

RESEARCH ADVANCE

DELIMITACIÓN ESTRATIGRÁFICA DE TOLAS PREHISPÁNICAS EN LLALLAS LLACTA (SAN LUIS, ECUADOR) MEDIANTE EL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT) Y RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

Stratigraphic Delimitation of Pre-Hispanic Tolas in Llallas Llacta (San Luis, Ecuador) Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) and Electrical Resistivity

Mauro Jiménez-Granizo, Benito Mendoza-Trujillo, Pedro A. Carretero-Poblete, Erika Andino-Peñañiel, Jessica P. Paca-Paca, Marco S. Mayorga-López

Grupo de Investigación Puruhá, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador
(pcarretero@unach.edu.ec)

RESUMEN. Este trabajo muestra las estructuras estratigráficas de las lomas de Llallas Llacta para determinar la posible presencia de estructuras arqueológicas en ese sector. Para ello, se utilizaron imágenes de alta resolución conseguidas mediante un dron y procesadas con un SIG, permitiendo obtener una topografía con precisión de 30 cm. Además, se estudió la estratigrafía del suelo a través de la reconstrucción de los datos en 2D y 3D de las tomografías eléctricas de resistividad, lo cual permitió identificar estructuras mixtas; es decir, se muestra la avalancha del Chimborazo como base de las lomas y se hace evidente el relleno antrópico de esas bases con otro tipo de materiales.

PALABRAS CLAVE. Llallas Llacta; Ecuador; SIG; tomografía eléctrica; resistividad eléctrica.

ABSTRACT. This paper shows the stratigraphic structures of the Llallas Llacta hills in order to determine the possible presence of archaeological structures in that area. High resolution images, obtained with a drone and processed with a GIS, were used, resulting in a topography with an accuracy of 30 cm. In addition, the stratigraphy of the soil was studied through the reconstruction of 2D and 3D data from electrical resistivity tomography, which allowed the identification of mixed structures: the Chimborazo avalanche is shown as the base of the hills and the anthropic filling of these bases with other types of materials is evident.

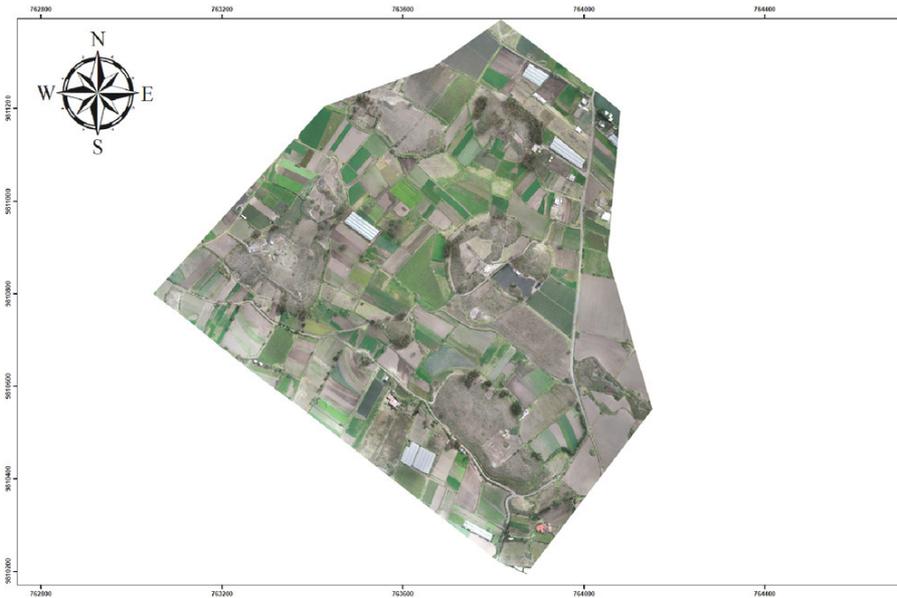
KEYWORDS. Llallas Llacta; Ecuador; GIS; electrical tomography; electrical resistivity.

INTRODUCCIÓN

Llallas Llacta (figura 1) pertenece a la comunidad La Inmaculada, integrada en la parroquia rural de San Luis del cantón Riobamba (Chimborazo, Ecuador). Cuen-

ta con 85 hectáreas de terreno donde se observan en superficie restos cerámicos, óseos y líticos de época prehispánica. En la actualidad, sus pobladores se identifican como indígenas, con una economía centrada en la agricultura. La zona de los cerros o tolas es un espacio

Recibido: 31-3-2021. Aceptado: 7-4-2021. Publicado: 15-4-2021.



