

RESEARCH ARTICLE

# LA IMPLEMENTACIÓN DEL SIG DE EXCAVACIÓN: EL CASO DE ESTUDIO DE LOS SITIOS LAS ORQUÍDEAS Y HUATAVIRO (IMBABURA, ECUADOR)

## *The Implementation of GIS in Excavation: The Case Study of the Las Orquideas and Huataviro Sites (Imbabura, Ecuador)*

Carlos E. Montalvo Puente,<sup>1</sup> Eric Dyrda<sup>1,2</sup>, Matteo Cantisani,<sup>3</sup> Luca de Fabritiis,<sup>4</sup> Stefano Vinci<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Sección Ecuador, Quito, Ecuador (cemontalvop@hotmail.com); <sup>2</sup> Facultad de Ciencias Humanas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador (edyrdahl884@puce.edu.ec); <sup>3</sup> Institut für Archäologische Wissenschaften, Ruhr Universität, Bochum, Alemania (matteo.cantisani@rub.de); <sup>4</sup> Departamento de Indología y Estudios sobre el Asia Central, Universität Leipzig, Leipzig, Alemania (fabritiis@saw-leipzig.de); <sup>5</sup> Investigador independiente, Roma, Italia (stefvinci@gmail.com)

**RESUMEN.** Este artículo se centra en la potencial aplicación de los SIG (sistemas de información geográfica) a la gestión de las excavaciones arqueológicas. Partiendo de los casos de estudio de los yacimientos de Huataviro y Las Orquideas (Imbabura, Ecuador), se plantea su utilidad y se estudian los retos y desafíos de la aplicación de estos sistemas para almacenar, gestionar y analizar datos de la excavación. **PALABRAS CLAVE.** SIG; fotogrametría; documentación.

**ABSTRACT.** This paper focuses on the potential application of GIS (Geographical Information Systems) to the management of archaeological excavations. Based on the case studies of Huataviro and Las Orquideas (Imbabura, Ecuador), its usefulness is discussed and the challenges of the application of these systems to store, manage and analyze excavation data are studied. **KEYWORDS.** GIS; photogrammetry; documentation.

### INTRODUCCIÓN: LA IMPLEMENTACIÓN DEL SIG DE EXCAVACIÓN EN ECUADOR

A partir de las décadas de los años setenta y ochenta del siglo XX, la implementación de los SIG (sistemas de información geográfica) como herramienta de análisis comenzó a popularizarse en gran parte de los estu-

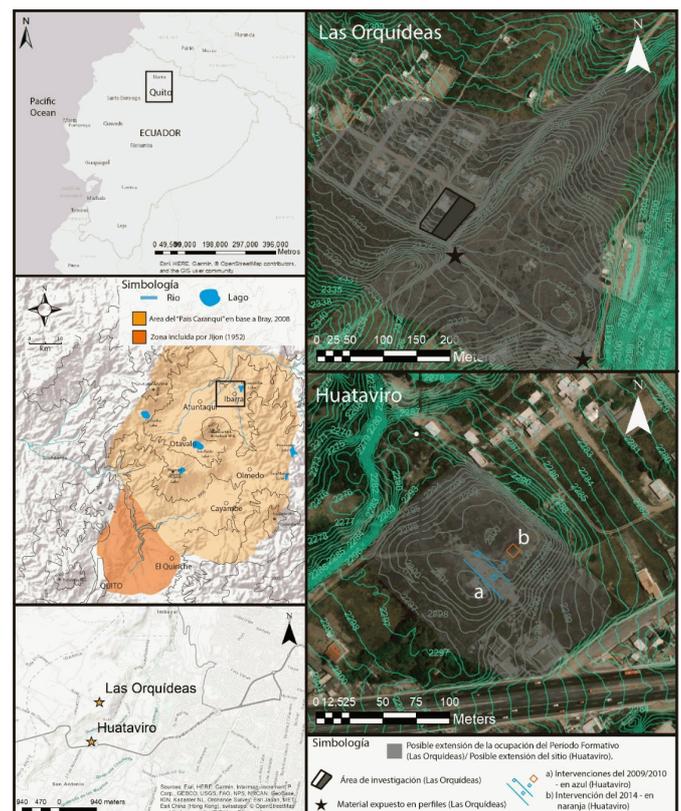


Figura 1. Mapas de los sitios estudiados.

dios interesados en el análisis del paisaje (Connolly y Lake 2009: 24-27; Lock 2000: XVI-XVII; Scianna y Villa 2011: 337-339; Verhagen 2018: 12-13). No obs-

Recibido: 16-7-2020. Aceptado: 28-7-2020. Publicado: 4-8-2020.

tante, su uso en la gestión de los datos generados durante el proceso de excavación se retrasará hasta finales de la década de los noventa, una vez que la aplicación de los SIG había demostrado su fiabilidad y adaptación a muchos de los campos que componen la praxis arqueológica (Candelato *et al.* 2002; Connolly y Lake 2009: 62-67; D'Andrea 2003; Lock 2003: 110-123; Mascione 2006). Este tipo de herramientas digitales ha sufrido una notable expansión desde sus inicios, a pesar del grado de especialización que requiere su implementación y la necesidad de uso de equipos topográficos especializados (Connolly y Lake 2009: 97). La optimización derivada de este tipo de SIG fue grandemente enriquecida con la aparición de vehículos aéreos no tripulados (VANT), llamados también drones comerciales, a partir del final de la primera década del siglo XXI (Campana 2017; Gutiérrez y Searcy 2016; Gutiérrez *et al.* 2016). De esta forma, los SIG aplicados a la excavación se han mostrado como herramientas tremendamente versátiles y adaptables, agilizando la investigación en el campo, acortando los tiempos necesarios para la documentación gráfica y permitiendo la gestión y análisis de la información recolectada (Connolly y Lake 2009: 62-65; D'Andrea 2003).

El uso de los SIG en la arqueología ecuatoriana tuvo una difusión lenta a caballo entre el final del siglo XX e inicio del XXI. Una de las primeras aplicaciones de estos sistemas, de mano de geógrafos, se registra en el levantamiento del inventario general de sitios arqueológicos del Distrito Metropolitano de Quito, usándose únicamente para la generación de la cartografía temática<sup>1</sup> (Jara y Santamaría 2009). Paralelamente en estos años, Delgado (2002: 58) y Cuéllar (2009) usaron programas de gráfica vectorial (*AutoCAD*) para el registro de sitios en el ámbito del estudio de paisajes culturales. Hacia finales de la primera década e inicios de la segunda del siglo XX, el SIG tenía un mayor uso, ligado principalmente a los estudios de paisaje y a la tutela (ver Herzog y Yépez 2015).

