

RESEARCH REPORT

**CULTIVO DEL AGUACATE EN MICHOACÁN Y PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO: APLICACIÓN DEL LIDAR EN TINGAMBATO, MÉXICO**

*Avocado Cultivation in Michoacan and Archaeological Heritage: Application of LiDAR in Tingambato, Mexico*

*José Luis Punzo Díaz*

Instituto Nacional de Antropología e Historia, Centro INAH Michoacán, Morelia, México  
(✉ [jose\\_punzo@inah.gob.mx](mailto:jose_punzo@inah.gob.mx))

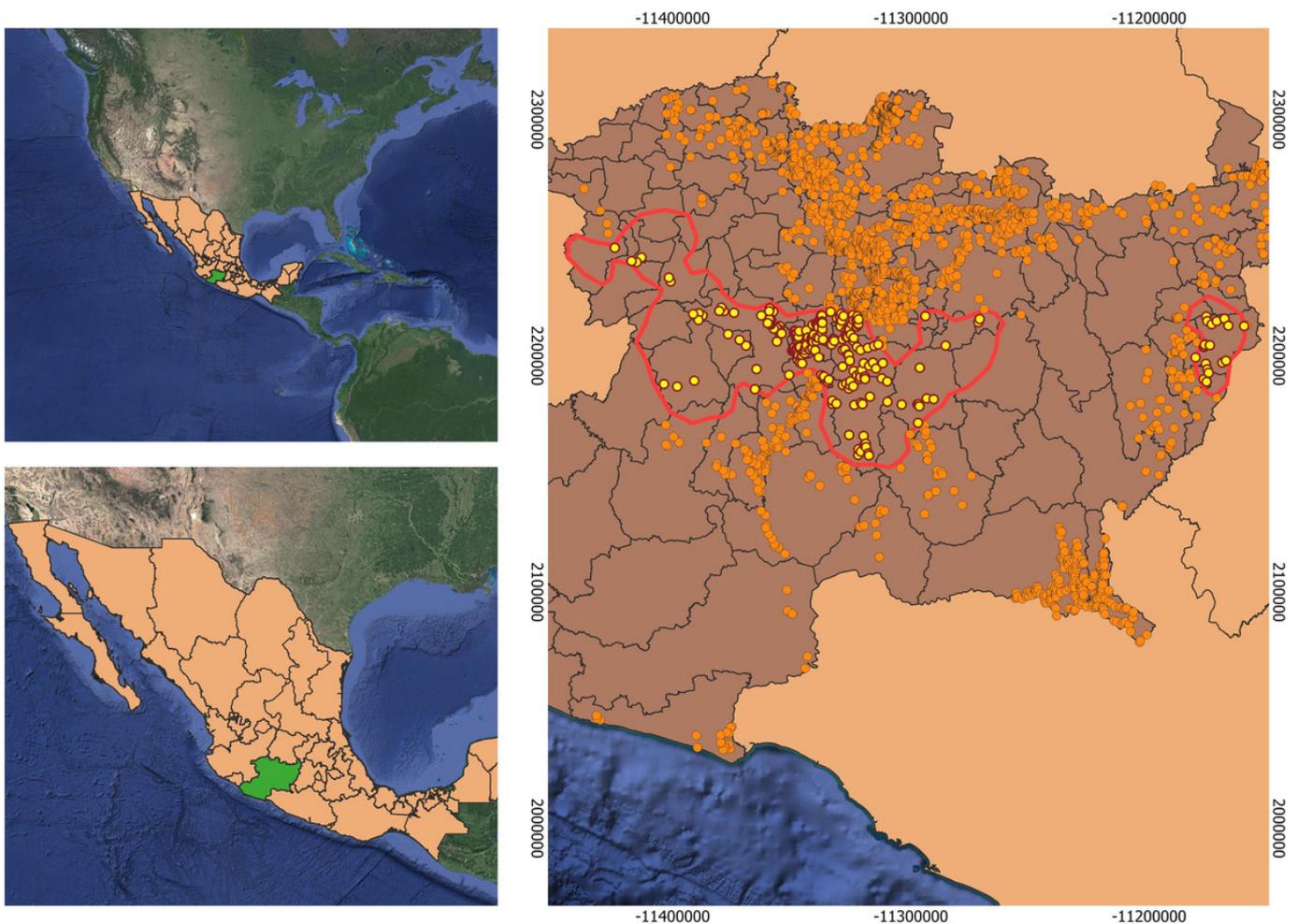


Figura 1. Ubicación del estado de Michoacán, su franja aguacatera y los sitios arqueológicos registrados.