Proyección Universal Transversa de Mercator UTM
Elipsoide y Datum Horizontal Sistema Geodésico Mundial WGS 1984
Zona 17 Sur

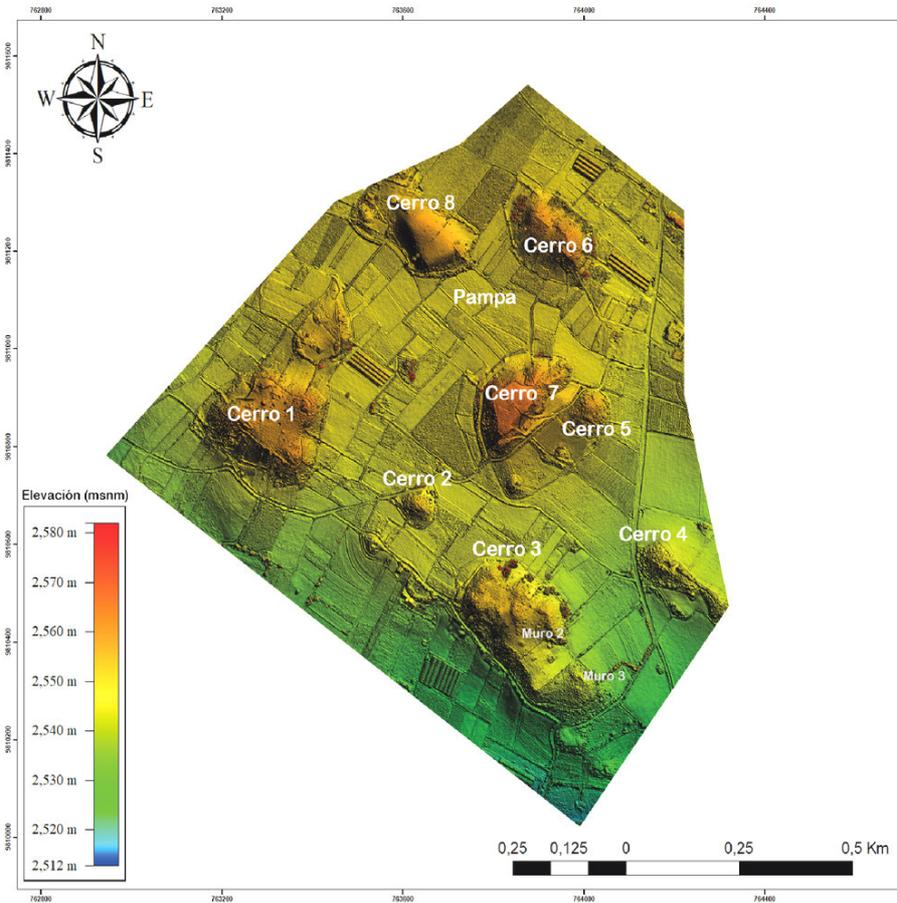
0,25 0,125 0 0,25 0,5 Km



Unach
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

MAPA DE UBICACION

PROYECTO	GRUPO DE INVESTIGACIÓN PURUHÁ
TEMA	UBICACIÓN
ESCALA	1:5.000
FUENTE	Elaboración Propia
Elaborado por:	Fecha:
Ing. Mauro Jiménez Granizo	20/10/2020



Unach
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

Tolas de Liallas Llacta (San Luis - Riobamba)

GRUPO DE INVESTIGACIÓN PURUHÁ	
ESCALA:	1:5.000
ELABORADO POR:	Ing. Mauro Jiménez Granizo
FECHA:	20/10/2020

Figura 1. Localización de los montículos o tolas de Liallas Llacta (San Luis, Riobamba).

de memoria ancestral que respetan en gran medida (Andino 2016).

La Inmaculada es un terreno llano, a excepción de los cerros o lomas objeto de estudio. Llallas Llacta debió de corresponder a la nación puruhá, que ocupó toda la provincia de Chimborazo y estuvo constituida por «treinta y cuatro pueblos» (Velasco 1789). Pérez (1970) menciona que San Luis perteneció a la mencionada nación y que Llallas era un sector de esta parroquia cuyos habitantes fueron súbditos de los puruhaes.

En cuanto a los puruhaes del área de Riobamba y cantones aledaños, aparte de las intervenciones arqueológicas de Jijón y Caamaño (1927), contamos con las realizadas en los últimos años por nuestro equipo de investigación: Carretero (2019), Mendoza *et al.* (2019), Carretero *et al.* (2018a), Carretero *et al.* (2018b), Carretero y Samaniego (2017), donde se muestra una serie de asentamientos puruhaes que irían desde el Formativo Tardío (800 a. C.) hasta la erupción del volcán Altar (1492), la conquista inca (c. 1500) y la española (1532).