Los casos de estudio que presentaremos a continuación se constituyen como ejemplos pioneros en cuanto a la implementación del uso de aplicaciones SIG durante el desarrollo de una excavación arqueológica en Ecuador. Los objetivos que motivaron el uso de este tipo de SIG se centraron en la necesidad de manejar de forma simultánea una gran cantidad de información de diferentes yacimientos, optimizar tiempo y recursos para

poder utilizar todos los datos de las áreas excavadas y disminuir el tiempo de documentación para su posterior interpretación. Además, analizaremos el esquema del modelo de gestión de excavación a través del SIG aplicado, resaltando su implementación metodológica en los sitios de Huataviro y Las Orquídeas, los cuales presentaron características muy diferentes entre sí.

## LOS YACIMIENTOS DE HUATAVIRO Y LAS ORQUÍDEAS

La tola Huataviro (San Antonio de Ibarra, Ecuador) es un yacimiento formado por los restos de una estructura tumular construida en tierra y bloques irregulares de cangahua (sedimento volcánico compacto), donde ha sido posible documentar la realización de actividades rituales y la disposición de sepulturas dotadas de un rico ajuar (incluyendo elementos en tumbaga de oro y ejemplares en *Spondylus*), con una cronología que va desde el 600 al 1300 d. C. (Dyrdahl y Speakman 2013: 218-219; Montalvo 2011: 25-27; Pazmiño 2014). En los últimos años se han sucedido diferentes campañas de excavación que han permitido conocer mejor este sitio. Entre los años 2009 y 2010, los trabajos realizados por Pazmiño documentaron la superposición de diferentes pisos de ocupación con rellenos de construcción en bloques de cangahua (Pazmiño 2014). Posteriormente, en el año 2014, los trabajos realizados por Montalvo y Dyrdahl intervinieron una zona al este de las áreas excavadas en los años 2009 y 2010 (figura 1, Huataviro, letra b) confirmando las observaciones realizadas en el 2010 sobre la estratigrafía y los aspectos constructivos. La superposición de pisos y niveles de relleno define las progresivas intervenciones para agrandar y construir un montículo más alto a lo largo del tiempo, sin embargo, no está claro si estas acciones estuvieron ligadas a eventos particulares o a la sucesión de los señores locales, quienes pueden haber usado la estructura como residencia (Montalvo y Dyrdahl, en preparación).

Los yacimientos arqueológicos no vinculados a la presencia de un sitio tipo tola no han sido objeto, tradicionalmente, de gran interés dentro de la historiografía de la sierra norte ecuatoriana. Por este motivo, el estudio del yacimiento de Las Orquídeas (San Antonio de Ibarra, Ecuador) se presenta como una novedad por su importancia y características. El sitio en cuestión contiene una ocupación de carácter doméstico vinculada con una importante área de producción en la

<sup>1</sup> Comunicación personal de F. Mejía (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural).

que destaca la presencia de estructuras pirotécnicas (áreas pluriestratificadas con niveles alternos de eventos pirotécnicos, ceniza volcánica —depositada antrópicamente—, niveles de carbón y estratos de relleno) y abundantes restos de manufactura artesanal (metal, concha *Spondylus*, madreperla, arcilla, obsidiana, etc.), con una cronología que va desde el 800 al 300 a. C. (Dyrdaahl 2017; Dyrdaahl *et al.* 2017; Montalvo 2016). El análisis de las áreas pirotécnicas ha evidenciado la presencia de hornos semiformales y eventos de cocción a cielo abierto, probablemente destinados a la cocción de cerámica y al trabajo con metales (Dyrdaahl 2017; Dyrdaahl *et al.* 2017; Montalvo 2016: 57-77). La complejidad estratigráfica de los sitios arqueológicos de Huataviro y Las Orquídeas, junto a las limitaciones derivadas de la escasez de tiempo y recursos materiales, nos llevó a diseñar una nueva estrategia de trabajo que permitiese asegurar la recolección de información de calidad que no estuviese afectada por los condicionantes mencionados. De esta manera, se desarrolló y aplicó una metodología basada en el uso combinado de SIG, equipos topográficos y fotogrametría; la cual nos permitió recoger una gran cantidad de datos con un alto índice cualitativo (Montalvo 2016; Dyrdaahl 2017).

