

Introduciendo la cuarta dimensión: Evaluación de una experiencia de registro estratigráfico integral basado en la fotogrametría digital de bajo coste.

Jordi A. López Lillio y Gonzalo Moyano.

Cita:

Jordi A. López Lillio y Gonzalo Moyano (2025). *Introduciendo la cuarta dimensión: Evaluación de una experiencia de registro estratigráfico integral basado en la fotogrametría digital de bajo coste.* *Comechingonia*, 29 (3), 415-438.

Dirección estable: <https://www.aacademica.org/eascc/142>

ARK: <https://n2t.net/ark:/13683/pzay/8Fd>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons.
Para ver una copia de esta licencia, visite
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>.

Acta Académica es un proyecto académico sin fines de lucro enmarcado en la iniciativa de acceso abierto. *Acta Académica* fue creado para facilitar a investigadores de todo el mundo el compartir su producción académica. Para crear un perfil gratuitamente o acceder a otros trabajos visite: <https://www.aacademica.org>.

INTRODUCIENDO LA CUARTA DIMENSIÓN: EVALUACIÓN DE UNA EXPERIENCIA DE REGISTRO ESTRATIGRÁFICO INTEGRAL BASADO EN LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL DE BAJO COSTE

ENTERING THE FOURTH DIMENSION: EVALUATION OF AN INTEGRATED STRATIGRAPHIC RECORDING EXPERIENCE BASED ON LOW-COST DIGITAL PHOTOGRAMMETRY

Jordi A. López Lillo¹, Gonzalo Moyano²

¹ Institut Universitari d'Investigació en Arqueologia i Patrimoni Històric, Universitat d'Alacant. Sant Vicent del Raspeig s/n, 03690, España. Email: jordi.lopez@ua.es <https://orcid.org/0000-0001-6011-1093>

² CONICET, Instituto Regional de Estudios Socio-Culturales. Prado 366, San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina. Email: gonzalomoyano@mi.unc.edu.ar <https://orcid.org/0000-0003-4373-0946>

Palabras clave **Resumen**

Metodología arqueológica Topografía Programario de código abierto Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT) Sistemas de Información Geográfica (SIG) *El núcleo central del presente aporte lo constituye la narración crítica, a través de su experimentación práctica en casos del Noroeste argentino, de un flujo de trabajo orientado a la documentación integral e integrada de excavaciones arqueológicas, donde destaca la combinación de UAV y software de código abierto, así como su adaptabilidad a contextos operacionales diversos. Más allá de incidir en sus fortalezas y debilidades, e incluso de defender su eficacia última, esta propuesta metodológica va a permitir articular una reflexión que reivindica la profundidad del oficio arqueológico en un momento de transición hacia prácticas cada vez más digitales y automatizadas. Se plantea, por tanto, la innovación tecnológica sobre la base del conocimiento acumulado tradicionalmente y como respuesta a sus problemáticas específicas, evitando diluir lo esencial de la Arqueología: el estudio del tiempo y la materia que solidifican la historia humana.*

Keywords **Abstract**

Archaeological methodology Topography Open source software Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Geographical Information Systems (GIS) *This contribution centers on the critical account of a workflow designed for comprehensive and integrated archaeological excavation documentation, illustrated by practical experimentation through fieldwork conducted in Northwestern Argentina. It emphasizes the combination of UAVs and open-source software, showcasing its adaptability to diverse operational contexts. Beyond examining its strengths and weaknesses or defending its efficiency, this methodological proposal reflects on the deep craft of Archaeology in a transitional moment toward increasingly digital and automated practices. It proposes technological innovation rooted in traditionally accumulated knowledge and tailored to specific challenges, preserving the core of Archaeology: studying time and matter as they solidify human history.*

Presentado 31/05/2025; Recibido con correcciones 26/09/2025; Aceptado: 05/10/2025

COMECHINGONIA. Revista de Arqueología. Vol. 29, n° 3. López Lillo, Moyano, pp. 415-438

<https://doi.org/10.37603/2250.7728.v29.n3.48996>

ISSN 0326-791/E-ISSN 2250-7728

La digitalización de la Arqueología constituye probablemente un hecho epocal más que una idea de progreso, voluntades aparte. Podría incluso llegar a ruborizar el pretender referirse a según qué “nuevas tecnologías” como algo más que una categoría acostumbrada, o un descriptor lanzado sin demasiado aplomo ni precisión sobre un conjunto de herramientas que viene acompañándonos ya un buen tiempo, y que, a decir verdad, ha ido cambiando y renovándose precisamente así: a fuerza de tiempo. Y es este quizá un principio desapasionado. Pero es que quizá el peligro que urge conjurar es el de perderse entre la celebración y el destello de los usos acríticos; de la justificación del medio orillando el fin.

Siguiendo este ánimo, el objetivo del presente trabajo es aportar, a través de su puesta en práctica en diversas excavaciones realizadas en la Provincia de Tucumán, una forma de implementar la fotogrametría arqueológica relativamente poco extendida aún (*vid.* Moyano 2017, o los trabajos recopilados en este mismo *dossier*, para el caso argentino), que retoma una propuesta metodológica ensayada por vez primera el diciembre de 2010 en una modesta excavación a las afueras de una ciudad mediana del Mediterráneo español (Charquero Ballester y López Lillo 2012). Además de la capacidad reflexiva ganada, los años invertidos en otros menesteres permitieron sumar ahora nuevas “nuevas tecnologías”, como el empleo sistemático de vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés) o un abundante *software* de código abierto; algo que refuerza mucho más allá de lo esperado entonces la pertinencia, y la potencia, de la intención originaria; que permite componer un panorama mucho más disciplinar e informado; y ojalá, más valioso para la evaluación colectiva de este aporte. Pero comencemos dando un paso atrás, no hacia meros antecedentes sino al horizonte de tierra firme de esa disciplina con que se pretende dialogar, siquiera porque siempre conviene hacerlo antes de saltar adelante.

En teoría: Un vistazo a la problemática del registro arqueológico

En cierto sentido, la estratificación es tiempo devenido espacio; hecho volumen. Alcanzar esta conclusión marca el inicio de la Arqueología tal como la concebimos y practicamos hoy día; y quizá por eso permanece indisociablemente ligada a la imagen de la excavación, aunque las aproximaciones desde la materialidad a las culturas, sociedades e historias de los grupos humanos sean, ciertamente, múltiples.