METODOLOGÍA

Para el presente avance de investigación se han empleado dos metodologías complementarias. La adquisición de datos se realizó mediante la utilización de un equipo informático GNSS de alta precisión y un vehículo aéreo no tripulado (UAV en inglés) DJI Phantom 4 Pro V 2.0 con sensor de imagen rojo, verde y azul (RGB) de 1 pulgada y 20 megapíxeles, con obturador mecánico integrado y distancia focal de 8,8 mm. El flujo de trabajo metodológico constó de tres etapas. La primera involucró una labor en gabinete con la ayuda de *software* especializado en planificaciones de vuelo (*DroneDeploy*) para delimitar el área de estudio y configurar ciertos parámetros necesarios; la segunda etapa se realizó en el lugar de estudio e incluyó la medición de 5 puntos de control en tierra (GCP) con GNSS de alta precisión y el vuelo del VANT o UAV que se realizó al mediodía (12 p. m.) aprovechando la posición del sol para evitar las sombras de árboles, edificaciones y otros elementos; y la tercera etapa consistió en el procesamiento de las imágenes tomadas por el UAV utilizando *software* de posproceso (*Agisoft Photoscan*) y de SIG (*ArcGis*, *Global Mapper*), con lo que se generaron 4 productos: una nube de puntos, un modelo digital de elevación (DEM), curvas de nivel y un ortomosaico.

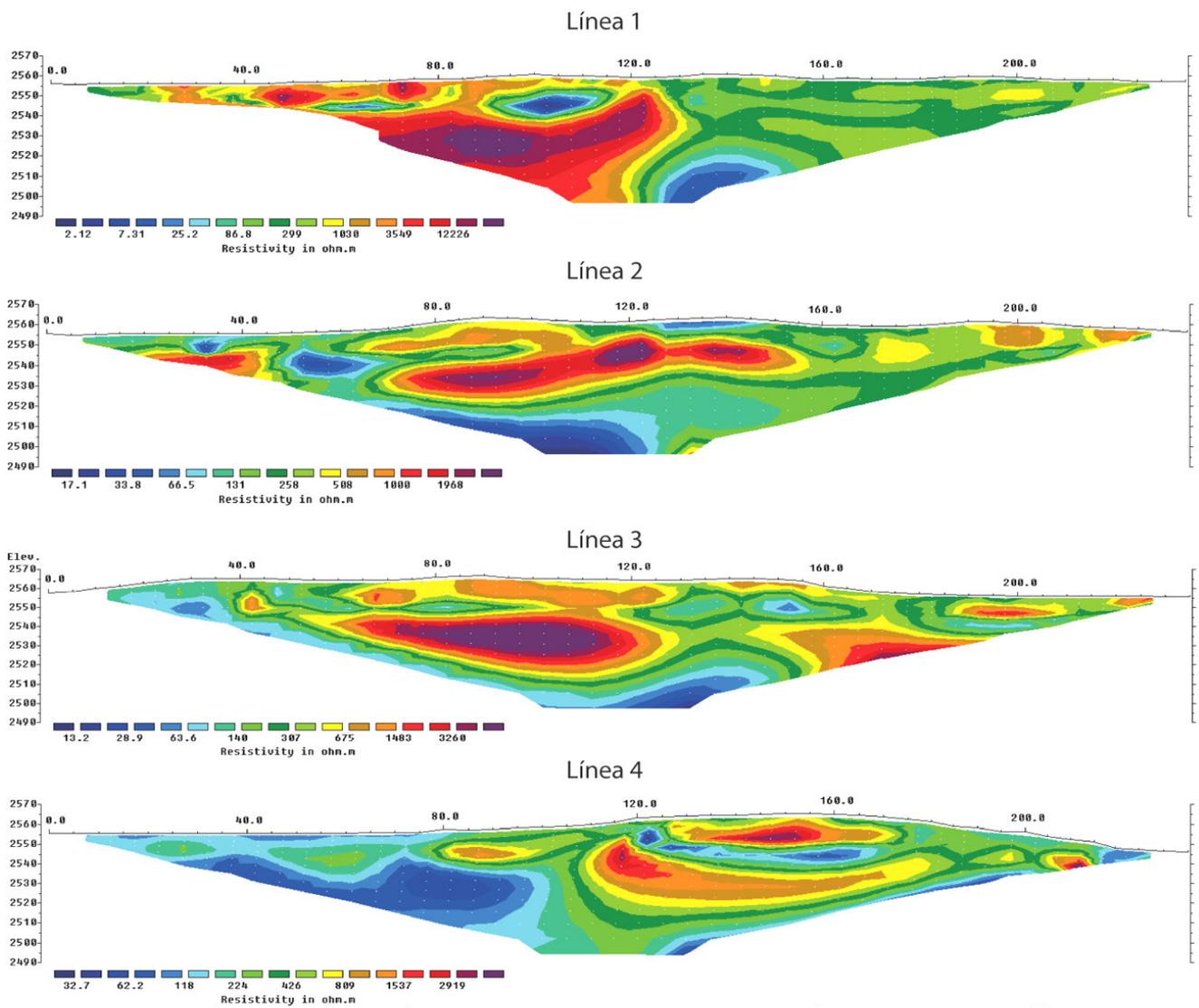
Para el trabajo de suelo, se utilizó el método geofísico de tomografía eléctrica de resistividad, ya que este