**RESUMEN.** *En el presente informe se muestra un primer mapa del sitio arqueológico de Tingambato, el cual se encuentra en el centro de la franja aguacatera de Michoacán, México. Se aborda la problemática sobre la afectación de este cultivo al patrimonio arqueológico y las posibles aplicaciones de la tecnología LiDAR para su conservación.*

*Recibido: 27-6-2023. Aceptado: 10-7-2023. Publicado: 15-7-2023.*

Edited & Published by Pascual Izquierdo-Egea. Arqueol. Iberoam. Open Access Journal.  
License CC BY 3.0 ES. <https://n2t.net/ark:/49934/303>. <https://purl.org/aia/5202>.

**PALABRAS CLAVE.** *LiDAR; arqueología del Occidente de México; arqueología tarasca; conservación; paisaje; aguacate; Michoacán; Tingambato; México.*

**ABSTRACT.** *This report shows a first map of the Tingambato archaeological site, which is located in the center of the avocado belt of Michoacan, Mexico. It addresses the problem about the impact of this crop on the archaeological heritage and the possible applications of LiDAR technology for its conservation.*

**KEYWORDS.** *LiDAR; archaeology of western Mexico; Tarascan archaeology; conservation; landscape; avocado; Michoacan; Tingambato; Mexico.*

## INTRODUCCIÓN

México es un país que cuenta con una enorme riqueza patrimonial, la cual se encuentra resguardada por distintas dependencias del Gobierno Federal; sin embargo, dicha tarea es titánica y estas últimas se ven desbordadas en muchas ocasiones.

En este informe se presenta la problemática entre la conservación del patrimonio arqueológico y el crecimiento del cultivo del aguacate en Michoacán (figura 1). Es importante considerar que México produce el 34 % del aguacate a nivel mundial y exporta el 80 % de su producción a los Estados Unidos de América (EUA) y a otros 30 países (Alarcón 2020). El 87 % del aguacate que los EUA importan proviene de Michoacán (Cho 2020). En un solo evento como la *Super Bowl* se consumen en los EUA unas 5000 toneladas de aguacate mexicano.

### El problema del aguacate en Michoacán

El aguacate es, sin duda, uno de los cultivos que revisten mayor importancia en el estado de Michoacán. Sin embargo, pese a las ventajas económicas y el desarrollo de ciertos sectores, existe un amplio número de problemas que se asocian a dicho cultivo debido al alto valor del producto en el mercado internacional.

El crecimiento exponencial de la superficie cultivada en las últimas dos décadas ha traído como problema más evidente la enorme pérdida de superficie forestal, la contaminación de los suelos por el uso de agroquímicos, el abatimiento de las fuentes de agua en la región, la violencia y la inseguridad entre otras (Alarcón 2020).

Podríamos categorizar en dos apartados principales las afectaciones debidas a este crecimiento desmedido, y muchas veces ilegal, en el establecimiento de nuevas huertas: el medio ambiental y el social. Así, la demanda de aguacate ha provocado la expansión de la franja

aguacatera en varios estados mexicanos, pero este fenómeno es, sin duda, más acentuado en Michoacán. En la Meseta Purépecha, entre 1990 y 2016, se ha triplicado la superficie de tierra destinada al cultivo del aguacate (De la Vega-Rivera y Merino-Pérez 2021). Esto tiene un impacto negativo sobre los ecosistemas locales, la biodiversidad y la calidad del suelo.

De igual forma, el uso desmedido del agua para el riego de las huertas de aguacate ha generado fuertes tensiones en las comunidades donde este recurso es cada vez más escaso. Además, la proliferación de ollas para la captación de agua no permite la recarga normal de los mantos acuíferos; esto, evidentemente, impacta de forma directa sobre el uso del agua para otras actividades productivas, la desaparición de arroyos, la recarga de lagos y el acceso al agua de los pobladores. Por consiguiente, la huella hidrológica del cultivo del aguacate es mucho mayor que la de los cultivos tradicionales que ha suplantado, como el del maíz (Gómez-Tagle *et al.* 2022).