Podría plantearse como una progresiva caída en consideración, desde los lejanos principios de Steno o la disección de aquel montículo entre los meandros del Rivanna, en el Estado de Virginia. O aun, desde las discusiones que cristalizan en la Geología moderna según la formulara Lyell, a penas transcurrido un tercio del siglo XIX. Pero desde luego, para lo que a nuestra disciplina se refiere, es más ajustado reconocer que se agolpa todo en un proceso acelerado a partir de dos puntos de inflexión relativamente próximos en el tiempo: la adopción de métodos de excavación estratigráfica y el desarrollo teórico de la estratigrafía arqueológica, en ese orden.

Con diversos ritmos de implantación y sistematicidades, ambos tránsitos generaron el suficiente impacto en el campo como para considerar que se estaba ingresando en una “nueva arqueología” (Browman y Givens 1996; Manacorda 1983; Trócoli 1993). Y esto aunque haya podido persistir cierto grado de opacidad a la hora de abordar en términos disciplinares lo que precisamente en el campo acontece, puede que impelidos por cierta noción de “oficio”; porque “a excavar se aprende excavando”. Sin negarla en lo absoluto, sobre todo a partir del último punto de inflexión esta premisa va a verse determinadamente matizada. Primero, porque la elaboración de un *corpus* teórico responde a una acumulación de experiencia colectiva que, de hecho, se puede enseñar con

independencia de su práctica efectiva -y por cierto que la necesidad de practicar lo aprendido, especialmente antes de considerarse preparado como para contribuir a esa experiencia, no hace sino poner a la Arqueología exactamente en el mismo lugar que el resto de oficios-. Y segundo, porque acicateada por la misma práctica en contextos urbanos y de rescate cuyas particulares complejidades habían precipitado la reflexión hacia ese *corpus* a partir de 1960, va a ponerse entonces sobre la mesa la división profesional entre las figuras de lo que se llamaría arqueólogo-estratógrafo y arqueólogo-historiador. Esta cuestión jugó un papel fundamental en la construcción y encaje de la disciplina como tal en el seno de los estudios históricos (Gutiérrez Lloret 2001)¹, y entronca con algo que sí distingue a la Arqueología, y específicamente a la excavación arqueológica: crea los documentos en que se basa. Pero volvamos al primero de aquellos hitos para arrojar mejor luz sobre esto último.

En esencia, la adopción del método estratigráfico entre los años 1930-1940 implicó volver decisivamente la atención del objeto -el artefacto, la ruina- al contexto; o si se prefiere, volver el contexto en objeto de investigación, dotándolo de una profundidad temporal que no se había imaginado antes. Esto es lo que reivindica ante todo Wheeler cuando arremete, en el seminal *Archaeology from the earth*, contra un "analfabetismo" que ya no puede excusarse en los innegables logros de viejos pioneros.

"Las sucesivas acumulaciones de construcciones y escombros en un sitio de ocupación enterrado tienen una vigencia muy similar a las sucesivas páginas de un libro, y para ser entendidas, deben comprenderse en su adecuada secuencia" (Wheeler 1954: 8).

Quizá sobreviene en ese momento la sensación de urgencia del registro que todavía nos acompaña; porque ese libro, como se escribiría después tantas veces, se destruye efectivamente

a medida que es leído. Lo que no puede discutirse es que se opera un cambio en la concepción dimensional,² y direccional, de la excavación arqueológica, traducido en el desarrollo de un aparato gráfico que enfatiza la diacronicidad de la "sección" -vertical- frente a las "plantas arquitectónicas" -horizontales, pero sobre todo asíncronas- de quienes se limitaban a desenterrar muros (Dever 1973). De hecho, la famosa estrategia en cuadrículas separadas por testigos no responde sino a la exacerbación de ese principio en un momento en que la estratigrafía se piensa solo sobre la fisicalidad de los perfiles del corte (Figura 1). Por eso resulta de lo más paradójico que en algunos ambientes se haya asociado espontáneamente el "método Wheeler" con la excavación por niveles arbitrarios de grosor constante y la posterior reconstrucción de la secuencia estratigráfica en el perfil; algo que, señala Gutiérrez Lloret (2001: 154-155), se explica en el enmarañamiento de tradiciones y técnicas en que se verifica su difusión, por lo pronto en el territorio español. Quizá también se explique así la eventual fusión práctica de las ideas de "sección volante", un desarrollo italiano que buscaba atemperar la verticalidad de su propia versión de cuadrícula (Carandini 2000: 107), y "sección acumulativa" según la literal, y más tardía, definición inglesa (Barker 1993: 80-81). Retomaremos ambas definiciones más adelante.

Ahora bien, aun percibiendo la importancia de las discontinuidades más o menos lineales o interfaces que permitían, entre otras cosas, individuar cada estrato (Lucas 2001a: 36 y ss.), esas "primeras letras" de mediados del siglo pasado todavía descansaban sobre una mirada más bien geológica y positivista. Se entendía, así, la estratificación fundamentalmente como una suma de volúmenes; una sucesión de depósitos de tierra y estructuras. El siguiente paso decisivo no consistiría tanto en reparar la obviedad de que los humanos viven de hecho en esas discontinuidades que son las superficies