método permite obtener datos de resistividad eléctrica a diferentes profundidades, para emplear después modelización 2D empleando técnicas numéricas (elementos finitos o diferencias finitas) a fin de reconstruir la estratigrafía del terreno estudiado (Mendoza *et al.* 2019). Para obtener datos de estratigrafía mediante resistividad eléctrica, se debe considerar la distribución espacial de los electrodos. En este caso se utilizaron 4 electrodos: dos de corriente continua (A, B) que introducen un campo eléctrico en el terreno mediante un miliamperímetro; además, se conectan dos de potencial (M, N) a un milivoltímetro para medir la diferencia de potencial eléctrico (ΔV) entre esos dos puntos. A partir de ΔV es posible calcular el valor de la resistividad en el punto medio del dispositivo a una profundidad determinada (Li *et al.* 2018). El terreno en el que se realizó la medición tiene estructuras con pendientes, por lo que se utilizó la configuración dipolo-dipolo, ya que este método es capaz de detectar la presencia de cambios geológicos laterales en el subsuelo, tanto estructurales como litológicos y sedimentarios (fallas, diaclasas, fracturas) (Nero *et al.* 2016; Gao *et al.* 2018).

El desarrollo del trabajo tomográfico se realizó con el equipo *Syscal Pro* de *IRIS Instruments* (Mendoza *et al.* 2019). De acuerdo con Sasaki (1992), la técnica de inversión de datos idónea para los datos del método dipolo-dipolo es el método de mínimos cuadrados con restricción de suavidad. Los resultados de la inversión se interpretan utilizando las características de los materiales presentados por Bravo (2012). «Los modelos geoelectrónicos obtenidos se representan en mapas logarítmicos en 2D, extraídos de los resultados de la inversión en el *software RES2DINV*; la representación geoestadística en 3D se realiza en el *software Voxler*» (Mendoza *et al.* 2019).

RESULTADOS

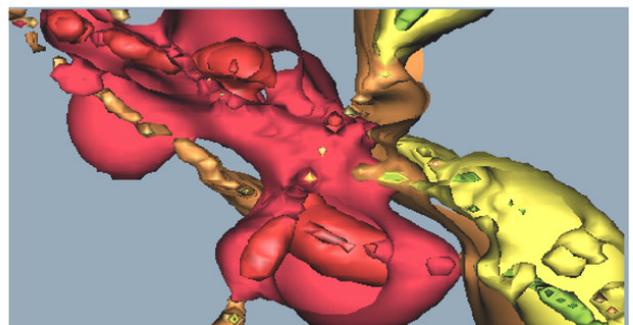
La configuración seleccionada para este estudio fue de una distancia entre electrodos de 5 m para, de esta manera, alcanzar los 60 m de profundidad; esto debido a que la altitud media de las estructuras en la zona de estudio es de 2575 m s. n. m. en la cima de tres lomas (cerro 1, cerro 7 y cerro 3), y en la base de las mismas es de 2560 m s. n. m. Con el objetivo de conocer las estructuras estratigráficas de estas lomas, se realizaron 9 líneas tomográficas (4 en el cerro 3, 3 en el cerro 1 y 2 en el cerro 7); además, se efectuó una tomografía en la base entre el cerro 1 y el cerro 7 para determinar



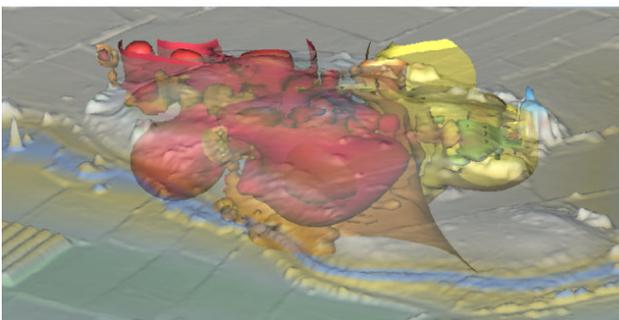
Vista aérea zona de estudio



Vista aérea estructuras geológicas



Vista aérea estructuras geológicas y zona de estudio



Vista lateral estructuras geológicas y zona de estudio

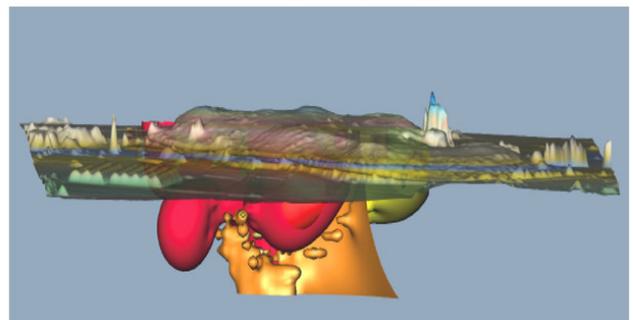


Figura 2. Reconstrucción estratigráfica en 2 y 3 dimensiones del cerro 3.