## EL USO DE LA FOTOGRAMETRÍA PARA LA DOCUMENTACIÓN EN EXCAVACIONES EN EL NORTE DEL ECUADOR

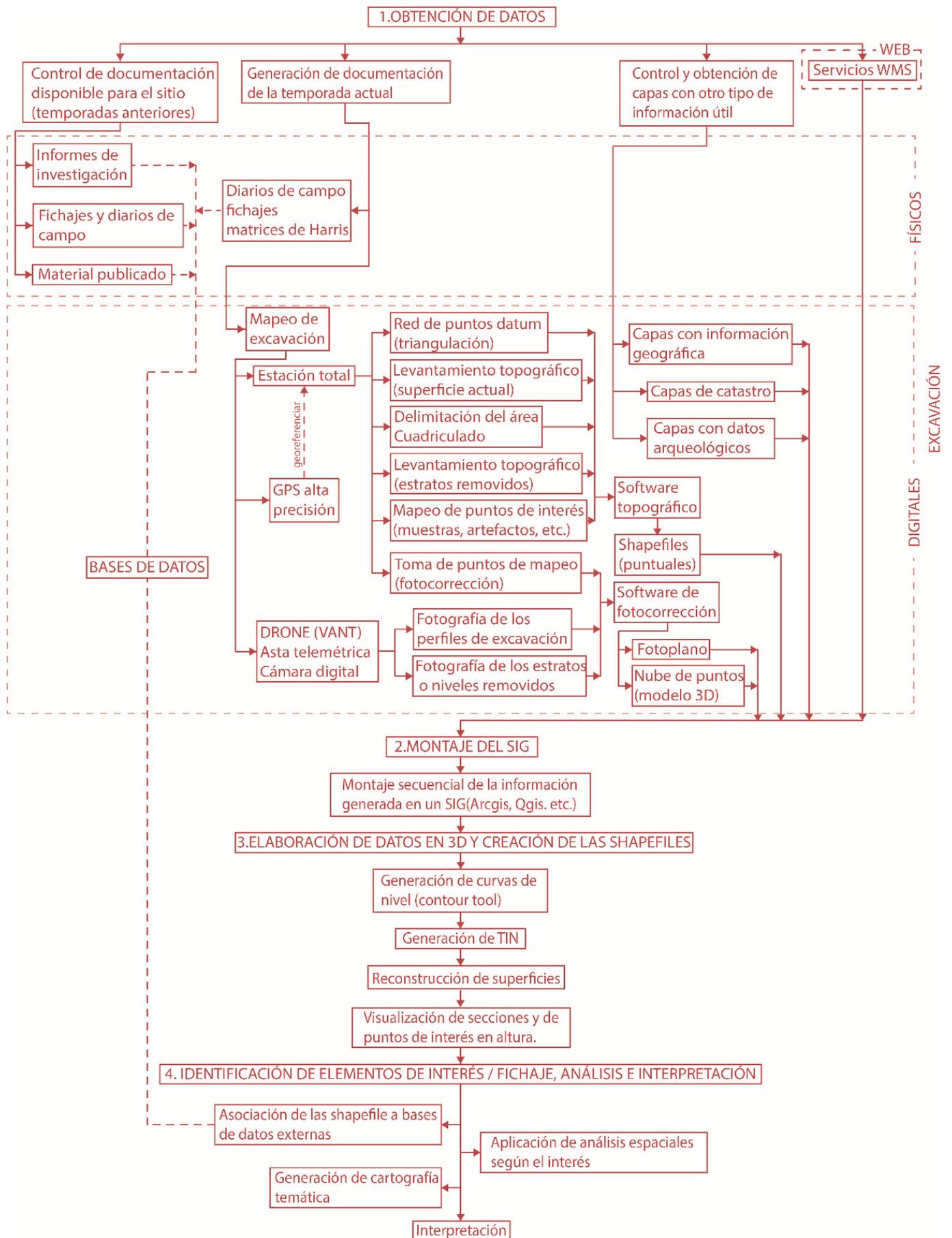
La fotogrametría no es una técnica con una amplia difusión dentro de la arqueología ecuatoriana, lastrada, en nuestra opinión, por el alto nivel de especialización y coste económico que suponía su empleo (con cámaras métricas de película). De hecho, apenas cabe mencionar su aplicación en el proyecto La Cadena-La Maná dirigido por Guillaume-Gentil (2013: 214) durante los años noventa del siglo pasado, así como también en las excavaciones conducidas por Guffroy (2004: 41) en la provincia de Loja a inicios de esta centuria. Entre los años 2009 y 2010, Montalvo aplicó esta técnica durante las excavaciones arqueológicas desarrolladas en la tola Huataviro mediante el uso de cámaras digitales (no métricas), con las cuales se documentaron secciones de las áreas excavadas. Con ayuda de un programa para fotocorrección (*Perspective Rectifier 3.5*, 2010), se procesaron las imágenes y se generaron perfiles continuos para ensamblar y dibujar usando programas de gráfica vectorial (Pazmiño *et al.* 2009: 10).

## METODOLOGÍA: GESTIÓN DEL REGISTRO ARQUEOLÓGICO A TRAVÉS DE UN SIG Y DOCUMENTACIÓN DE LOS ESTRATOS POR ORTOFOTOS

La gestión de los datos procedentes de las excavaciones de Huataviro y Las Orquídeas tomaron como base la metodología desarrollada por Candelato *et al.* (2002) para la excavación de la *Terramara di Montale* (Módena, Italia). Esta metodología estaba compuesta por dos bloques separados: documentación e interpretación. La documentación, aquí resumida, se componía de siete pasos: 1) fotografía cenital, 2) tratamiento de la imagen con *Photoshop*, 3) generación física manual de un fotomosaico a partir de impresiones de las fotos, 4) mapeo con estación total, 5) corrección fotográfica para la generación de ortofotos y dibujo con *software CAD*, 6) generación de las bases de datos y 7) generación de planimetrías en SIG. La interpretación, en cambio, se componía de dos pasos: 1) interpretación de datos y 2) aplicación de análisis. Esta metodología ha mostrado, con el paso de los años, gran versatilidad y adaptabilidad, siendo aplicada en investigaciones de diferentes sitios arqueológicos alrededor del mundo con diferentes características y cronologías (Cantisani 2015; Borgi *et al.* 2012; Marcucci 2008; Valesse 2017: 46-52).

Es necesario especificar que las modificaciones aplicadas a la metodología de Candelato *et al.* (2002), implementada en los yacimientos de Huataviro y Las Orquídeas, corresponden a la integración de herramientas en los SIG, a la mayor disponibilidad y masificación de equipos topográficos más precisos (*GPS* de alta precisión y estaciones totales) y a la movilidad, potencia y autonomía de los ordenadores disponibles. Esto ha producido la fusión o eliminación de pasos y la integración de otros nuevos. Por ende, el flujo de trabajo que compone la metodología aplicada toma los dos bloques de Candelato *et al.* (2002) y los subdivide en cuatro puntos, con gran diversidad de pasos en su interior, ensamblándolos de manera diferente y funcional con los sitios investigados o con las preguntas de investigación (Porter 1996). Finalmente, como se señaló en el apartado anterior, las modificaciones del interior del modelo de trabajo propuesto estuvieron ligadas a la gestión y tipología del yacimiento.

En el flujo de trabajo, la obtención de datos (punto 1, esquema 1) y el montaje del SIG (punto 2, esquema 1) son pasos que están estrechamente ligados y comportan una contemporaneidad, no solo porque de esto depende la documentación de los estratos que se van



Esquema 1. Cuadro de flujo de trabajo (basado en Montalvo 2020: 37) aplicado a los casos de estudio.