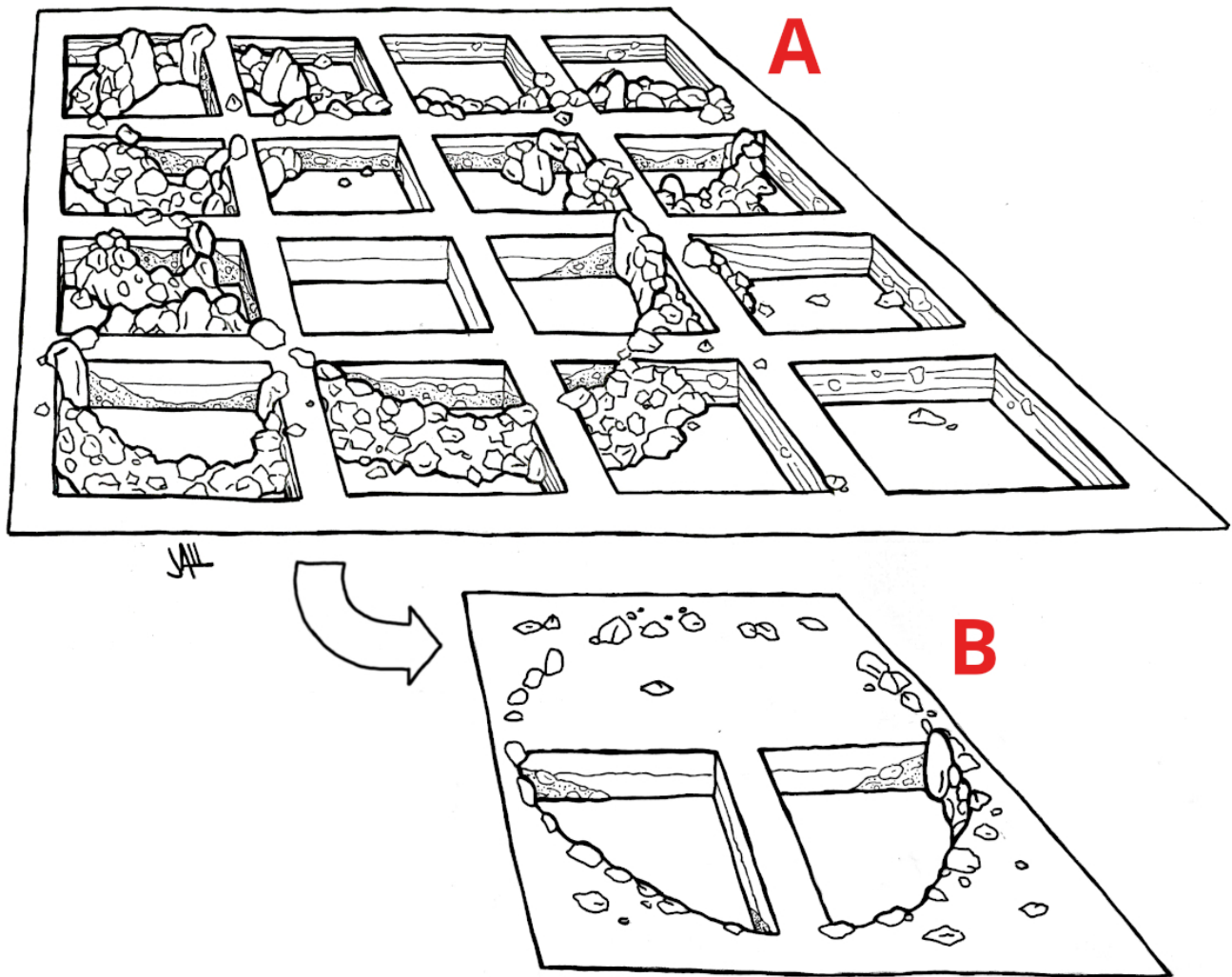


Figura 1. Dos ejemplos esquemáticos del uso de testigos como secciones físicas: en la propuesta de Wheeler (A), su multiplicación deja claro por qué concibió esta como una estrategia en área abierta, con independencia de que sus cuadrículas se conviertan forzosamente en unidades de excavación y registro independientes; mientras, la excavación de una estructura parcialmente visible en superficie empleando cuadrantes contiguos (B) logra un efecto idéntico con una estrategia, quizá, más reconocible para la práctica argentina.

de los estratos -y no solo ellos: a causa del efecto gravitacional del planeta, la naturaleza toda tiende a equilibrarse en esa disposición-, sino que el carácter y proporción de las alteraciones volumétricas generadas por la vida humana requiere a la vez distinguir y equiparar

explicativamente, a través de dichos interfaces e independientemente de su origen natural o cultural y de su posición horizontal o vertical, dos tipos de hechos: positivos y negativos. En la primera condición, el volumen comprendido entre dos superficies,

(...) indica simplemente el tiempo transcurrido entre [el inicio de] la constitución de un estrato en particular y la interrupción de tal proceso. Sin duda, muchas superficies son alteradas en ese lapso de tiempo, aunque a menudo sea imposible reconocerlo, particularmente si los depósitos se componían de materiales no consolidados. Por esa razón el depósito y su interfaz, o superficie, pueden considerarse una sola unidad estratigráfica (Harris 1983: 92).

Sin embargo, aunque todos los estratos tengan superficie, la excavación arqueológica trata constantemente con superficies que, no conformando ningún estrato, añaden a la historia deposicional algo más que la suma de los volúmenes que intermedian, y “este tipo de interfaces son unidades estratigráficas por sí mismas” (Harris 1983: 81).

Más allá de diseñar un sistema de registro comprensivo, sintético y elegante, donde destaca el célebre diagrama matricial que lleva su nombre, la publicación de los *Principios de estratigrafía arqueológica* de Harris en 1979 es el producto maduro de casi cinco décadas de reflexión teórica guiada por las innovaciones introducidas en las prácticas de excavación, primero en el ámbito británico. Un método analítico rápidamente expandido y depurado en otras partes de Europa de la mano de referencias tan imprescindibles como *Historias en la tierra* de Carandini, apenas dos años posterior, que apoyándose en esa reevaluación de la naturaleza de los interfaces, permitía “distinguir consistentemente entre los depósitos, sus contenidos, y lo que es más importante, las acciones que los generaron” (Brown y Harris 1993: 16); interpretar articuladamente sus relaciones, y establecerles una cronología relativa. Esto es, distanciar metódicamente, lo más posible, la “estratificación” -como el fenómeno en su dimensión espacial- de la “estratigrafía” -como su estudio en dimensión temporal-.