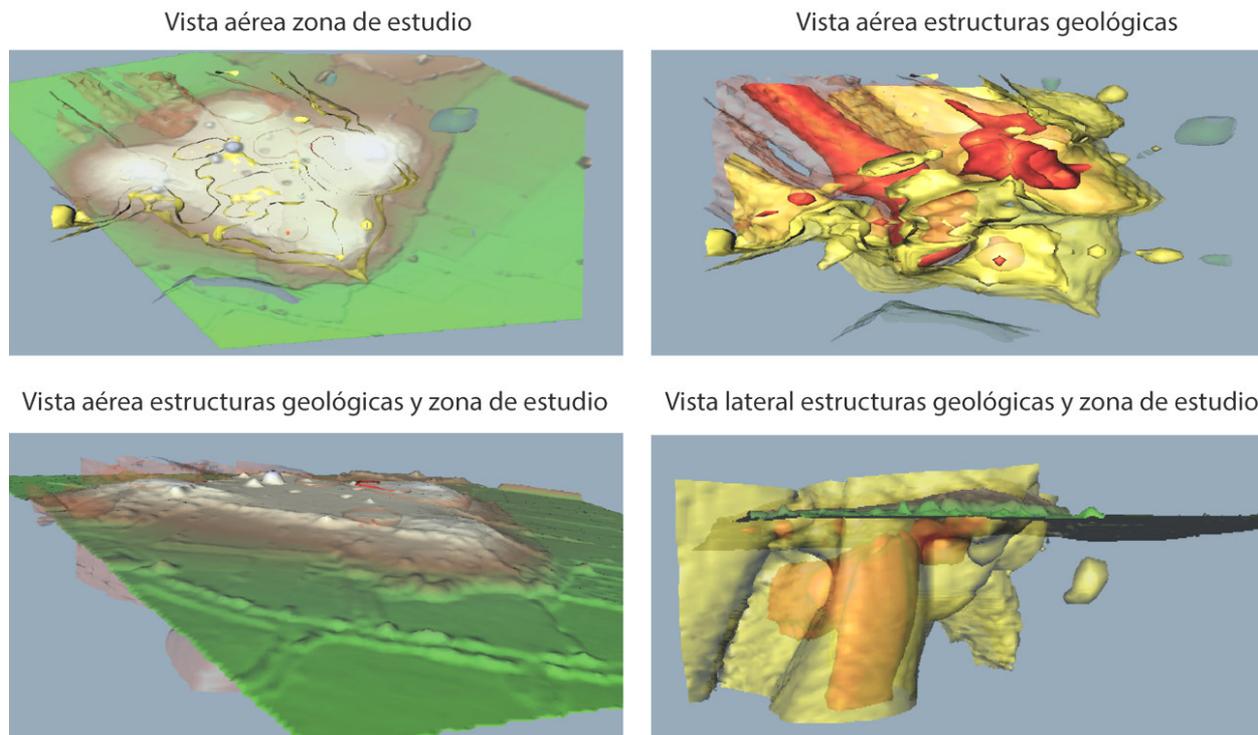
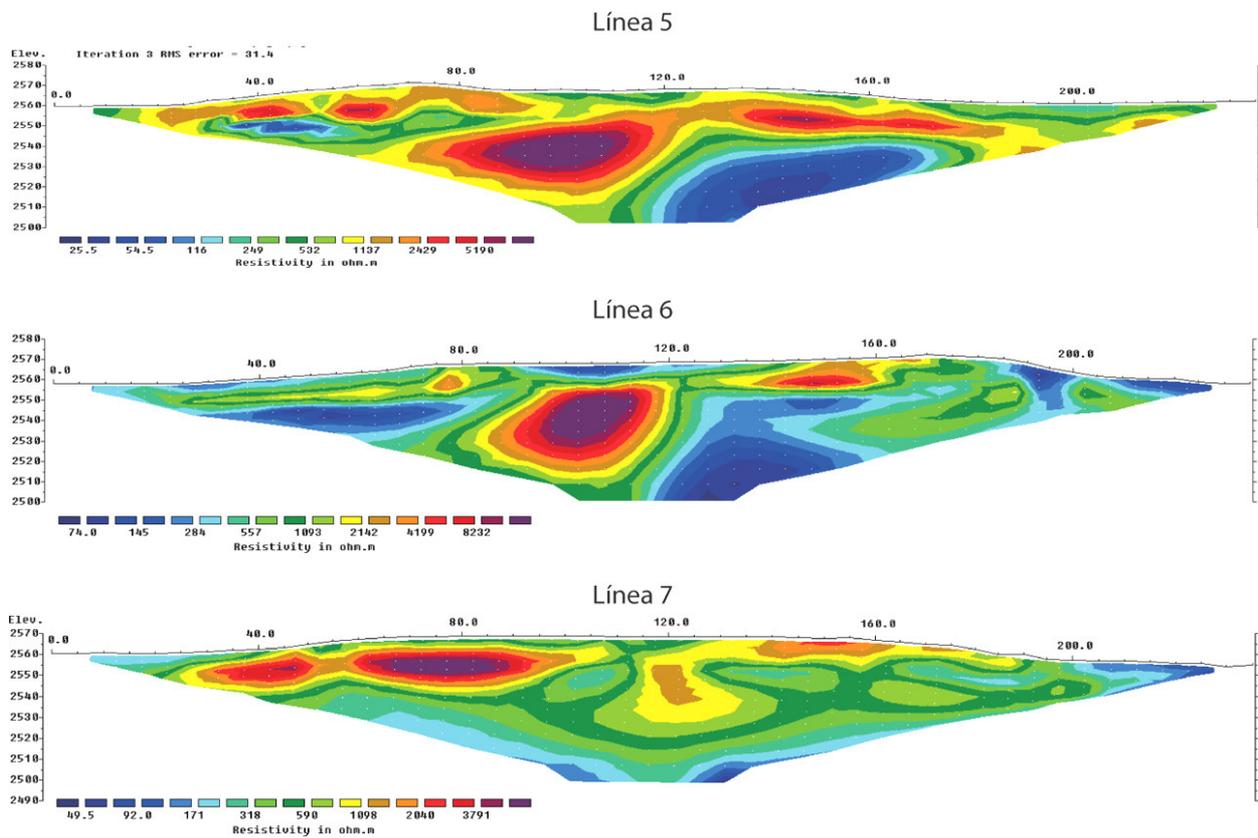