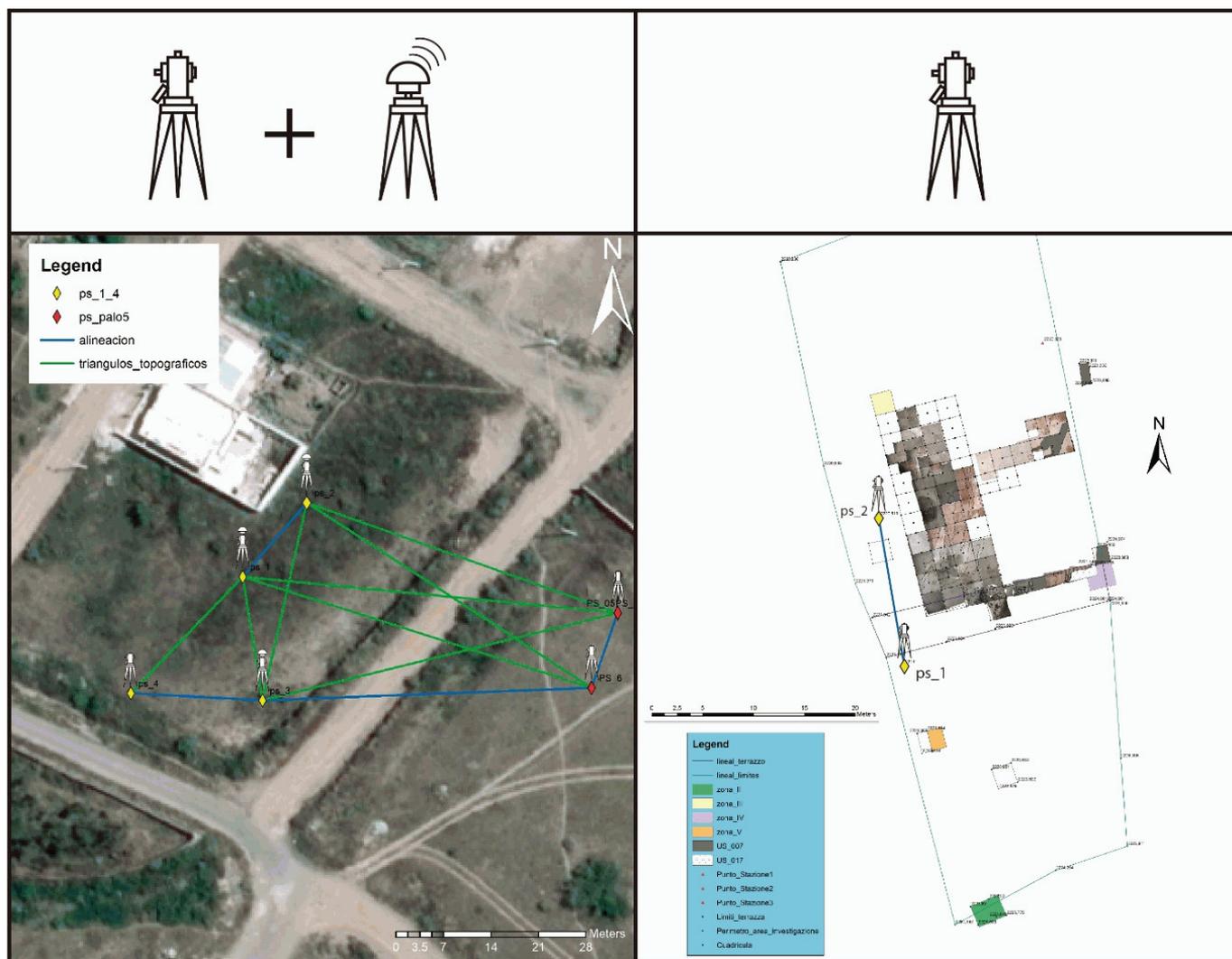


Figura 2. Red de polígonos topográficos del sitio Las Orquídeas, Imbabura. Izquierda: combinación de estación total más *GPS*; derecha: uso de estación total.

removiendo (documentación de campo), sino porque esto permite controlar que la información levantada sea precisa y no presente márgenes de error que la corrompan. La elaboración de datos en 3D (punto 3, esquema 1), el uso de interrogación del SIG y los análisis espaciales (punto 4, esquema 1) pueden ser realizados como procesos en el laboratorio y no comportan una indispensable urgencia y contemporaneidad con los pasos anteriores. De hecho, es recomendable realizarlos cuando la información estratigráfica, el manejo de muestras y, en parte, las interpretaciones preliminares han sido ya desarrolladas con el fin de cotejarlas según el comportamiento de la información recolectada.

La obtención de datos (punto 1, esquema 1) requirió una revisión de la documentación física disponible para el sitio. Durante los trabajos de campo, inicialmente se establecieron los puntos *datum* físicos para formar una red de polígonos topográficos que sirvieran

de soporte a la nube de puntos con los datos de excavación. La digitalización de esta red se realizó con la ayuda de equipos topográficos como la estación total y los *GPS* de alta precisión. Los puntos *datum* físicos sirvieron para montar y alinear la estación total y, por ende, fueron establecidos como puntos fijos permanentes, inamovibles y útiles para referenciar en el sistema de polígonos las áreas excavadas y los hallazgos. Respecto a la construcción de los polígonos de los puntos *datum*, hay dos formas en que la misma se puede manejar: georeferenciada y no georeferenciada (figura 2).

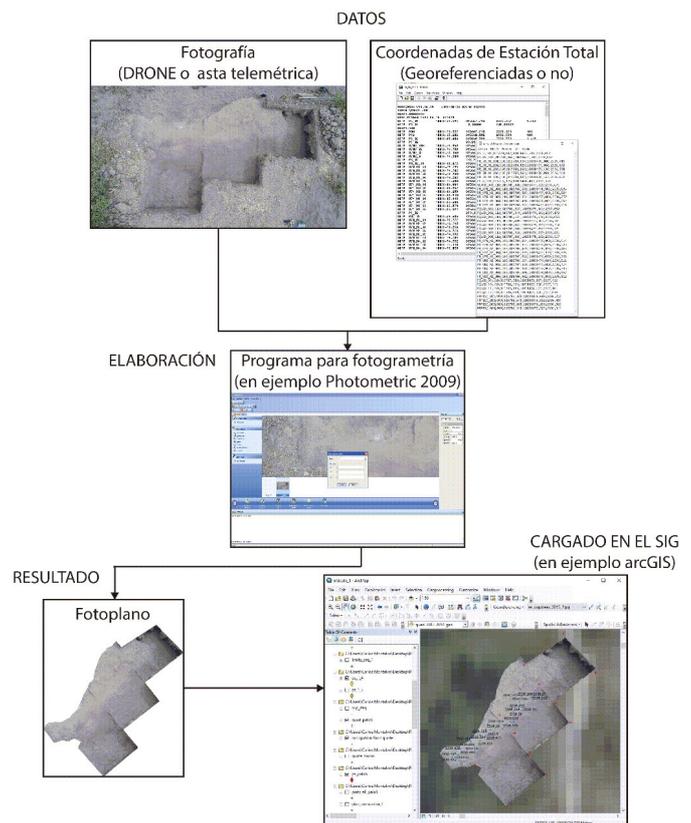
La construcción del polígono georeferenciado parte del conocimiento de las coordenadas geográficas de los puntos *datum*. La metodología empleada en las excavaciones de Las Orquídeas y Huataviro consistió en obtener las coordenadas usando un *GPS* de alta precisión y refinar las mismas con la estación total. La red georeferenciada permitió situar en un contexto geo-

gráfico real los hallazgos para, posteriormente, combinarlos con capas de geoservicios disponibles y contextualizarlos con las características de las cercanías del área de investigación (climáticas, geológicas, meteorológicas, geográficas, etc.; figura 2). Por otro lado, la construcción del polígono no georreferenciado usa coordenadas espaciales no geográficas (punto *datum* 1: 0 este, 0 norte y 0 cota) con la finalidad de crear un sistema único en su interior. Cabe resaltar que, aunque el sistema no está georreferenciado, esto no significa que los datos del interior sean inconsistentes o presenten errores. En un segundo momento, con la ayuda de puntos conocidos y/o coordenadas *GPS* de alta precisión, se puede georreferenciar el sistema —en el caso de excavaciones urbanas, los datos del catastro y las líneas de fábrica ayudan a calibrar las coordenadas.