Quizá la pregunta más obvia a partir de este punto es cuánto más podrían distanciarse; un camino que, por lo pronto, arranca con las preocupaciones sobre los procesos de formación del registro arqueológico (Schiffer 1983, 1985) y progresa, comprendiendo las dinámicas de suelos activos, con la implementación de técnicas microestratigráficas (Mallol y Mentzer 2017; Shillito *et al.* 2011). Las consecuencias epistemológicas entremedias recuerdan curiosa y puede que inevitablemente a la tensión entre las perspectivas teóricas holistas

e individualistas desplegadas para el análisis social: existe lo real en una continuidad que no significa nada, literalmente, hasta que transita lo imaginario y lo simbólico de la experiencia humana, y la cuestión es, entonces, dónde y cómo han de segmentarse esos tres planos para analizar la realidad que es su anudamiento significativo (López Lillo 2019). Puede que inevitablemente, decíamos, porque no dejan de ser una derivada del “giro contextual” que estallaba en las ciencias humanas y sociales en ese preciso momento, dimensionando la sutil profundidad que separa una misma práctica entendida como “lectura” o como “interpretación”. La excavación, escribía Tilley (1989: 278), “es un autobiográfico, subjetivo, socialmente determinado y a menudo fundamentalmente ambiguo y/o contradictorio conjunto de actividades interpretativas”. Poco después sentenciaría Hodder (1997: 692-693) “la interpretación empieza en el filo del paletín”.

Una buena medida del desencuentro, en el filo de discusiones que continúan marcando la agenda en Arqueología, bien podría ser el que críticas a esta crítica minimicen o desplacen su trascendencia al mezclarla con la faceta interpretativa del arqueólogo-historiador (Ruiz Zapatero 2013: 60) cuando, de nuevo, se trataba de un problema de oficio más básico, si no basal: de la probabilidad de que un excavador concreto distinga -y registre-, en la estratificación, la misma estratigrafía que distinguiría cualquier otro excavador. O mejor, del grado de confiabilidad de un “experimento irrepetible” por definición, sabiendo, por elevarlo al universo de la Relatividad General tal como se sabía desde 1915, que también la masa del punto de observación influye en la curvatura del espacio-tiempo observado. Y pretender aclarar el problema en una analogía física podría parecer frívolo si no fuera porque la creación del documento arqueológico apela tan intuitivamente a lo real; si materialidad y objetividad se estrechan tanto aquí; que resultaría en una disonancia todavía mayor

parangonarlo con el documento etnográfico, sujeto por lo demás a problemáticas semejantes.

En uno de los trabajos más lúcidos a este respecto, Lucas (2001b) se preguntaba si acaso un exceso en la valoración destructiva de la excavación no ha terminado volviéndola intrascendente en sí misma para el proceso de conocimiento, frente a un registro autorreferencial que resultaría más sencillo desvestir -imaginariamente- de subjetividades. No hace falta coincidir con él en todo -plantear que la excavación no destruye, sino que desplaza la materia es hacerse trampas al solitario- para reconocer que, en efecto, "excavar es una práctica de descubrimiento, pero no simplemente en el sentido pasivo de una especie de revelación, sino activamente, como materialización" (Lucas 2001b: 42). El registro, y la documentación gráfica en particular, se construye entonces como metáfora más que como representación. Es decir, no mantiene con lo excavado la relación del original y su copia, sino la de dos originales de diferente naturaleza. Nosotros los calificaríamos, en términos generales, como lo real y la realidad. Merlo (2004), mucho más específica en esto, los explica como el paso de un espacio "háptico", perdido durante la excavación, a uno "transperceptual", que explicita metafóricamente lo experimentado excavando.

A decir verdad, esto, que no deja de ser la "condición de reflexividad" del registro, no les era tampoco ajeno a los proponentes teóricos iniciales. Carandini (2000: 13) ya se había preguntado y concluido "¿existen los estratos y el excavador los reconoce con mayor o menor exactitud, o es el excavador quien inventa sus estratos? Puede que ambos puntos de vista sean ciertos: la virtud está en el medio y en el medio está la unidad estratigráfica"; algo que bien podría parafrasearse como "entre lo objetivo y lo subjetivo está la práctica". Y precisamente el renovado énfasis en los métodos de registro se concibió, desde el inicio, como una mejora

sustancial en la trazabilidad de decisiones prácticas -no excavar por capas artificiales sino persiguiendo la estratigrafía; dividir esa estratificación en tales o cuales unidades estratigráficas- que no dejaban ninguna otra huella material.

Podría decirse que la acepción de "área abierta" que irá imponiéndose desde entonces respondía, sobre todo, a la eliminación de los obstáculos interpuestos con regularidad cartesiana por los testigos de cuadrícula, con el objetivo de entender la continuidad horizontal de estratos y estructuras. Y que sucedía que esa regularidad tampoco iba a coincidir necesariamente con las secciones más relevantes a la hora de entender y registrar la secuencia estratigráfica, por la sencilla razón de que ni siquiera hoy puede conocerse con suficiente exactitud qué va a descubrirse en la tierra hasta haberlo descubierto. Pero no es menos cierto que, por más seguridad -proporcional a su cercanía- que los perfiles del corte otorgaran y otorguen aún (Carandini 2000: 45), la sección tradicional arrastraba el problema de no capturar lo excavado de hecho, sino el interfaz, perfectamente bidimensional, que ese corte imponía con lo que había dejado de excavar (Harris 1983: 102). Por su parte, la ya mencionada técnica acumulativa de Barker trataría de hacerse cargo de ambas cuestiones flexibilizando la disposición de perfiles virtuales a medida que la propia excavación definía las secciones de mayor interés estratigráfico (Figura 2); aunque no es complicado deducir cómo la posibilidad de modificarlas o definir nuevas líneas en cualquier momento no anula la condición de ceñirse a lo establecido inicialmente si se pretende disponer de la secuencia completa en alguna de ellas.

