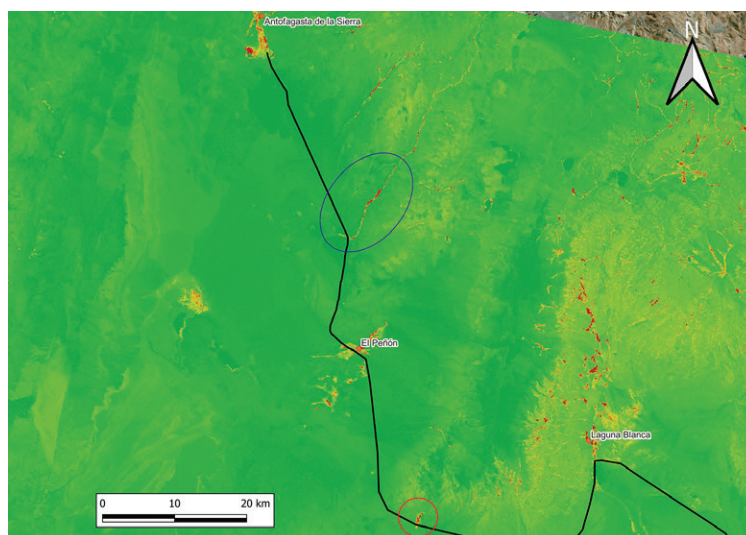


Figura 4. Parte del derrotero que une Antofagasta de la Sierra y Villa Vil registrado en entrevistas (Zamora 2022). El círculo azul marca la quebrada asociada al Jote; el rojo, la vega intermedia entre Laguna Blanca y el abra de Pasto Ventura

también zonas de interés para futuras campañas de prospección. Pero también, antes de finalizar, queremos hacer referencia a un caso donde se aprecian algunas de las limitaciones de la propuesta.

El Puesto Los Negros (figura 5) funcionó activamente entre las décadas de 1960 y 1980, cuando fue abandonado. A pesar de no contar con agua disponible, los informantes mencionan que hasta ese momento existían pasturas, y habría servido como lugar de pernocte provisorio para viajeros que salían de ANS hacia el sur (Zamora 2022). Sin este registro etnográfico, simplemente mediante la observación de imágenes satelitales o siguiendo el análisis de NDVI, probablemente no prestaríamos especial atención a este sector.

Ahora bien, cuando miramos con un poco más de detenimiento las imágenes con la caracterización del NDVI, podemos observar que hacia el oeste sí hay una quebrada que favorece la presencia de vegetación, que debe haber sido mucho más extensa en el pasado posibilitando la presencia de pasturas en la zona del puesto relevado. Aquí sería necesario realizar un análisis del mismo tipo, pero con una mayor profundidad temporal, aunque con el problema de que la resolución espacial de los satélites por utilizar es menor. Ciertamente es una de las líneas a continuar explorando a futuro.

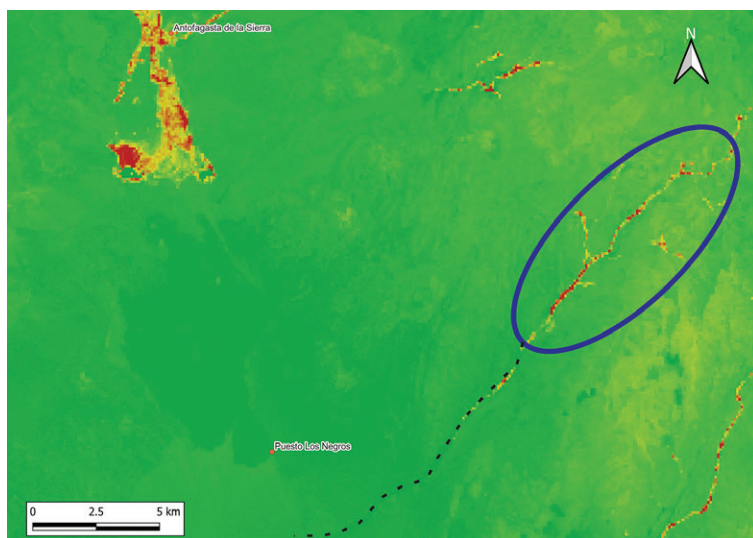


Figura 5. Mapa mostrando la ubicación del Puesto Los Negros en relación a ANS y la quebrada que posiblemente proveyó de agua para pasturas a la zona, actualmente más retraída