Si bien se reconoce que este cultivo ha generado importantes beneficios económicos, también han sido muy fuertes los impactos sociales. Entre estos podemos enumerar el robo y extorsión relacionados con la industria aguacatera —tanto a productores o distribuidores como a transportistas— y la infiltración del narcotráfico. Asimismo, debido a estas situaciones, muchos pequeños productores o habitantes de las regiones han tenido que emplearse como peones, con frecuencia en condiciones de trabajo muy poco favorables. Estas condiciones, aunadas al uso excesivo de agroquímicos que ayuden a sostener el monocultivo del aguacate *Hass*, han tenido un fuerte impacto en la salud.

### Cultivo del aguacate y patrimonio arqueológico

Uno de los aspectos poco vistos de estos procesos de transformación del paisaje en Michoacán tiene que ver



Figura 2. Zona arqueológica de Tingambato y huertas de aguacate aledañas.

con la afectación del patrimonio arqueológico. A partir del estudio realizado en 2011 (Morales-Manilla *et al.* 2012) y de los datos disponibles sobre la expansión aproximada de la franja aguacatera en Michoacán, hemos identificado un total de 245 sitios arqueológicos que se encuentran en esta, registrados en 24 municipios. Esto es solo una fracción del universo, ya que en esta franja hay grandes espacios que han sido prospectados arqueológicamente; además, reportes recientes del Centro INAH Michoacán han mostrado que hay impactos importantes por el establecimiento de nuevas huertas en otros municipios, como en el caso de Zacapu, el cual tiene una enorme densidad de vestigios arqueológicos.

Es importante comentar que se han dado casos de éxito trabajando con los dueños de las huertas y con las comunidades para proteger el patrimonio arqueológico que se halla en estas. Destacan los trabajos en Urapa, municipio de Ario, donde se ha podido proteger un importante basamento, y en Tacámbaro, donde fue posible detener el avance de las huertas en zonas de monumentos arqueológicos.

### EL ESTUDIO DE LA ZONA ARQUEOLÓGICA DE TINGAMBATO MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR Y SU ENTORNO AGUACATERO

La zona arqueológica de Tingambato (figura 2) se encuentra en el centro de la franja aguacatera de Michoacán (figura 1), en uno de los entornos más propicios para este cultivo. Albergó una gran población prehispánica que tuvo su auge entre el año 1 y el 800 DC, la cual construyó grandes pirámides, plazas, patios hundidos, canchas de juegos de pelota e impresionantes y fastuosas tumbas (Punzo 2022).

La zona arqueológica se comenzó a trabajar a finales de los años setenta del siglo XX. Fue en esos momentos cuando se empezaron a sembrar las primeras huertas de aguacate en la región, dejándola completamente rodeada. Incluso el montículo más grande se localiza dentro de una huerta privada. Esto ha limitado el acceso para el registro de vestigios arqueológicos en superficie, ya que en muchas ocasiones ha sido imposible entrar en las huertas de aguacate para poder verificar la