Una vez construido el polígono, se procedió al registro de los límites de las áreas de excavación y/o el cuadrículado que se aplicó para referenciar los hallazgos. Después, se tomaron las cotas para registrar la topografía moderna del área a intervenir.

Durante el proceso de excavación se requirió la combinación de equipos topográficos y fotográficos, que supusieron una inestimable ayuda para conseguir una detallada documentación de cada hallazgo. Se predispusieron fichas y diarios de campo para la estación total con códigos y nombres, con el fin de organizar los puntos tomados sin causar confusión para, posteriormente, relacionar estos con la información levantada en campo (por ejemplo, punto de muestreo de carbón, punto de cota, etc.). En base a lo anteriormente expuesto, se procedió a tomar los puntos de interés, los puntos de cota, los puntos de límites de estrato y los puntos de rectificación cada vez que se removió un estrato.

El repertorio de equipos fotográficos usados incluyó una cámara digital con un asta telemétrica para fotografiar los espacios a mapear (de preferencia con control remoto). Aunque el uso de la cámara con asta es aplicable en áreas pequeñas (ideal para mapear áreas entre 1 y 4 m<sup>2</sup>) tanto como en áreas grandes (Cardarelli *et al.* 2017), la dificultad de aplicarla a áreas grandes radica en la gran cantidad de puntos y fotos que se debe manejar. La opción más cómoda para mapear áreas grandes es el uso del dron. El dron permite fotografiar en alta resolución alturas mayores y, por ende, manejar menos fotos y menos puntos de estación (se requiere un mínimo de 4 puntos dentro de una foto para corregirla, esquema 2). Independientemente de la elección del *software*,<sup>2</sup> la mayoría de estos pide la selección de las fotos a corregir, el ingreso de los puntos de correc-



Esquema 2. Pasos para la elaboración de un fotoplano de planta (Las Orquídeas).

ción (tomados con estación total), la marcación de estos en los puntos identificables en la foto (normalmente se usan tapas con clavos) y, finalmente, se generan las ortofotos que pueden ser cargadas en el SIG.

Las secciones del área de excavación fueron documentadas con dos métodos: la fotocorrección geométrica con ejes y el mapeo con la ayuda de la estación total. La fotocorrección geométrica en base a ejes y distancias permitió la corrección de las distorsiones de las fotos en base al uso de un mínimo de 4 puntos señalados en la sección expuesta, los mismos que formaban una figura cuadrada o rectangular de la cual se conocían las medidas. El mapeo de la sección con la estación total, en cambio, usó coordenadas críticas tomadas sobre la

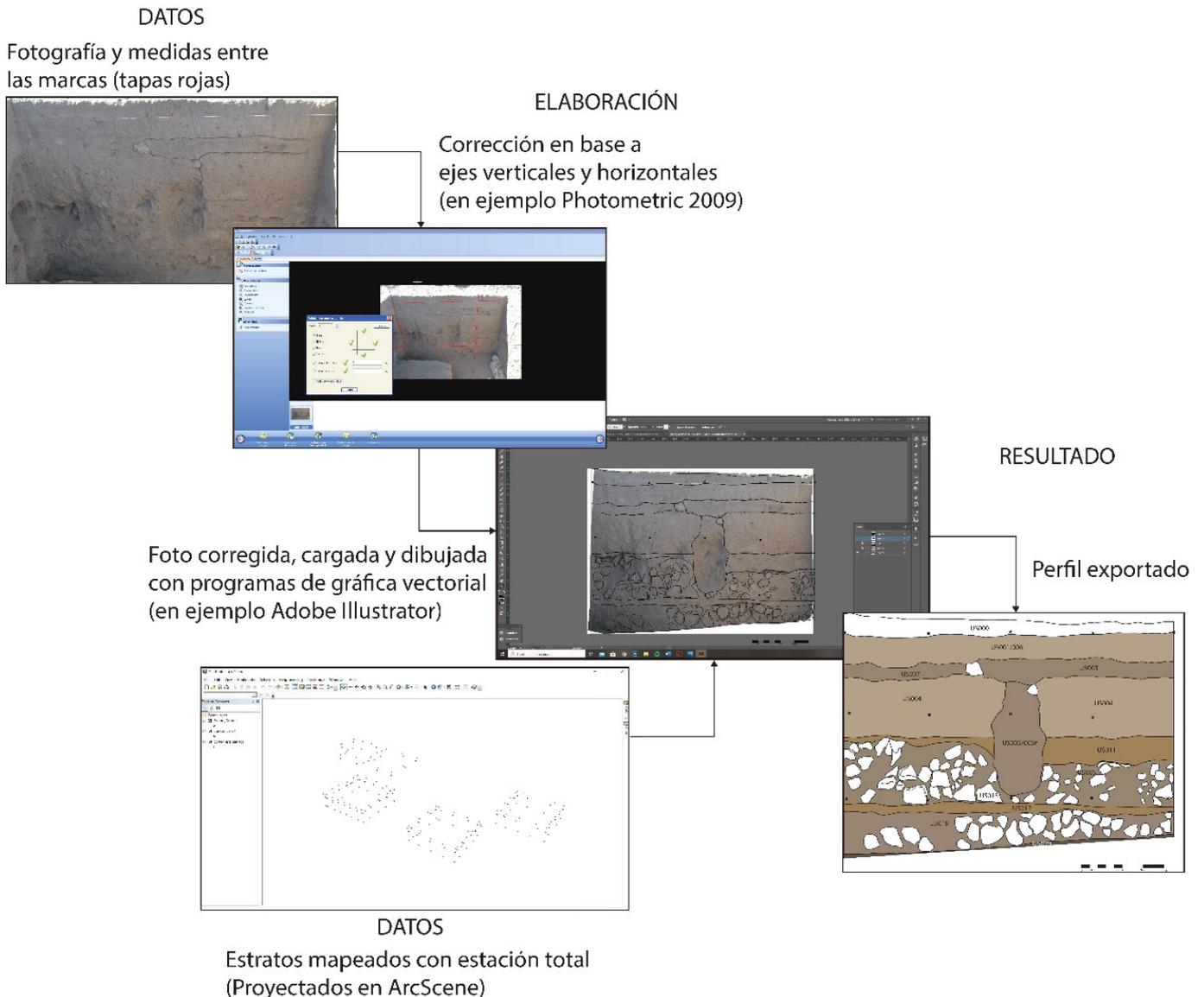
<sup>2</sup> La necesidad del uso de los puntos de control dependerá del *software* que se use para la fotocorrección. En el caso del *software Photometric* (versión 2009) son necesarias, como mínimo, cuatro coordenadas de corrección. Los programas *Autodesk Recap* (21.0, 2020), *Agisoft PhotoScan* (1.6.3, 2020) y *ESRI Drone-to-Map* (1.3.2, 2019) permiten elaborar de forma directa, con las coordenadas tomadas por el dron, tanto imágenes como ortofotos, así como modelos tridimensionales (*DEM*). Por otro lado, también posibilitan añadir los puntos de control para mejorar la precisión de las imágenes generadas en cuanto a corrección y ubicación geográfica.