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Sentimos, en el sentido más amplio de la palabra, que estamos ante un momento particular de la arqueología, donde son varios los factores (la investigación en sí, pero también el compromiso político y las agendas personales) que nos llevan a replantearnos algunos limitantes a la práctica arqueológica. Muchas veces estos se presentan como factores externos a la disciplina en sí; como el caso de las áreas de trabajo que son espacialmente delimitadas por los órganos gubernamentales provinciales, aunque eso no implica que no podamos hacer nada para sortear estas “fronteras”.

En esta oportunidad, acompañados de una interrogante arqueológica que es de por sí disruptiva con las limitaciones espaciales de los permisos arqueológicos (los caminos no terminan allí donde terminan nuestros permisos), nos planteamos una metodología que acompañe estas necesidades espaciales. Así, intentamos abrir lo más posible el ángulo de observación, tanto espa-

cial como temporalmente (aunque en este último sentido aún puede trabajarse más), recurriendo a la información proveniente de sensores remotos entre el 2014 y el 2021 para el área de estudio. No está de más decir que, aunque ampliamos el área de trabajo en las que cada uno de nosotros suele investigar, nuevamente establecimos otros límites, pero que no responden a la posibilidad analítica (que en realidad tiene una escala global), sino a las preguntas planteadas que nos motivaron a escribir este trabajo.

La utilización del entorno de trabajo del Google Earth Engine probó ser adecuado para este tipo de acercamiento, ya que pudimos aprovechar su amplio repositorio, capacidad de procesamiento y algoritmos de análisis predeterminados para la obtención de datos novedosos, que pudieron ser puestos en discusión y diálogo con otras fuentes de información. Es importante en este sentido, volver a resaltar que el tipo de análisis planteado sí podría haber sido replicado en otro entorno de trabajo, pero no así el volumen de datos primarios con los que trabajamos. Las 903 imágenes satelitales del área que componen la colección de Landsat 8 utilizada fueron procesadas de manera remota, acortando tiempos y recursos insumidos en las computadoras locales.

Fue interesante también la comparación de los resultados obtenidos a través de la metodología propuesta con la observación directa en campo (Martel *et al.* 2017; Lepori 2021; Zamora 2022), los datos meteorológicos relacionados con volúmenes de precipitación y la información recabada por vía de entrevistas a pobladores de Antofagasta de la Sierra que realizaron viajes de intercambio y arriería hasta hace pocos años. Podemos adelantar también que esta metodología de trabajo está siendo aplicada en la investigación doctoral de uno de los autores, y los resultados de los modelos predictivos están siendo utilizados para la planificación de campañas de prospección.

Esta etapa del trabajo funcionó como una suerte de corroboración, al menos en primera instancia, de que podíamos fiarnos de los resultados y comenzar a utilizarlos para hipotetizar sobre posibles lugares de paso o pernocte en las vías de circulación que estamos estudiando. Además, salvo un único caso donde la magnitud de las rastrilladas permitió su observación en imágenes satelitales de alta resolución disponibles en Google Earth (Martel *et al.* 2017), todas las otras evidencias arqueológicas que hemos hallado en asociación a los caminos no pueden ser observadas de esa manera. Intentamos “encontrar” en Google Earth y Bing las 63 estructuras halladas en el tramo Pasto Ventura-El Peñón y simplemente no son distinguibles. Con algunas excepciones, la evidencia arqueológica internodal registrada en nuestros trabajos ha sido en extremo magra; las estructuras son construidas de manera expeditiva y sencilla, y los materiales muebles son muy escasos.