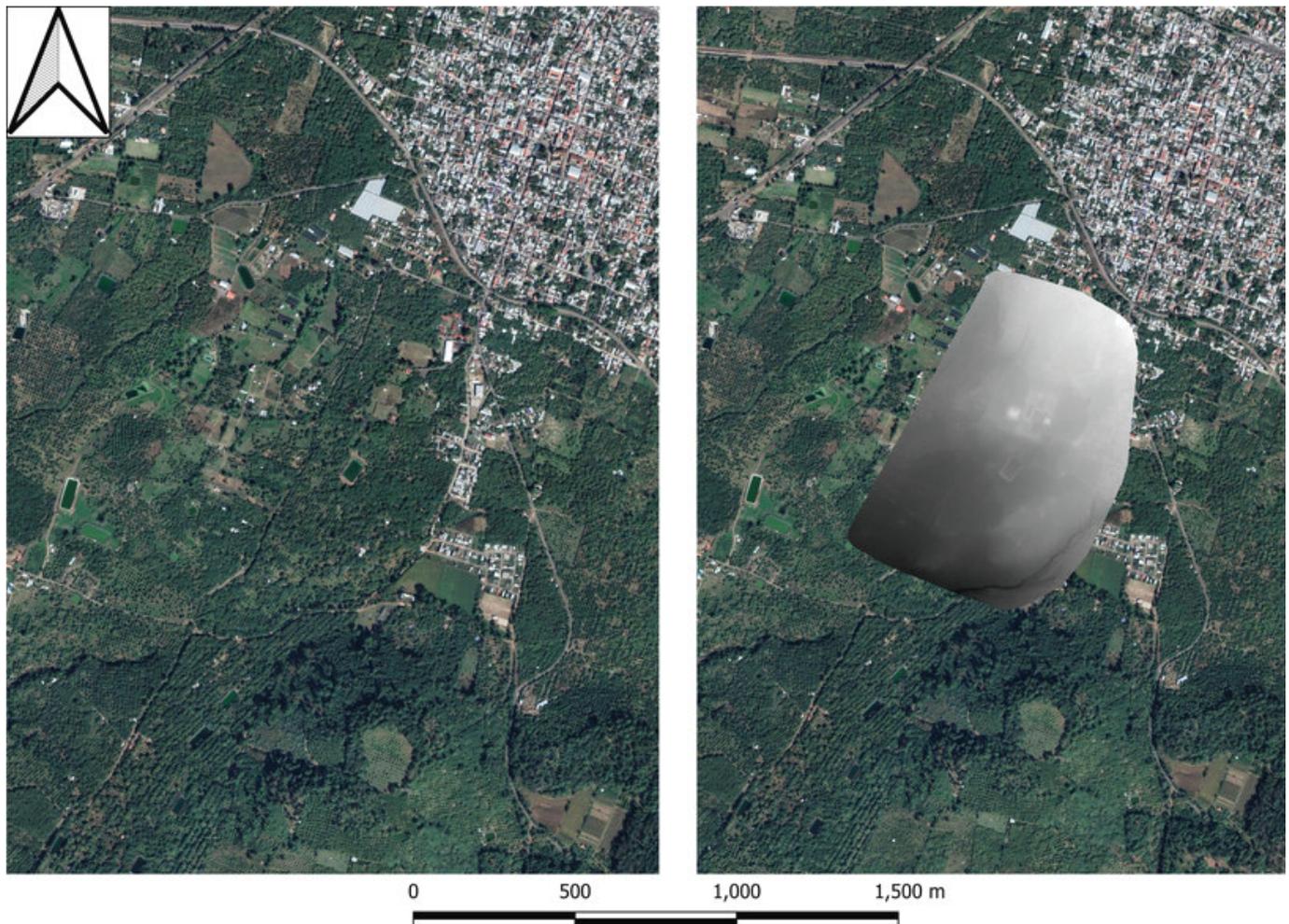


Figura 3. Imagen de satélite y área cubierta con el LiDAR.

presencia de estructuras antiguas. Todos los trabajos que se han venido realizando en la zona arqueológica se han centrado únicamente en la pequeña área abierta al público que concentra la mayoría de sus edificios antiguos.

Sin embargo, el estudio intensivo de esta zona en los últimos 10 años, a través de extensos análisis geofísicos y excavaciones arqueológicas, nos ha mostrado que hay una gran cantidad de vestigios arquitectónicos, enterrados hasta los cuatro metros de profundidad (Punzo 2022).

Debido a esta situación, pese a los más de 40 años de haberse iniciado los trabajos, solamente existía un mapa de la zona central del asentamiento, por lo que no conocíamos realmente el tamaño del mismo. En este sentido, en los últimos años hemos realizado diversos intentos para solucionar este problema y poder disponer de mayores herramientas, tanto para la investigación del sitio como para su cuidado.

Finalmente, en 2022 logramos realizar un vuelo con RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) *Matrice 300* RTK equipado con un sensor LiDAR *Zenmuse L1*. Las

nubes de puntos resultantes poseen tres retornos y tienen una precisión vertical de 5 cm y horizontal de 10 cm. Esta tecnología permitió tener por primera vez la posibilidad de conocer el terreno, ya que mediante la clasificación de la nube de puntos y distintos procesos en esta es posible eliminar la vegetación, en este caso los árboles de aguacate de las huertas vecinas.

Esta adquisición LiDAR se hizo en un área de 75 ha (figura 3) y las nubes de puntos obtenidas de esta zona presentaron una densidad de 600 puntos por metro cuadrado, resultando en modelos de muy alta calidad (figura 4). Gracias a la aplicación de esta tecnología y a los recorridos de verificación ha sido posible conocer que la zona arqueológica de Tingambato abarcó cerca de 90 hectáreas.