La vuelta a la horizontalidad que acompañó la revisión de la importancia analítica de las superficies frente a los volúmenes demandaba, lógicamente, apoyar en el registro planimétrico la documentación más exhaustiva. También

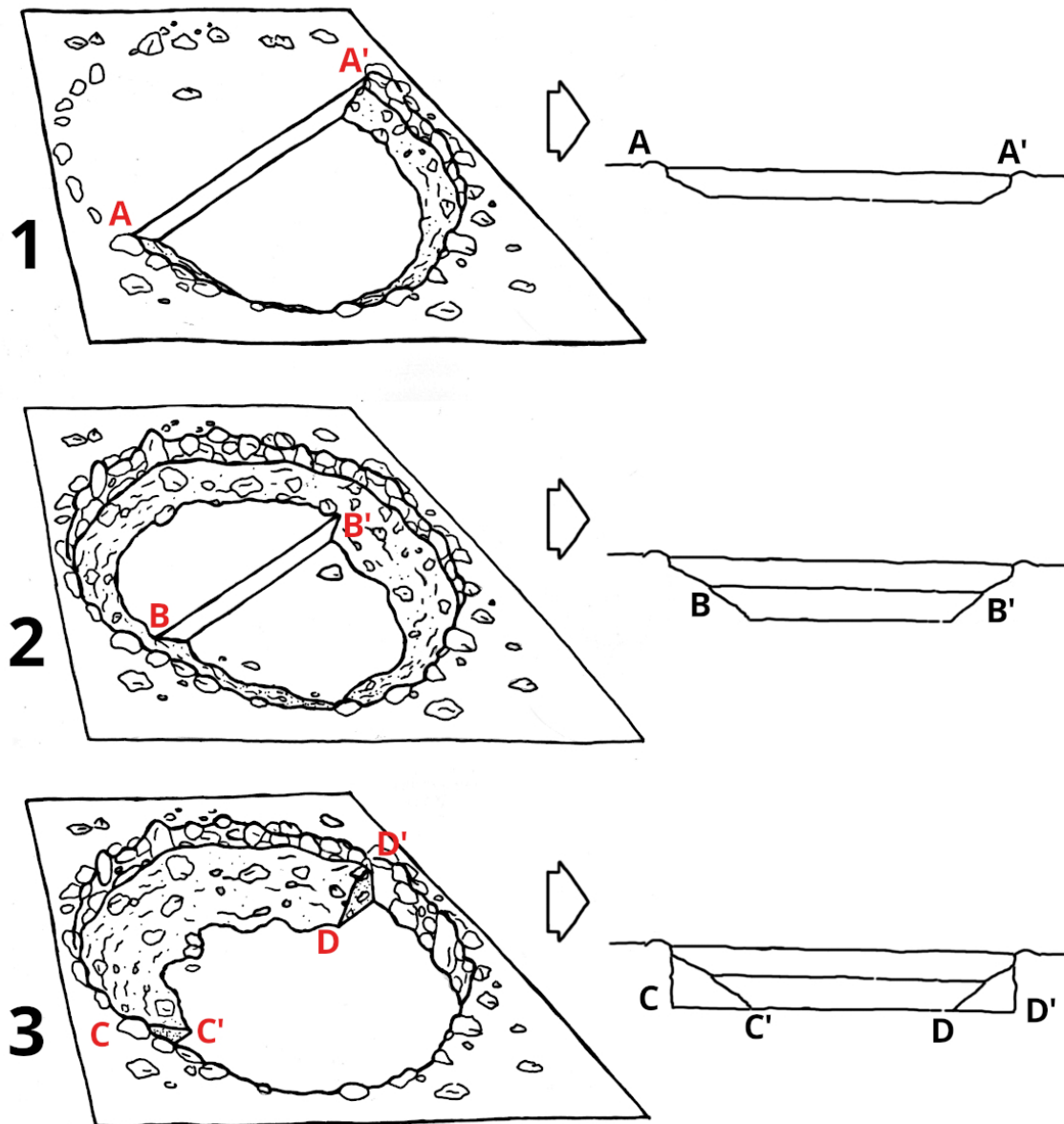


Figura 2. Esquema de la propuesta original de "sección acumulativa", dibujando secuencialmente los perfiles de cada unidad estratigráfica -positiva- a medida que se excavan; mientras que, por su parte, la más ágil versión "volante" no interrumpiría la excavación, sino que se limitaría a acotar la superficie de cada interfaz siguiendo una misma línea.

aquella pensada en dimensión vertical-temporal. En el fondo, ninguna de las infinitas líneas de sección trazables sobre un corte de excavación es capaz de capturar íntegramente las relaciones que cada unidad estratigráfica traba en su desarrollo tridimensional; pero por

paradójico que resulte, una planta, o más bien una sucesión de plantas sí podría llegar a hacerlo. Combinada en la práctica con el empleo de las puntualmente más precisas secciones acumulativas y -donde los haya- de perfil, la "planta de estrato simple" (Carandini 2000: 116-118; Harris 1983: 122-128) rescataba, mediante la introducción de cotas en puntos significativos, la información mínima indispensable del contorno y relieve del interfaz superior de cada unidad estratigráfica, de tal modo que la superposición del total de estos verdaderos "modelos 2.5D" permitiera reconstruir por interpolación cualquier sección no prevista (Figura 3).