Así, hemos identificado algunos sectores que no han sido prospectados, pero que desde el análisis aquí propuesto podrían coincidir con los lugares elegidos por los viajeros en sus derroteros entre la puna y los valles altos catamarqueños, pudiendo ser zonas de captación de agua, pasturas y leña. No obstante, también debemos estar atentos ante las limitaciones de este tipo de análisis, y posibles ajustes en la metodología, ya que también identificamos al menos un caso donde las entrevistas nos indicaban un lugar de pernocte que desde el análisis de NDVI habríamos desechado.

Dentro de las líneas para seguir explorando se encuentran: la utilización de otras fuentes de imágenes satelitales (Sentinel-1 y Sentinel-2, por ejemplo); el testeo de otros índices (SAVI, EVI, NDWI, entre otros), tanto de vegetación como de agua y humedad para comparar con los resultados de NDVI o poder plantearse otro tipo de preguntas sobre la circulación; buscar maneras de profundizar el alcance temporal del tipo de análisis, ya sea mediante la utilización de imágenes satelitales más tempranas (aunque hay que resolver cómo trabajar con distintas resoluciones espaciales), cálculos de paleo-NDVI y/o cotejos paleoambientales. Por último, otro de los trabajos que quedan pendientes es el de cuantificar la fiabilidad de los modelos.

En este sentido, aunque sigue siendo un primer acercamiento y no plantea respuestas definitivas, consideramos que abre un nuevo mundo de posibilidades, de mirar desde otro lugar,

cambiar la perspectiva. Y, ¿qué es la arqueología sino una búsqueda de nuevas formas de mirar y seguir mirando hacia atrás y hacia adelante?

AGRADECIMIENTOS

Ambos nos encontramos realizando nuestras investigaciones doctorales, y por ello agradecemos la financiación que nos permite llevar adelante nuestros trabajos (sendas Becas Doctorales de CONICET, PIUNT G636/2, PIP CONICET 0861, PICT 2020-1744), pero sobre todo a los equipos de trabajo que enriquecen nuestras discusiones, proponen nuevas miradas y, sobre todo, siempre acompañan. Agradecemos también los valiosos comentarios y sugerencias de las evaluaciones, los cuales contribuyeron a mejorar el presente escrito. A las y los pobladores de Antofagasta de la Sierra, de Barranca Larga y de todos aquellos lugares donde siempre somos bien recibidos. A las y los viajeros, que siempre estuvieron y siempre estarán. Y a ellos, por la tercera.

NOTAS

- ¹ El proveedor de estas imágenes es el USGS (United States Geological Survey), que categoriza las tomas provenientes de sus satélites de acuerdo a la calidad de datos y el error en cada imagen en Tier 1 (mejor calidad, menor error) y Tier 2 (menor calidad, mayor error). De acuerdo con el tipo de análisis que se pretenda realizar, también provee imágenes que muestran la Surface Reflectance o Top-of-Atmosphere Reflectance. Ya que la segunda contiene datos que hacen “ruido” como información de nubes o aerosoles, para el análisis de NDVI es mejor trabajar con la Reflectancia Superficial.
- ² Recordemos que el NDVI se calcula entre -1 y 1. Aquí, de manera arbitraria, decidimos considerar los valores mayores a 0,5 de referencia, ya que *a priori* nos estarían indicando sectores con vegetación más sana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeledo, S. (2013). Pastores de los Andes Meridionales. Sistemas Tradicionales de Intercambio y sus transformaciones en Santa Rosa de los Pastos Grandes (Los Andes, Salta). Tesis Doctoral inédita, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.
- Aschero, C. (2006). De cazadores y pastores. El arte rupestre de la modalidad Río Punilla en Antofagasta de la Sierra y la cuestión de la complejidad en la Puna meridional Argentina. En D. Fiore y M. Podestá (eds.), *Tramas en la Piedra. Producción y Usos del Arte Rupestre*: 103-140. Buenos Aires, Sociedad Argentina de Antropología.
- Aschero, C. y Hocsmán, S. (2011). Arqueología de las ocupaciones cazadoras-recolectoras de fines del Holoceno Medio de Antofagasta de la Sierra (Puna Meridional Argentina). *Chungara Revista de Antropología Chilena* 43 (1): 393-411.
- Berenguer, J. (2004). *Caravanas, interacción y cambio en el desierto de Atacama*. Santiago de Chile, Ediciones Sirawi.
- Berenguer, J. y Pimentel, G. (2010). Arqueología de los «espacios vacíos»: una aproximación internodal a las relaciones intersociales. *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Chilena*, Tomo 2: 1305-1308. Valdivia.
- Camarillo-Naranjo, J. M., Álvarez-Francoso, J. I., Limones-Rodríguez, N., Pita-López, M. F. y Aguilar-Alba,