Figura 3. Reconstrucción estratigráfica en 2 y 3 dimensiones del cerro 1.

si existían diferencias en la estratigrafía del suelo. Se eligieron estas tres lomas porque eran las que más materiales arqueológicos cerámicos presentaban en superficie y las más significativas desde el punto de vista patrimonial para la comunidad.

Para comprender de mejor manera la estratigrafía del sector, la zona de estudio se encuentra en el límite de la formación Riobamba. Esta formación se caracteriza por la presencia de estratos horizontales de toba volcánica de dimensiones métricas, con tamaño de grano de ce-

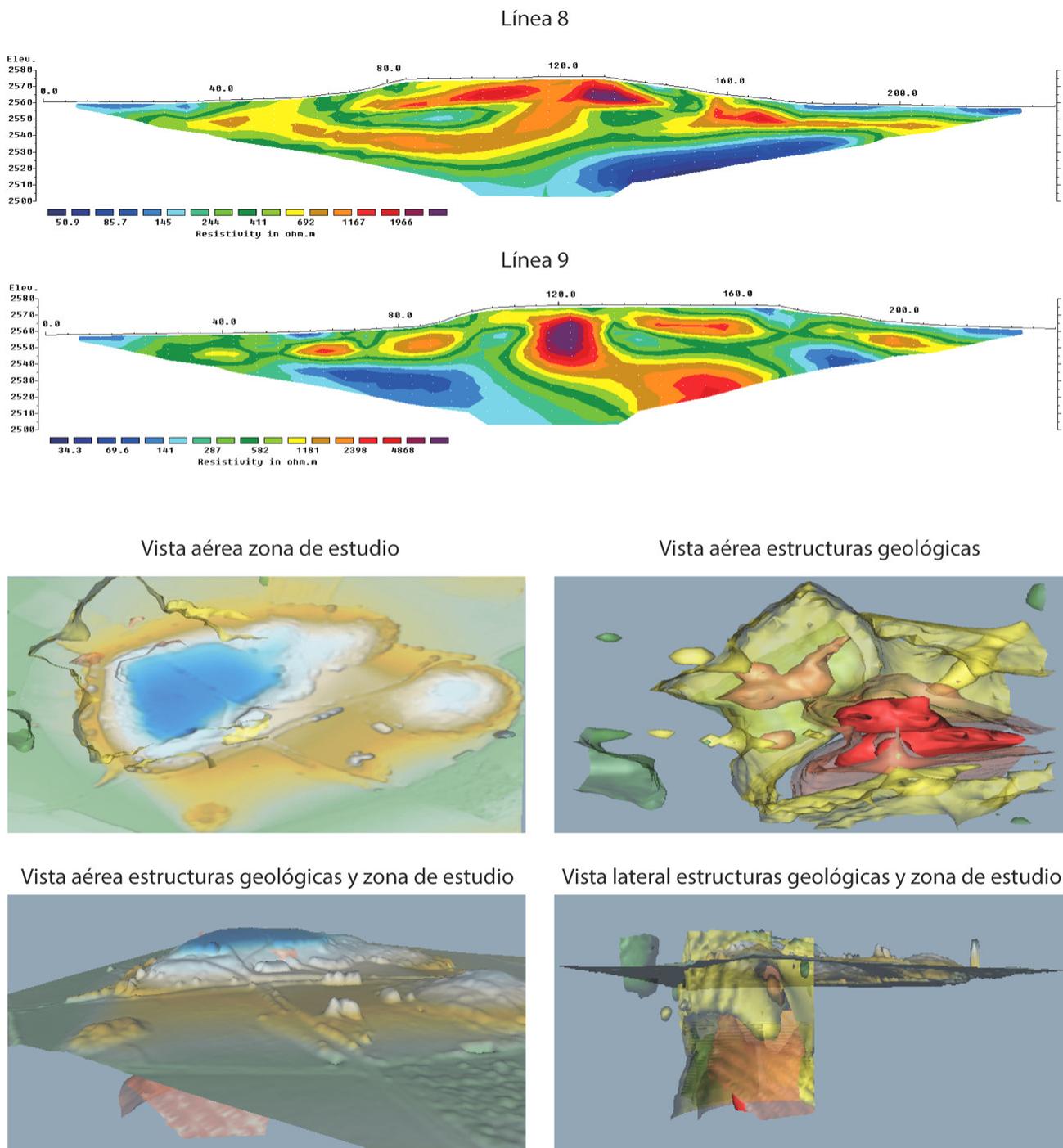


Figura 4. Reconstrucción estratigráfica en 2 y 3 dimensiones del cerro 7.

niza gruesa de color grisáceo café, con clastos de pómez. La datación de esta formación es de edad miocénica-pliocénica. En la misma zona se encuentra la avalancha del Chimborazo, que presenta una matriz arenosa limosa de color grisáceo a rojizo con clastos centimétricos a métricos de rocas andesíticas; en algunas zonas de esta avalancha se evidencian clastos fracturados, hasta cierto punto molidos por la acción de la fricción en el movimiento de la avalancha (Buenaño 2019). En ese sentido, Buenaño (2019) manifiesta que

las resistividades con valores de $1000 \Omega \cdot m$ corresponden a bloques andesíticos pertenecientes a la avalancha del Chimborazo, mientras que las resistividades bajas pertenecen a bloques andesíticos molidos y meteorizados por la acción de la avalancha.

Cerro 3

En la figura 2 se muestra la reconstrucción estratigráfica en 2 y 3 dimensiones del cerro 3. En ella apare-

cen resistividades que van desde 2 a 12 300 $\Omega\cdot\text{m}$. En el centro de la reconstrucción tomográfica 2D se puede ver la presencia de resistividades que oscilan entre 1000 y 12 000 $\Omega\cdot\text{m}$, evidenciando lo manifestado por Buenaño (2019). Se pueden interpretar como clastos andesíticos de gran magnitud. El resto de valores por debajo de 1000 corresponde a las tobas y las andesitas molidas, posiblemente debidas a depósitos o rellenos antrópicos. Esto es más visible en la reconstrucción en 3D, ya que se observa una estructura en el centro de la formación del cerro 3.