línea que se deseaba mapear, siendo posteriormente proyectadas en el SIG (herramienta *ArcScene* de *ArcGIS* versión 1.5, 2018) y exportadas como imagen. El paso final, independientemente del método elegido de entre los anteriormente expuestos, fue el dibujo de las secciones con ayuda de un programa de gráfica vectorial (*Adobe Illustrator* versión CC, 2014) (esquema 3).

Volviendo a los datos recolectados durante el trabajo de campo (esquema 1, punto 1), los mismos no pueden ser almacenados y gestionados sin el montaje del SIG (esquema 1, punto 2). Fue imprescindible, por ende, comenzar con el SIG configurado, es decir, tener ya listas las bases de datos con los campos a relacionar de las fichas (aunque vacías); tener organizadas las carpetas de destino para descargar los datos y contar con un registro general para la gestión de los datos vectoriales/*raster* (*shapefiles* en el caso de usar un *software*

como *ArcGIS*), fotos, puntos y datos. Durante los trabajos de campo, en cambio, se procedió a descargar constantemente los puntos de la estación, almacenar las fotos de manera ordenada y generar regularmente la documentación (ortofotos, planos, capas vectoriales, etc.) sin dejar que la misma se acumulase. En situaciones específicas relacionadas con contextos particularmente complejos, se procedió a la generación de la documentación en el campo antes de remover cualquier elemento.

La continua inserción de datos del SIG de excavación permitió la revisión de la documentación según se fueron desarrollando los trabajos de campo. Esto hizo posible recuperar información para la toma de decisiones sobre cómo proceder, constituyéndose además en la documentación y memoria de excavación del yacimiento (figura 3).



Esquema 3. Pasos para la elaboración de un fotoplano de perfil (Huataviro).

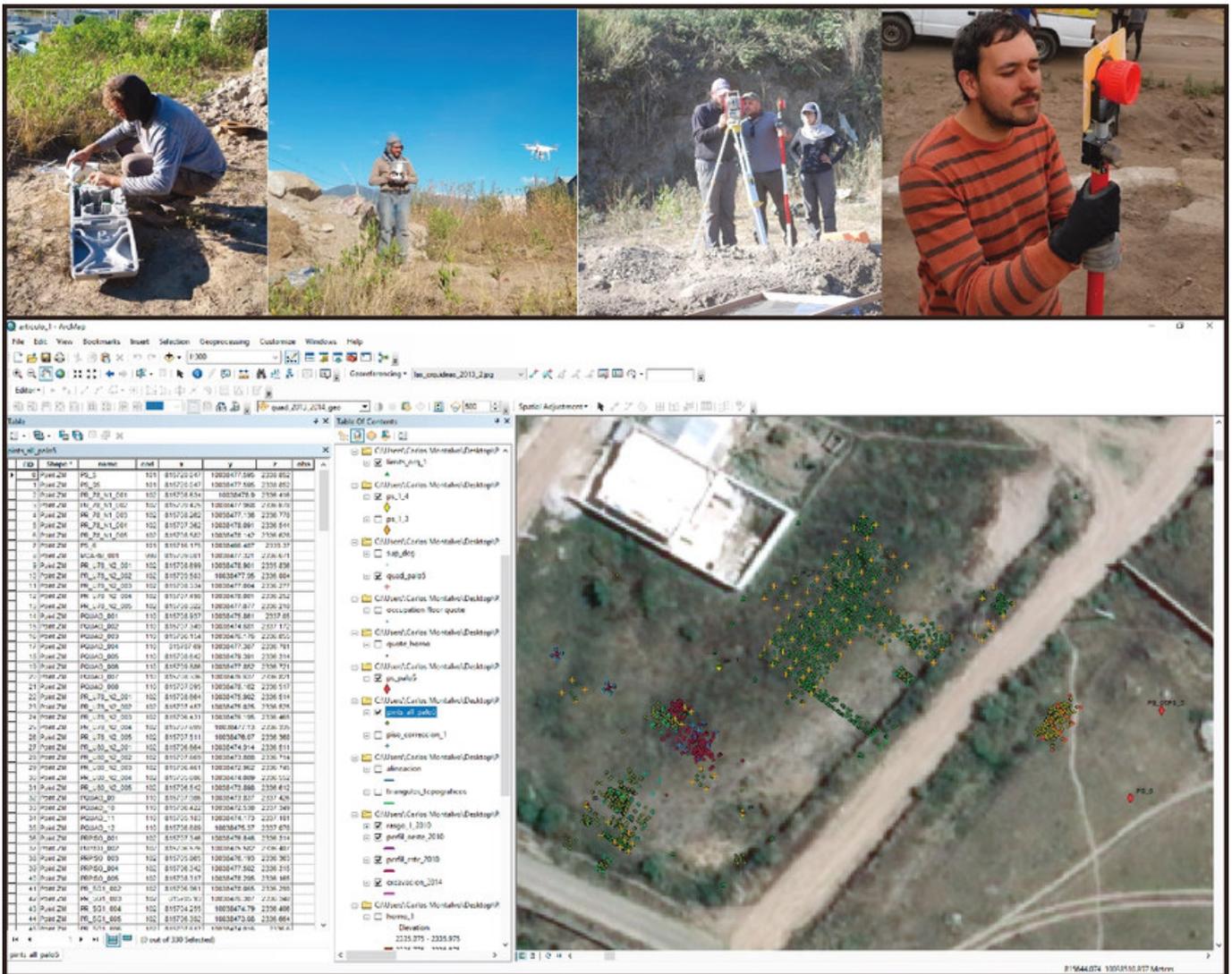


Figura 3. Proceso de recolección de datos en el campo con estación total y nube de puntos, sitio Las Orquídeas.