M. (2019). The Global Climate Monitor System: From Climate Data-Handling to Knowledge Dissemination. *International Journal of Digital Earth*, 12(4), 394-414. <https://doi.org/10.1080/17538947.2018.1429502>

Carrero-Pazos, M. (2018). Modelando dinámicas de movilidad y visibilidad en los paisajes megalíticos gallegos. El caso del Monte de Santa Mariña y su entorno (Comarca de Sarria, Lugo). *Trabajos de Prehistoria* 75 (2): 287-306.

De Feo, E. y Gobbo, D. (2005). Diseño de un modelo predictivo para la localización de tramos de vialidad incaica mediante la utilización de SIG. En A. Pifferetti y R. Bolmaro (eds.), *Actas del Primer Congreso Argentino de Arqueometría: metodologías científicas aplicadas al estudio de bienes culturales*: 37-61. Rosario, Humanidades y Artes Ediciones.

Escola, P. y Hocsman, S. (2011). Circulación macrorregional de un diseño artefactual en contextos agropastoriles: El caso de los cuchillos/raederas de modulo grandísimo. En G. López y H. Muscio (eds.), *Arqueología de la Puna Argentina. Perspectivas actuales en el estudio de la diversidad y el cambio cultural*: 97-109. Oxford, British Archaeological Reports.

Escola, P., Glascock, M., Korstanje, A. y Sentinelli, N. (2009). Laguna Cavi y El Médano: obsidias en circulación caravanera. En C. Vázquez, E. Cabanillas, O. Palacios y T. Palacios (comps.), *Arqueometría Latinoamericana*: 103-108. Buenos Aires, CNEA.

Fernández Cacho, S. (2009). Bases conceptuales y metodológicas de los modelos predictivos en Arqueología. En S. Fernández Cacho y J. M. R. Cámara (coord.) *MAPA: Modelo Andaluz de Predicción Arqueológica*: 8-32. Sevilla, Junta de Andalucía (Consejería de Cultura).

Fernández Fernández, J. (2013). Arqueología, SIG y modelos predictivos basados en redes neuronales artificiales. Un caso de estudio. *Mapping Science & Remote Sensing* 22 (160): 30-38.

García, S. P. y López, M. (2004). Sal, pasas, lana. Redes de comercio y trueque entre criollos del oeste de Catamarca. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXIX*: 339-348.

García, S. P., Rolandi, D., López, M. y Valeri, P. (2002). Viajes comerciales de intercambio en el departamento de Antofagasta de la Sierra, Puna meridional argentina: pasado y presente. *Redes – Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales* 2 (5): 1-24.

Gobbo, D., Iácona, L. A. y Iturriza, D. (2015). De lo analógico a lo digital. Línea de tiempo de un sitio arqueológico. En R. Raffino, L. A. Iácona, R. A. Moralejo, D. Gobbo y M. G. Couso (eds.) *Una capital Inka al sur del Kollasuyu: el Shincal de Quimivil*: 23-40. Buenos Aires, Fundación Azara.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. y Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202: 18-27.