## CONSIDERACIONES FINALES

Si bien lo aquí presentado no es más que un solo ángulo del potencial que tiene el estudio LiDAR en una

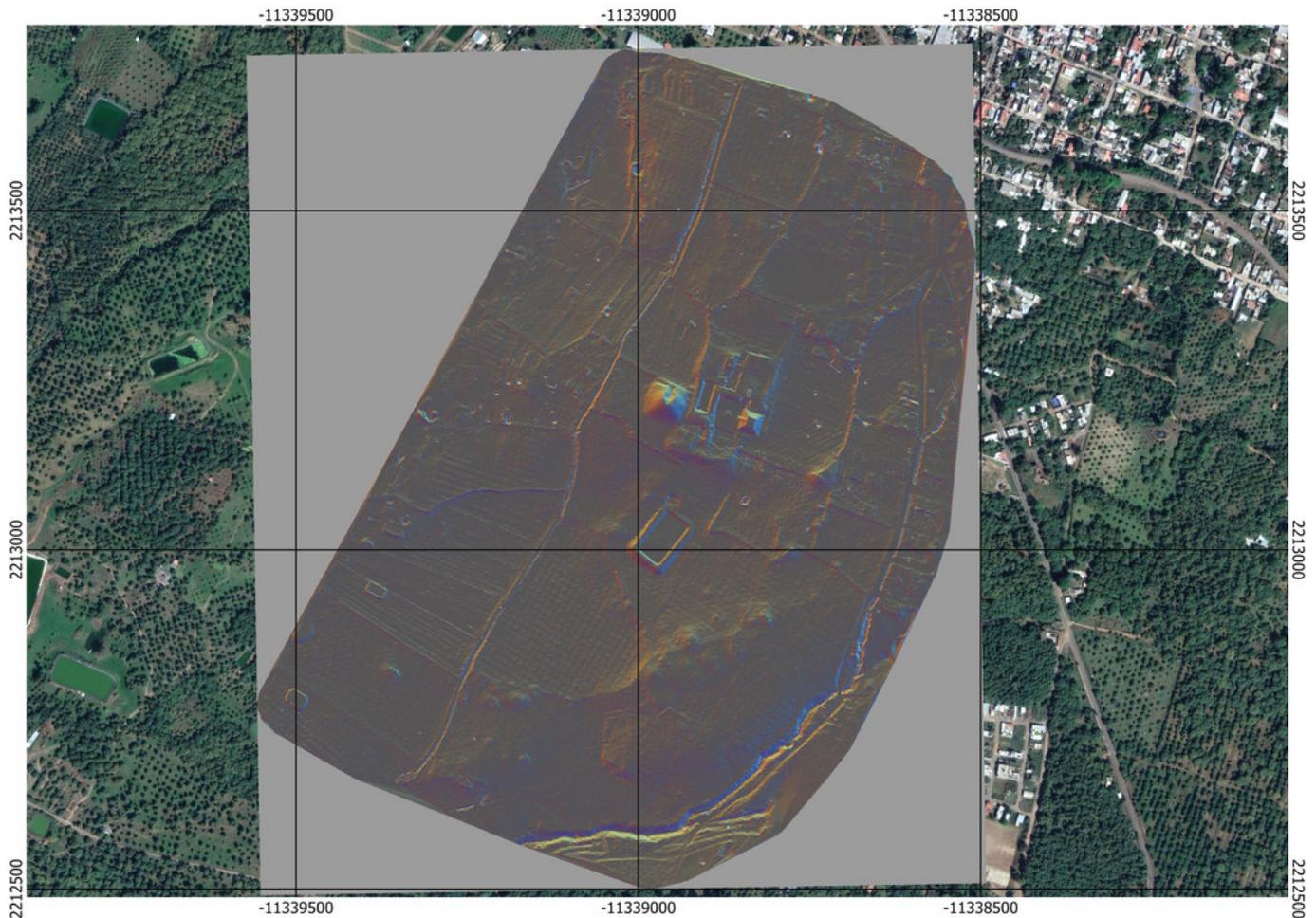


Figura 4. Los modelos digitales de terreno (MDT) resultantes de las nubes de puntos procesadas tienen una resolución de 7 cm por píxel. Con estos MDT se realizaron diferentes análisis del terreno, modelos de pendiente (*slope*) y de sombreado digital multidirección.

zona arqueológica, es importante recalcar la importancia que tiene el uso de esta tecnología para la conservación del patrimonio arqueológico en países como México, que acusa fuertes transformaciones en cuanto a la infraestructura y la explosión de monocultivos que están generando profundas alteraciones en el paisaje.