La elaboración de datos en 3D (punto 3, esquema 1) fue desarrollada sucesivamente con los trabajos de campo. Se recuperaron los datos topográficos (sobre todo de cotas) de los estratos removidos, con los cuales se generaron modelos y proyecciones 3D. La visualización de estos datos en los visores nos permitió reconstruir la forma de estos con fines didácticos e interpretativos. Este tipo de elaboraciones ayudó a mejorar el entendimiento sobre la disposición de la estratigrafía en el sitio y a comprender de mejor manera los elementos estructurales. Además, también nos permitió analizar adecuadamente la distribución espacial de los hallazgos importantes en los ejes X, Y, Z.

Finalmente, tenemos la consulta del SIG, los análisis espaciales y las interpretaciones (punto 4, esquema 1). Con la ayuda de las herramientas de análisis del SIG, interrogamos al sistema sobre la distribución de los elementos mapeados, tanto en área como en profundidad.

También se analizaron las conexiones espaciales de determinados hallazgos entre estratos y la relación entre estos últimos en cuanto a su formación. Este paso se constituyó como una herramienta muy importante para apoyar el proceso de interpretación de las evidencias recuperadas, ya que permitió la correlación de datos recuperados en diferentes espacios y profundidades.

## OBSERVACIONES FINALES

Este estudio propone el uso del flujo de trabajo empleado en los dos casos de estudio expuestos como un modelo inicial que puede servir como base para organizar un SIG aplicado a la excavación. La adaptabilidad de la organización del trabajo presentado requiere que el mismo deba ser calibrado y amoldado a las necesidades de investigación y características del yacimiento.

to donde se pretenda aplicar. Los retos principales planteados en los sitios de Huataviro y Las Orquídeas fueron la gestión de una gran cantidad de información y materiales, la necesidad de excavar dos sitios diferentes simultáneamente y el poco tiempo disponible para hacerlo.

La metodología expuesta se mostró adaptable y fácilmente aplicable: la organización del trabajo planteada (esquema 1) nos permitió el manejo de grandes cantidades de información y facilitó la documentación eficiente en los yacimientos en cuestión. La rápida documentación de los sitios (comparada con la documentación manual) permitió la optimización de recursos y mejoró el desempeño de la excavación. Finalmente, al cabo de varios años posibilita revisar las áreas excavadas con los datos obtenidos, aún de manera eficiente, para compararlos con nuevas áreas investigadas (en el caso de Las Orquídeas) o áreas anteriormente intervenidas (en el caso de Huataviro).

La aplicación de la metodología expuesta mejoró la calidad de la documentación, volviéndola más precisa y menos subjetiva al ojo del dibujante (como en el caso del dibujo manual de los contextos). Abrió la posibilidad de confrontar información en 2D y 3D y, por ende, observar, de manera más fácil e intuitiva, las evidencias en nuevas perspectivas, tomando en cuenta las profundidades y reconstrucciones de la estratigrafía y las eventuales estructuras presentes. Las herramientas de análisis del SIG nos permitieron corroborar información y analizarla con el fin de mejorar las interpretaciones sobre topografía, distribución de materiales y formación estratigráfica. En cuanto a los yacimientos estudiados, esta metodología facilitó y enriqueció con nuevos elementos las interpretaciones realizadas sobre los contextos estudiados, permitiendo cubrir las relaciones entre

estos tanto en profundidad como en área. Esto resultó ser de gran utilidad en Las Orquídeas, donde fue necesario reconstruir la secuencia debido a la destrucción parcial de la misma, principalmente de los estratos superiores (Montalvo 2016: 57-81). En el caso de Huataviro nos permitió relacionar la estratigrafía, las fechas y los materiales con las intervenciones realizadas en 2009-2010, sobre todo las evidencias de la US11 vinculadas con el Rasgo 1 (Montalvo 2014: 21-23; Pazmiño *et al.* 2009) datadas en 600-800 d. C. Esto se logró, tanto en Las Orquídeas como en Huataviro, gracias al análisis de las ortofotos, las capas generadas con información y las capas puntuales de muestreo relacionadas con las dataciones radiocarbónicas.

Finalmente, los modelos 3D creados (*TIN*) y los análisis espaciales aplicados nos permitieron la reconstrucción y análisis de las estructuras pirotécnicas y de sus áreas circundantes en Las Orquídeas, y de los procesos constructivos y contextos funerarios en Huataviro.

En Las Orquídeas, los *TIN* se usaron para reconstruir y documentar las áreas con actividades pirotécnicas, permitiéndonos analizar los hornos, tanto en su forma como en la pendiente, además de la distribución de elementos como moldes y restos metálicos. En base a esta información, fue posible conjeturar que esta área productiva se localizaba probablemente en una zona limítrofe del poblado (Dyrdaahl *et al.* 2017; Dyrdaahl 2017: 177-193; Montalvo 2016: 57-81). En Huataviro, en cambio, se usaron las cotas para comparar la variación de profundidades de los pisos respecto al modelo *TIN* de la tola; esto permitió observar el patrón de crecimiento en altura de la estructura e identificar de mejor manera las asociaciones entre las tumbas y los pisos compactados (Montalvo 2014: 17-22).

## Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento a los profesores Tomás Cordero, Andrea di Renzoni, Andrea Cardarelli, Paola Piana Agostinetti, Maurizio Cattani, María Fernanda Ugalde, María Auxiliadora Cordero y a Daniele Deidda, Francisco González y Óscar Cajas, colaboradores de estas campañas de excavación. A Emanuele Lapadula por sus consejos en cuanto a los programas gráficos y a Adriano Bellavita por su ayuda con la programación de la base de datos inicial. Un agradecimiento especial a Immacolata Valesse, María Elena Castiello, Ivonne Ortiz, Luis Rodríguez, Isaac Falcón, Pablo Quelal y Valeria Rivera por sus observaciones y comentarios al borrador de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

BORGI, F., E. MAINI, M. CATTANI, M. TOSI. 2012. The early settlement of HD-5 at Ra's al-Hadd, Sultanate of Oman (fourth-third millennium BCE). *Proceedings of the Seminar for Arabian Studies* 42: 27-38. Londres.