Cerro 1

El cerro 1 (figura 3) muestra similitud de las estructuras con el cerro 3. La reconstrucción estratigráfica presenta resistividades que varían entre 25 y 8250 $\Omega\cdot\text{m}$. Como se observa en la figura, la mayor resistividad aparece en el centro de la loma, con valores entre 1000 y 8250 $\Omega\cdot\text{m}$. De igual manera, cumple con lo descrito por Buenaño (2019), interpretando estos valores altos como clastos andesíticos de gran magnitud. El resto de valores por debajo de 1000 $\Omega\cdot\text{m}$ corresponde a tobas y andesitas molidas que pueden ser debidas a rellenos antrópicos. La reconstrucción estratigráfica en 3D muestra de mejor manera lo observado en las reconstrucciones en 2D.

Cerro 7

Las dos tomografías realizadas en el cerro 7 (figura 4) exhiben valores entre 34 y 5000 $\Omega\cdot\text{m}$ en el centro de la loma. La forma en cómo se muestran las estratigrafías en 2D evidencia la presencia de un bloque sólido en el centro de la loma y de pequeños bloques alrededor del mismo. Igualmente, esto se puede interpretar como la presencia de clastos andesíticos de gran magnitud. El resto de valores por debajo de 1000 $\Omega\cdot\text{m}$ corresponde a tobas y andesitas molidas. La reconstrucción estratigráfica en 3D muestra mejor lo observado en las reconstrucciones en 2D.

En las tres lomas estudiadas se puede observar la presencia, en el centro de las mismas, de una estructura con gran cantidad de resistividad eléctrica, es decir, con las características de un clasto andesítico de gran magnitud. Para corroborar que la información obtenida tiene concordancia, se realizó otra tomografía en la base, entre los cerros 1 y 7, donde había abundante cerámica. En esta se observa que las resistividades van desde



Figura 5. Cerámica puruhá e inca procedente del cerro 1, entregada por su propietaria para su documentación.

10 hasta 2000 $\Omega\cdot\text{m}$. Si bien presenta características similares en cuanto a su resistividad eléctrica, las lomas poseen valores más altos en las zonas centrales, lo cual sugiere que su estratigrafía está realizada en torno a un gran bloque central.