Hocsman, S. (2006). Producción lítica, variabilidad y cambio en Antofagasta de la Sierra -ca. 5500-1500 AP-. Tesis Doctoral Inédita, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

Jimenez-Puerto, J., Orozco, T. y Diez, A. (2016). Trazando rutas en la Edad del Bronce turolense: perspectivas de trabajo. *Actas del 8th International congress of Archaeology, computer graphics, cultural heritage and innovation*: 445-448. Valencia, Editorial Universitat Politècnica.

Judge, J. W. y Sebastian, L. (1988). *Quantifying the Present and Predicting the Past: Theory, Method, and Application of Archaeological Predictive Modelling*. Denver, Bureau of Land Management.

Kohler, T. A. y Parker, S. C. (1986). Predictive models for Archaeological Resource Location. En M. B. Schiffer (ed.), *Advances in Archaeological Method and Theory*: 397-452. Nueva York, Academic Press.

Korstanje, A. (1998). El Médano, es un sitio caravanero? Apuntes sobre contextos de tráfico y territorialidad para el Formativo. En B. Cremonte (comp.), *Los Desarrollos Locales y sus Territorios*: 33-64. Jujuy, CREA.

Lepori, M. (2021). Arte rupestre y vías de circulación en los valles altos catamarqueños. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano-Series Especiales* 9 (1): 304-320.

Llobera, M. (2006). Arqueología del paisaje en el siglo XXI: reflexiones sobre el uso de los SIG y los modelos matemáticos. En I. Grau Mira (ed.), *La aplicación de los SIG en la Arqueología del Paisaje*: 109-124. Alicante, Universidad de Alicante.

Marconetto, B., Burry, S., Palacio, P., Somoza, M., Trivi, M., Lindsoug, H. y D'Antoni, H. (2015). Aporte a los estudios paleoambientales del valle de Ambato (Catamarca) a partir de la reconstrucción del paleo NDVI (442-1998 AD). *Mundo de Antes* 9: 45-68.

Martel, A. (2010). Arte rupestre de pastores y caravaneros: estudio contextual de las representaciones rupestres durante el período Agroalfarero tardío (900 d.C.-1480 d.C.) en el Noroeste argentino. Tesis Doctoral Inédita, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.

Martel, A. (2014). Aguas Calientes. Evidencias directas de tráfico caravanero entre la Puna meridional y el Valle Calchaquí. *Estudios Sociales del NOA* 13: 103-124.

Martel, A., Zamora, D. y Lepori, M. (2017). Tráfico y movilidad caravanera en la Puna catamarqueña. Una mirada intermodal. *Estudios Atacameños, Revista de Arqueología y Antropología Surandina* 56: 197-223.

Mignone, P. (2011). Empleo de Sistemas de Información Geográfica en el estudio de "montañas sagradas": el nevado de Acay y sus cuencas hidrográficas adyacentes. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXXVI*: 123-148.

Mignone, P. (2019). Empleo del modelado predictivo de Sistemas de Información Geográfica para el hallazgo de caminos con componentes incaicos entre el valle de Lerma y la quebrada de Escoipe, Salta-Argentina. *Anales de Arqueología y Etimología* 74 (2): 107-126.

Mignone, P. (2022a). Del Qhapac Ñan al Camino del Pirú. Cambios, rupturas y continuidades en las redes de interacción socio-espaciales de Salta, Argentina, entre los siglos XV y XIX. *Mundo de Antes* 16 (2): 143-180.