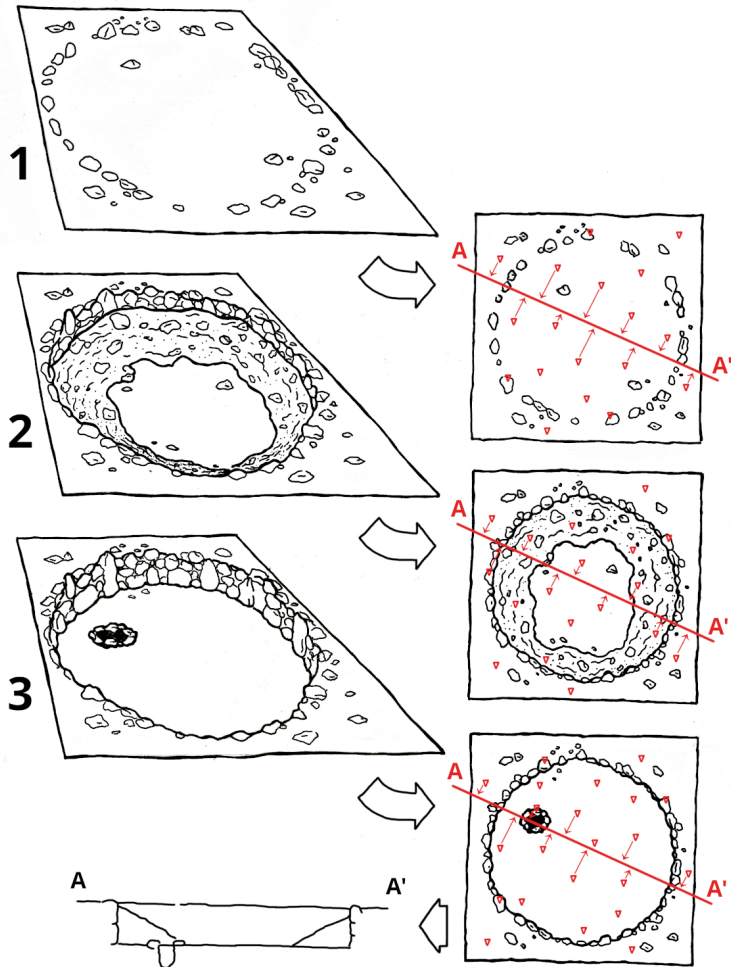


Figura 3. Esquema del trazado de secciones sobre un conjunto final de planimetrías acotadas, lo que aseguraría indefectiblemente capturar las líneas de mayor interés estratigráfico; sin embargo, como se puede observar, la precisión del cálculo que reconstruye la realidad excavada dependerá siempre de lo denso y representativo de las mediciones realizadas durante su excavación.

Tampoco se pretendía reemplazar con ello otro tipo de “plantas compuestas” -de periodo, de estructuras, finales, etc.-, enfocadas en capturar el detalle de texturas y relaciones horizontales específicas en toda la extensión del corte excavado, y por eso más lentas de ejecutar. Reflexionando sobre la necesidad de seleccionar cuidadosamente estas últimas, habida cuenta de que, al contrario que con las simples, la superficie documentada comprendería siempre

un porcentaje de interfaces solo parcialmente expuestos, anotaba de nuevo Carandini (2000: 119-120):

podríamos confeccionar, en teoría, tantas plantas compuestas como unidades estratigráficas identificadas; podríamos considerarlas, así, como una serie continua de fotogramas, unidad por unidad, ilustrando la acumulación sucesiva de la estratificación a través del tiempo; pero del mismo modo que no pueden dibujarse todas las secciones imaginables en una excavación, no puede hacerse con todas las plantas.

Pero, ¿y si ambas cosas fueran posibles?

En la práctica: Brevísima introducción al caso de estudio

Si tiene algún sentido contextualizar la experiencia que relatamos en una problemática de investigación definida, este es el de enfatizar que ninguna estrategia de campo es necesariamente buena o mala en lo absoluto, sino en función de sus objetivos. En cualquier caso, para un público argentino, probablemente la tradición Taí no requiera presentación alguna. Han pasado por este pequeño valle que ejerce de corredor natural entre las yungas y las alturas de los Andes meridionales, en la Provincia de Tucumán, varias de las voces que dieron forma a la disciplina (Ambrosetti 1897; Berberían 1988; González y Núñez Regueiro 1962), fascinadas por el paisaje fosilizado de quienes se descubrirían como las primeras comunidades agropastoriles sedentarias de la región. Y la alusión al paisaje no es fortuita: cientos de estructuras circulares de piedra son todavía visibles en superficie; desperdigadas por el valle y sus alrededores, en agrupaciones más o menos difusas y entre los restos de campos de andenería (Figura 4). De hecho, la propia posibilidad de considerarlas en conjunto, como parte de una misma tradición cultural, descansa principalmente en la particular repetición de un

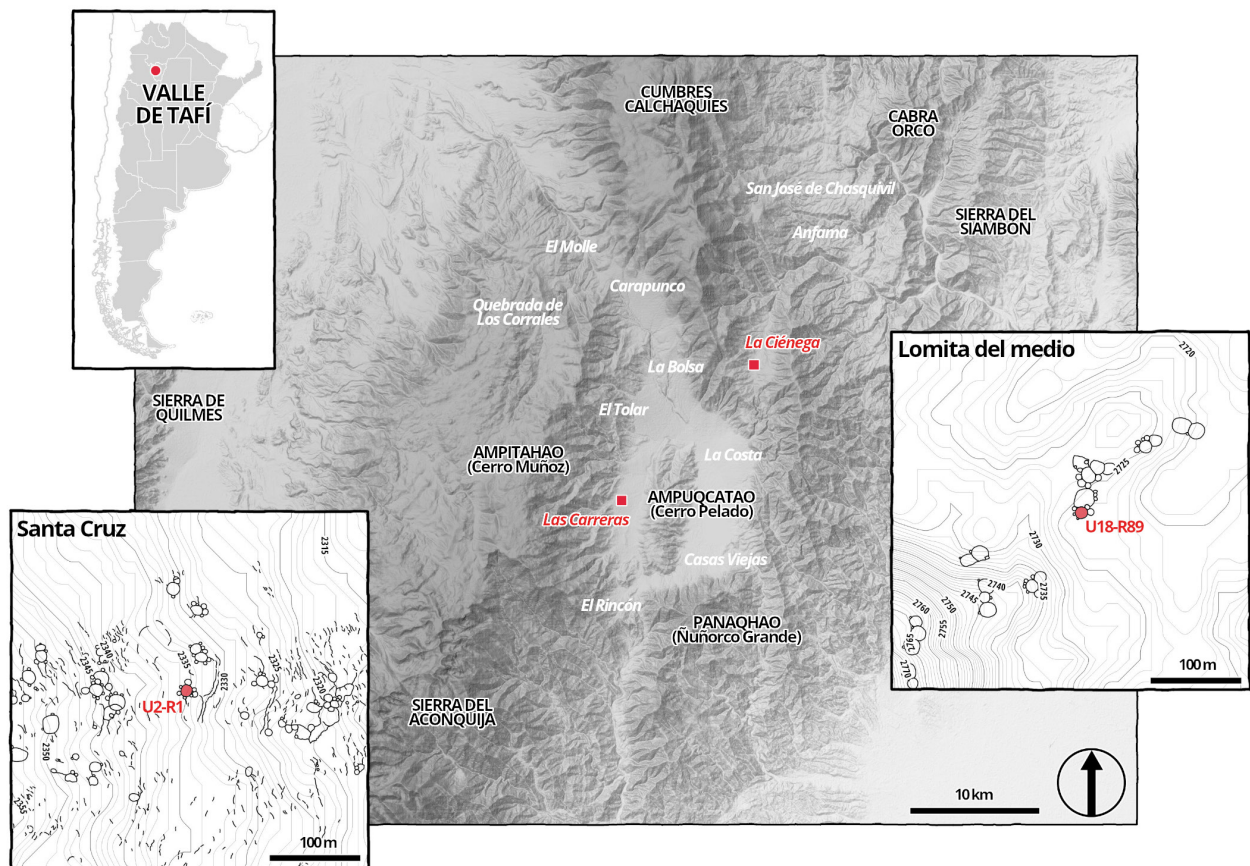


Figura 4. Principales áreas y sectores con presencia de restos arqueológicos de tradición Tafí, destacando el contexto inmediato de las estructuras intervenidas. Base geográfica elaborada a partir del modelo ALOS/PALSAR-DEM, ajustado -35 m para corregir la diferencia altitudinal media respecto del MDE-Ar v2.1.