CONCLUSIONES

Las estructuras estudiadas en Llallas Llacta son lomas que tienen en el centro de las mismas resistividades altas, entre 1000 y 12 300 $\Omega\cdot\text{m}$. Las estructuras son similares entre sí y presentan diferencia del núcleo central respecto a la base donde se levantan las mismas. La forma y la disposición de estos clastos andesíticos de gran magnitud se pueden atribuir a la avalancha del Chimborazo producida en la edad miocénica-pliocénica (Buenaño 2019). Por otra parte, al estar muy expuestas en forma de lomas respecto al resto de la avalancha y la planicie que la rodea, se debe corroborar,

mediante una excavación arqueológica, que estas estructuras pudieron haber sido creadas artificialmente, de forma antrópica en época puruhá y ocupadas hasta la invasión inca, como así lo señalan las numerosas cerámicas que existen dispersas por la superficie del terreno (figu-

ra 5), pero con más concentración en las citadas lomas. Un estudio pormenorizado de los materiales arqueológicos recogidos en superficie nos dará más información en cuanto a las fases de ocupación de las lomas y los usos de las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDINO PEÑAFIEL, E. 2016. *Etnicidad, memoria y patrimonio arqueológico en los Andes ecuatorianos, Riobamba, Ecuador*. Tesis de maestría. FLACSO, Ecuador.
- BRAVO JIMÉNEZ, J. 2012. *Caracterización geológica-geotécnica de los movimientos de ladera de los sectores El Plateado y San Cayetano Bajo, con aplicación de tomografía eléctrica y técnicas GPS*. Tesis de grado. Universidad Técnica Particular de Loja.
- BUENAÑO LASCANO, P. A. 2019. *Análisis geológico y geofísico aplicado a la prospección hidrogeológica entre las localidades de Riobamba y Pungalá*. Tesis de grado. Quito, Pichincha, Ecuador.
- CARRETERO POBLETE, P. A. 2019. A propósito de un sitio arqueológico puruhá del periodo Formativo Tardío en el cerro Collay de Yaruquíes (Riobamba, Ecuador). *Arqueología Iberoamericana* 44: 66-68. <http://purl.org/aia/4408>. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3595481>.
- CARRETERO POBLETE, P. A.; W. M. SAMANIEGO ERAZO. 2017. Prospección arqueológica en el sitio Puruhá de Collay, Riobamba, Ecuador. *Arqueología Iberoamericana* 33: 18-26. <http://purl.org/aia/333>. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1319093>.
- CARRETERO POBLETE, P. A.; M. G. VANGA ARVELO; P. A. JINEZ LLANGARI; R. M. LLANGA ASITIMBAY. 2018a. Chaquiñán de Llugshirum (Flores): registro de caminos pedestres en territorio puruhá. *Arqueología Iberoamericana* 37: 3-12. <http://purl.org/aia/3701>. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3247841>.
- CARRETERO POBLETE, P. A.; S. P. HERRERA CISNEROS; M. G. VANGA ARVELO; N. SAGBA SAGBA; R. J. MARCATOMA GUAMINGA. 2018b. Los sitios arqueológicos puruhaes de la comunidad de Rumicruz (Calpi, Riobamba, Ecuador). *Arqueología Iberoamericana* 38: 14-24. <http://purl.org/aia/3802>. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3474383>.
- GAO, W.; L. SHI; J. HAN; P. ZHAI. 2018. Dynamic Monitoring of Water in a Working Face Floor Using 2D Electrical Resistivity Tomography (ERT). *Mine Water and the Environment* 37: 423-430.
- JIJÓN Y CAAMAÑO, J. 1927. *Puruhá. Contribución al conocimiento de los aborígenes de la provincia de Chimborazo de la República del Ecuador*. Quito: Tipografía y Encuadernación Salesianas.
- LI, M.; Z. ZHANG; D. C. NOBES; J. YANG. 2018. Integrated Geophysical Methods for Detecting Archaeological Han Dynasty Tombs. En *Archaeogeophysics*, eds. G. El-Qady y M. Metwaly, pp. 125-135. Cham: Springer.
- MENDOZA, B.; P. A. CARRETERO POBLETE; J. M. LOAIZA PEÑAFIEL; G. O. PEÑAFIEL BARROS; L. A. TUAZA CASTRO; M. A. OSORIO RIVERA. 2019. Localización de elementos arqueológicos en la necrópolis puruhá de Payacucha (Rumicruz, Riobamba, Ecuador) mediante análisis de tomografía eléctrica. *Arqueología Iberoamericana* 43: 12-19. <http://purl.org/aia/4302>. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3478392>.
- NERO, C.; A. A. ANING; S. K. DANUOR; R. M. NOYE. 2016. Delineation of graves using electrical resistivity tomography. *Journal of Applied Geophysics* 126: 138-147.
- PÉREZ, A. R. 1970. *Los puruhayes*. Quito: Editorial Casa de la Cultura Ecuatoriana.
- SASAKI, Y. 1992. Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. *Geophysical Prospecting* 40, 4: 453-463.
- VELASCO, J. DE. 1789. *Historia del reino de Quito en la América meridional*. Quito: Imprenta de Gobierno, por Juan Campuzano.