Mignone, P. (2022b). Minas, tambos, centros administrativos y montañas en red. Análisis de las interacciones socio-espaciales en el Norte argentino durante el Tahuantinsuyu. *Ñawpa Pacha*, <https://doi.org/10.1080/00776297.2022.2058454>

Moralejo, R. A. (2011). Los Inkas al sur del Valle de Hualfín: organización del espacio desde una perspectiva paisajística. Tesis Doctoral Inédita, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

Moralejo, R. A. y Aventín Moretti, M. (2015). Los estudios de vialidad en el Shincal de Quimivil. En R. Raffino, L. A. Iácona, R. A. Moralejo, D. Gobbo y M. G. Couso (eds.), *Una capital Inka al sur del Kollasuyu: el Shincal de Quimivil*: 105-126. Buenos Aires, Fundación Azara.

Morales, H., Garcés, A., González, L., Dibona, G., Vilches, J. C. y Azócar, R. (2019). Del viaje familiar hasta los grandotes: Mercancías, comunidad y frontera en la puna atacameña del siglo XX. *Diálogo Andino* 59: 21-35.

Negre Pérez, J. (2014). Implementación de Redes Neuronales Artificiales en el diseño de modelos predictivos de expectativa arqueológica. *Mapping* 23 (165): 4-16.

Nielsen, A. (2006). Estudios internodales e interacción interregional en los Andes circumpuneños: teoría,

método y ejemplos de aplicación. En H. Lechtman (ed.), *Esferas de Interacción Prehistóricas y Fronteras Nacionales Modernas: Los Andes Sur Centrales*: 29-62. Lima, Instituto de Estudios Peruanos - Institute of Andean Research.

Nielsen, A. (2017). Actualidad y potencial de la arqueología intermodal surandina. *Estudios Atacameños. Revista de Arqueología y Antropología Surandina* 56: 299-317.

Núñez Srytr, M. (2011). Rutas, viajes y convidados: territorialidad peineña en las cuencas de Atacama y Punta Negra. En L. Núñez y A. Nielsen (eds.), *En Ruta. Arqueología, Historia y Etnografía del Tráfico Sur Andino*: 373-398. Córdoba, Encuentro Grupo Editor.

Parcerou-Oubiña, C. (2018). Mapeando experiencias: SIG y arqueología en el paisaje. En L. Flores Blanco (ed.) *Lugares, Monumentos, Ancestros. Arqueologías de paisajes andinos y lejanos*: 55-70. Lima, Avqi Ediciones.

Pimentel, G. (2013). Redes Viales Prehispánicas en el Desierto de Atacama. Viajeros, Movilidad e Intercambio. Tesis Doctoral Inédita, Universidad Católica del Norte y Universidad de Tarapacá.

Saintenoy, T., Ajata, R., Romero Guevara, L. y Sepúlveda, M. (2017). Arqueología del territorio aldeano prehispánico tardío en los altos de Arica: aportes de la fotointerpretación satelital para el estudio regional de la cuenca alta de Azapa. *Estudios Atacameños* 54: 85-110.

Troll, C. (1980). Las culturas superiores andinas y el medio geográfico. *Allpanchis* 12 (15): 3-55.

Tucker, C. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8 (2): 127-150.

Warren, R. E. y Asch, D. L. (2000). A predictive model of archaeological site location in the Eastern Prairie Peninsula. En K.L. Wescott y R. Joe Brandon (eds.) *Practical Applications of GIS for Archaeologists. A predictive modeling toolkit*: 6-36. Londres, Taylor & Francis.

Weber, D., Schaepman-Strub, G. y Ecker, K. (2018). Predicting habitat quality of protected dry grasslands using LANDSAT NDVI phenology. *Ecological Indicators* 91: 447-460.

Wescott, K. L. y Joe Brandon, R. (eds.) (2000). *Practical Applications of GIS for Archaeologists. A Predictive Modeling Toolkit*. Londres, Taylor & Francis.

Zamora, D. (2022). Arqueología e historia oral de la vida internodal en la Puna catamarqueña (Argentina). *Mundo de Antes* 16 (1): 223-252.

Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y. y Gong, P. (2021). Progress and Trends in the Application of Google Earth and Google Earth Engine. *Remote Sensing* 13 (18), 3778. <https://doi.org/10.3390/rs13183778>