diseño habitacional muy concreto (Oliszewski 2017): un patio central de 10-20 m de diámetro al cual, en su configuración básica, se le adosa un número variable de recintos menores, de 2-8 m. Casas marcadamente segregadas del exterior e interpretadas como unidad protagónica en la construcción y articulación de identidades sociales; a partir de la “ancestralización” de determinados muertos, cuya presencia, manifiesta en una o varias cistas en dicho patio, se habría integrado en la cotidianidad de los vivos.

A pesar de la dilatada historia de estudio y los fundamentales aportes realizados desde

diferentes perspectivas, lo cierto es que todavía desconocemos aspectos clave para la caracterización de este fenómeno, varios de los cuales relacionados con la temporalidad de unas lógicas de ocupación centrífugas que parecen irrumpir en el registro arqueológico perfectamente formadas y mantenerse sustancialmente inmutables a lo largo de buena parte del Primer Milenio de la era (Franco Salvi *et al.* 2014; López Lillo 2017). Un punto básico en este sentido ha sido la multiplicación de dataciones absolutas; pero en la mayoría de ocasiones estas se han concentrado en sectores específicos; y hasta hace pocos años, ni siquiera contábamos con un perfil cronológico completo de una vivienda excavada en área abierta (Bernasconi de García y Baraza de Fontes 1982; Salazar *et al.* 2007, 2011; Sampietro y Vattuone 2005).

Las campañas de 2021 en La Ciénega y 2023 en Las Carreras se enfocaron en este punto. Ambos son valles contiguos al principal de Tafí, pero diametralmente opuestos no solo

en su posición geográfica sino en el impacto antrópico contemporáneo y los antecedentes de investigación: largamente conocido el primero, aunque aún escasos (Cremonte 1988; Quiroga 1899); básicamente inexistentes en el segundo. En ambos casos, también, se intervino el patio central de dos viviendas, respectivamente ubicadas en los sectores de Lomita del Medio (U18) y Santa Cruz (U2), considerando las mayores probabilidades de aislar aquí una horquilla de ocupación efectiva entre los estratos inmediatamente inferiores al derrumbe de sus muros perimetrales y la parte más baja de las esperables cistas de inhumación. Pero, por lo que atañe a la premisa con que iniciábamos este apartado, cabe mencionar cómo en la misma campaña de 2021 se trazaron sendas trincheras en los ejes transversal y longitudinal de un montículo potencialmente vinculado con algún tipo de prácticas de integración supradoméstica, a fin de obtener una primera imagen de la estructura interna en sus secciones de perfil (Salazar *et al.* 2024). Y por lo demás, los pozos de sondeo en campos de cultivo y otras estructuras productivas son habituales siempre, dirigidos sobre todo a la obtención de muestras paleoambientales y de contraste.

En el campo: Una metodología adaptada

Cuando hace algo más de diez años comenzamos a experimentar con la fotogrametría como método integral de registro arqueológico, uno de los aspectos que reivindicábamos -quizá el más determinante, a fin de cuentas- era la asequibilidad resultante de dos dinámicas inversamente proporcionales: un perfeccionamiento tecnológico cada vez mayor, que simplificaba el manejo de *hardware* y *software* al nivel de usuario, y un coste de adquisición en lo básico de dicha tecnología cada vez menor. No reviste mérito alguno el haber dado por supuesto que la tendencia debía acelerarse en lo sucesivo. Y así, que las soluciones adoptadas en aquel primer experimento iban a quedar antes o después obsoletas; por lo que la validez de

la propuesta descansaría, casi exclusivamente, en el trasfondo de una metodología sólida pero adaptable.

Entonces necesitábamos una pértiga de fibra de vidrio a fin de elevar unos 5 m sobre el suelo una cámara reflex cableada a un dispositivo LCD que permitía controlar en tiempo real la fotografía, realizada mediante disparador remoto. Trabajando preferentemente con tomas cenitales y con una distancia focal mínima de 18 mm, esto imponía la división de los cortes en cuadrículas de 3x3 m, conceptuadas como meras unidades de registro e independientes a cualquier otro efecto tanto de la excavación -simultánea en todo el corte- como del procesamiento informático último de los modelos fotogramétricos. Con la tecnología actual, estos limitantes han desaparecido. Tanto en 2021 como en 2023 este tipo de sistema de elevación fue directamente sustituido por el empleo de UAV equipados con sensores CMOS de serie. En concreto, un DJI Phantom 3 Pro como instrumento principal, respaldado en la última campaña por otro DJI Mini 2 SE.³

La posibilidad de regular la altura a voluntad -así como de procesar de manera conjunta y ágil paquetes mucho mayores de imágenes mucho más heterogéneas, por lo que respecta al *software*- hacía ahora innecesario el recurso a cuadrículas análogas a aquellas. Y, sin embargo, las mantuvimos esta vez con miras a (1) la sistematización de descripciones en los diversos diarios y fichas de registro, (2) la trilateración manual desde sus vértices de hallazgos embebidos en paquetes estratigráficos, y (3) la toma ordenada de muestras sedimentarias en interfaces especialmente sensibles, como los pisos de ocupación, subdividiendo a su vez la cuadrícula en una rejilla de 1x1 m. Otra característica conservada, esta vez sí como parte de la base metodológica, fue el empleo de puntos de apoyo topográfico jerarquizados según su perdurabilidad. No por nada, el planteamiento de la rejilla y la colocación de

los denominados “puntos fijos”, evidentemente destinados a mantenerse a lo largo de toda la excavación, constituyeron el indefectible primer paso de las intervenciones de campo (Figura 5).