Aunque aquí solamente se presenta el caso del aguacate mexicano, el cual es sin duda muy grave y emblemático, este problema también está creciendo, de forma acelerada, en otros países como Colombia o Perú, lugares con un rico patrimonio cultural edificado que seguramente está siendo impactado con fuerza, como ocurre en México.

Sin embargo, esto no es un problema aislado, tenemos ejemplos de la explosión en el cultivo de distintos tipos de magueyes que alimentan la industria tanto del tequila como la creciente demanda que ha tenido el mezcal. También es muy marcado este problema en el cultivo de frutilla —arándanos, zarzamoras, fresas y

frambuesas— en Michoacán, Guanajuato y Jalisco. Este cultivo necesita condiciones especiales que implican la construcción de túneles de plástico y riegos que modifican completamente la topografía y afectan de manera muy fuerte a los vestigios arqueológicos que se encuentran en dichos terrenos.

Por lo tanto, el uso de nuevas tecnologías como la aquí presentada deberá ser una herramienta más ampliamente difundida y usada para la protección del patrimonio arqueológico, ya que en un país como México, con una riqueza y diversidad arqueológica donde hasta 2022 se han registrado 67042 sitios arqueológicos en total, los recursos humanos y económicos nunca son suficientes.

Mientras no baje la demanda de los mercados en Estados Unidos y en Europa, especialmente en los Países Bajos, España, Alemania y Reino Unido, que son en ese orden los mayores importadores de aguacate, en los países productores se tendrán que adoptar acciones y

políticas públicas que permitan conservar el patrimonio natural y cultural.

### Agradecimientos

El autor agradece el financiamiento a CONAHACYT, proyecto A1-S-42462; a Fernanda Navarro por su trabajo con los modelos y a DJI México y José Luis Gallardo por todo el apoyo prestado.

### Sobre el autor

JOSÉ LUIS PUNZO DÍAZ (*jose\_punzo@inah.gob.mx*) es Licenciado y Doctor en Arqueología por la ENAH. Actualmente es investigador de tiempo completo del INAH. Entre sus líneas de investigación, destaca la aplicación de tecnologías computacionales en arqueología.

### REFERENCIAS

- ALARCÓN-CHÁIRES, P. 2020. Aguacate: el desierto verde mexicano. *Diálogos Ambientales* 1, 1: 47-52.
- CHO, K. 2020. *Environmental Impacts of the U.S.-Mexico Avocado Supply Chain*. MS Thesis. University of Michigan.
- DE LA VEGA-RIVERA, A.; L. MERINO-PÉREZ. 2021. Socio-Environmental Impacts of the Avocado Boom in the Meseta Purépecha, Michoacán, Mexico. *Sustainability* 13, 13: 7247. <<https://doi.org/10.3390/su13137247>>.
- GÓMEZ-TAGLE, A. F.; A. GÓMEZ-TAGLE; D. J. FUERTE-VELÁZQUEZ; A. G. BARAJAS-ALCALÁ; F. QUIROZ-RIVERA; P. E. ALARCÓN-CHÁIRES; H. GUERRERO-GARCÍA-ROJAS. 2022. Blue and Green Water Footprint of Agro-Industrial Avocado Production in Central Mexico. *Sustainability* 14, 15: 9664. <<https://doi.org/10.3390/su14159664>>.
- MORALES-MANILLA, L. M.; A. REYES-GONZÁLEZ; G. CUEVAS-GARCÍA; M. ONCHI-RAMUCO. 2012. *Inventario 2011 del cultivo del aguacate y evaluación del impacto ambiental forestal en el estado de Michoacán*. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM-COFUPRO. Morelia, Michoacán. 108 pp.
- PUNZO-DÍAZ, J. L. 2022. Revisitando las exploraciones arqueológicas en el sitio de Tingambato, Michoacán: nuevos datos, nuevas tecnologías. *Latin American Antiquity* 33, 1: 79-96. <<https://doi.org/10.1017/laq.2021.65>>.