- BRAY, T. L. 2008. Late Pre-Hispanic Chiefdoms of Highland Ecuador. En *The Handbook of South American Archaeology*, eds. H. Silverman y W. H. Isbell, pp. 527-543. Nueva York: Springer.
- CAMPANA, S. 2017. Drones in Archaeology. State-of-the-art and Future Perspectives. *Archaeological Prospection* 24, 4: 275-296.
- CANDELATO, F., A. CARDARELLI, M. CATTANI, D. LABATE, G. PELLICANI. 2002. Il sistema informativo dello scavo della terramara di Montale (Castelnuovo Rangone, MO). En *Analisi informatizzata e trattamento dati delle strutture di abitato di età preistorica e protostorica in Italia (Ferrara, Italia, 2001)*, ed. C. Peretto, pp. 256-270. Florencia.
- CANTISANI, M. 2015. Le capanne B3 e B9 dell'abitato dell'età del Bronzo di Mursia (Pantelleria). *IpoTESI di Preistoria* 7, 1: 49-70.
- CARDARELLI, A., M. BETTELLI, A. DI RENZONI, M. CRUCIANI, N. IALONGO. 2017. Nuove ricerche nell'abitato della tarda età del Bronzo di Monte Croce Guardia (Arcevia, AN): scavi 2015-2016. *Rivista di Scienze Preistoriche* 67: 321-380.
- CONOLLY, J., M. LAKE. 2009. *Sistemas de información geográfica aplicados a la arqueología*. Barcelona: Bellaterra.
- CUÉLLAR, A. M. 2009. *The Quijos Chiefdoms: Social Change and Agriculture in the Eastern Andes of Ecuador*. Pittsburgh: University of Pittsburgh.
- D'ANDREA, A. 2003. Analisi spaziali intra-site. Soluzioni GIS per lo scavo archeologico. *Archeologia e Calcolatori* 14: 329-335.
- DELGADO, F. G. 2002. *Intensive Agriculture and Political Economy of the Yaguachi Chiefdom of Guayas Basin, Coastal Ecuador*. Tesis doctoral. University of Pittsburgh.
- DYRDAHL, E. 2017. *Interregional Interaction and Craft Production at Las Orquídeas, Imbabura, Ecuador, during the Late Formative (800-400 cal BC)*. Tesis doctoral. Pennsylvania State University.
- DYRDAHL, E., C. MONTALVO PUENTE, V. VALVERDE. 2017. Una historia complicada: ceniza volcánica y su uso en el periodo Formativo Tardío en la Sierra Norte del Ecuador a través del caso del sitio «Los Soles» (sector Las Orquídeas). En *Volcanes, cenizas y ocupaciones antiguas en perspectiva geoarqueológica en América Latina*, ed. M. F. Ugalde, pp. 87-101. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- DYRDAHL, E., R. J. SPEAKMAN. 2013. Investigating Obsidian Procurement at Integration Period (ca. AD 700-1500) Tola Sites in Highland Northern Ecuador via Portable X-Ray Fluorescence (pXRF). En *Archaeological Chemistry VIII*, eds. R. N. Armitage y J. H. Burton, pp. 211-232. Washington, D.C.: American Chemical Society.
- GUFFROY, J. 2004. *Catamayo precolombino: investigaciones arqueológicas en la provincia de Loja (Ecuador)*. París: IRD-IFEA.
- GUILLAUME-GENTIL, N. 2013. *Cinco mil años de historia al pie de los volcanes: implantación, población y cronología en Ecuador*. Quito: FLACSO.
- GUTIÉRREZ, G., M. T. SEARCY. 2016. Introduction to the UAV special edition. *The SAA Archaeological Record* 16, 2: 6-9.
- GUTIÉRREZ, G., G. ERNY, A. FRIEDMAN, M. GODSEY, M. GRADOZ. 2016. Archaeological topography with small unmaned aerial vehicles. *The SAA Archaeological Record* 16, 2: 10-13.
- HERZOG, L., A. YÉPEZ. 2015. The impact of the DEM on archaeological GIS studies: A case study in Ecuador. *CHNT Proceedings* 20. Viena: Museen der Stadt Wien-Stadtarchäologie.
- JARA, H., A. SANTAMARÍA. 2009. *Atlas arqueológico: Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural.
- JIJÓN Y CAAMAÑO, J. 1952. *Antropología prehispánica del Ecuador*. Quito: La Prensa Católica.
- LOCK, G., ED. 2000. *Beyond the Map: Archaeology and Spatial Technologies*. Amsterdam: IOS Press.
- LOCK, G. 2003. *Using Computers in Archaeology: Towards Virtual Pasts*. Londres: Routledge.
- MARCUCCI, S. 2008. La capanna B6 dell'abitato dell'Antica Età del Bronzo di Mursia (Pantelleria, TP) e le strutture produttive domestiche. *IpoTESI di Preistoria* 1, 1: 125-199.
- MASCIONE, C. 2006. *Il rilievo strumentale in archeologia*. Roma: Carocci.
- MONTALVO PUENTE, C. 2011. *I materiali ceramici dal sitio Huataviro (Imbabura, Ecuador): metodo di ricerca*. Tesis de Maestría. Roma: Sapienza Università di Roma.
- MONTALVO PUENTE, C. 2014. *Proposte di modifiche al progetto di ricerca: Lo sviluppo ed evoluzioni nel tempo degli insediamenti con piramidi nella zona nord del País Caranqui*. Informe doctoral. Roma: Sapienza Università di Roma.
- MONTALVO PUENTE, C. 2016. *Il sito de Las Orquídeas (Imbabura) nell'ambito del Periodo Formativo Tardo (800-400 a.C.) nel Nord del Ecuador. Sequenza stratigrafica e cronologia*. Tesis doctoral. Roma: Sapienza Università di Roma.

- MONTALVO PUENTE, C. 2020. La prospección arqueológica basada en imágenes satelitales: el caso de la zona norte del país caranqui (Imbabura, Ecuador). *Arqueología Iberoamericana* 45: 35-42.
- PAZMIÑO, E. 2014. Huataviro y los señoríos de la sierra norte del Ecuador. *INPC, Revista del Patrimonio Cultural del Ecuador* 5: 56-69.
- PAZMIÑO, E., O. CAJAS, C. MONTALVO PUENTE. 2009. *Informe Final del Proyecto Arqueológico Huataviro I Fase*. Quito: INPC.
- PORTER, M. E. 1996. What is strategy? *Harvard Business Review* 74, 6: 61-78.
- SCIANNA, A., B. VILLA. 2011. GIS applications in archaeology. *Archeologia e Calcolatori* 22: 337-363.
- VALESE, I. 2017. *The Archaeology of Cahokia's West Plaza. Excavations in the Merrell Tract*. Tesis doctoral. Bolonia: UNIBO.
- VERHAGEN, P. 2018. Spatial Analysis in Archaeology: Moving into New Territories. En *Digital Geoarchaeology: New Techniques for Interdisciplinary Human-Environmental Research*, eds. C. Siart, M. Forbriger y O. Bubenzer, pp. 11-25. Cham: Springer.