Una ventaja adicional de estas excavaciones fue el hecho de poder romper muy fácilmente la disposición ortogonal de dichos puntos, marcados con pintura al agua sobre diversas rocas en torno a las estructuras seleccionadas. Por contra, en el planteamiento original, la posición y el carácter infinitamente más liviano y precario de las estructuras -apenas cubetas de barro rubefactado-, así como, sobre todo, la constricción del área de registro a poco más que la cuadrícula, obligaban a hacer depender esto mucho más de la colocación de “puntos semiflotantes” en el interior del corte de excavación. La idea con ese segundo nivel de apoyo era la de contar con puntos que tal vez no permanecerían inmóviles durante todo el proceso, pero sí lo suficiente como para utilizarlos en más de una secuencia de registro; colocados, por ejemplo, sobre la superficie de un estrato que buza, mientras se retira el que lo cubre parcialmente; o sobre estructuras no visibles en superficie, que pudieran emerger eventualmente en el transcurso de los trabajos. Este último era, desde luego, un escenario previsible al excavar el patio central de casas patrón Tafí. En ese sentido, la utilización de puntos semiflotantes una vez definidos rasgos arquitectónicos asentados en niveles de ocupación, tales como cistas y deflectores, permitiría «anclar» dentro de la malla general proporcionada por los puntos fijos, registros confinados en sectores concretos del área de excavación. Y hacerlo incluso cuando, movidos por la situación o el ritmo del trabajo, resultaba más operativo realizar algunas tomas desde tierra, empleando la cámara réflex. Pero podría entenderse también de la misma manera la adición sobrevenida de puntos fijos a fin de compensar la remoción de otros según se clarificaban ciertos derrumbes, o como en el

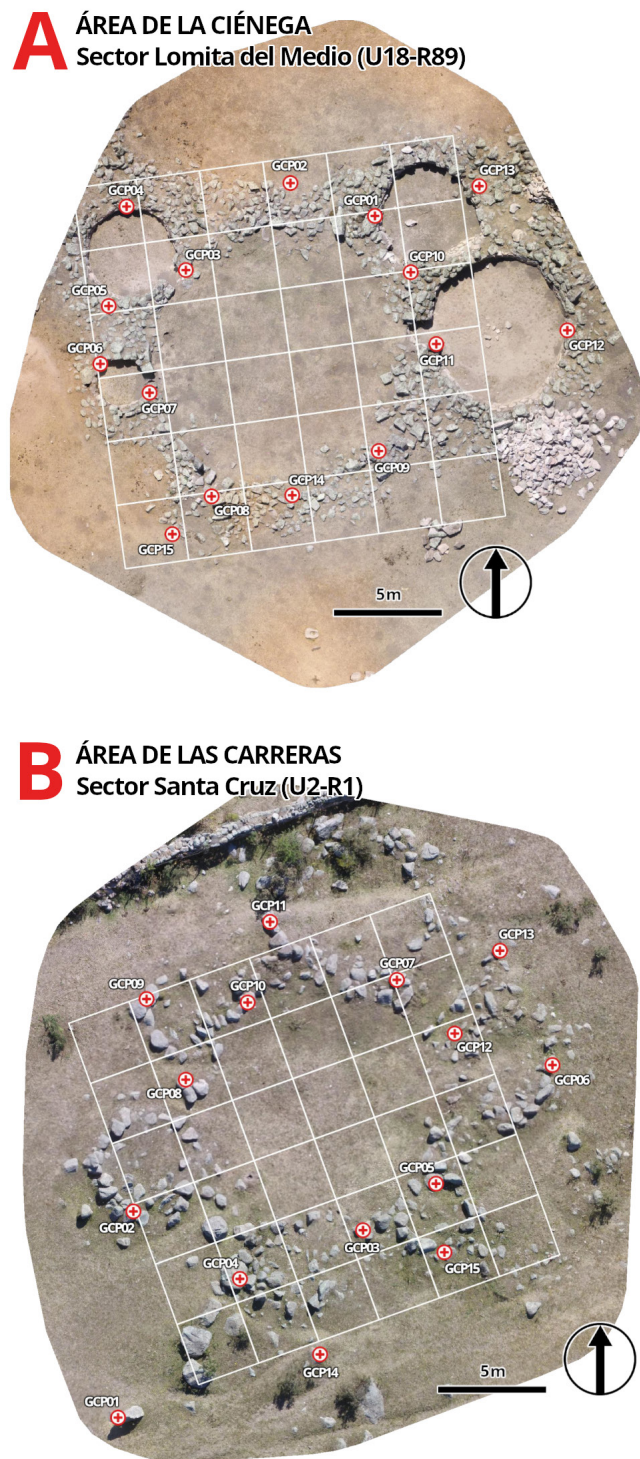


Figura 5. Ortofotografías de la situación inicial, sobrepuestas cuadrículas y “puntos fijos”. Nótese cómo, en Lomita del Medio (a), cuatro de las estructuras adyacentes habían sido excavadas con anterioridad; una quinta sería aún descubierta al abrir el corte hasta la esquina suroeste de la cuadrícula, obligando a añadir GCP14 y GCP15 como respuesta a la pérdida de GCP08.

caso de la U18, se decidía ampliar el corte de excavación abriéndolo extramuros.

Finalmente, los “puntos flotantes” representaban un tercer nivel de apoyo, ideados en principio con una doble función. Pequeños marcadores de acetato coloreado fijados mediante tachuelas, estos se distribuían de manera -más o menos- aleatoria por el total de la superficie a registrar cada vez que era alcanzado un interfaz entre estratos, retirándolos una vez registrado para proseguir excavando el siguiente exactamente del mismo modo en que se acostumbra acotar planimetrías en cualquier excavación en área abierta. Por un lado, contar con estos marcadores de alto contraste pretendía facilitar en la medida de lo posible los cálculos automatizados a realizar por el *software* de restitución fotogramétrica; en especial, a la hora de enfrentar superficies excesivamente monótonas o regulares. Por el otro, estos puntos servían de referencia visual para la toma de cotas por medios tradicionales -y de ahí el que su colocación fuera solo más o menos aleatoria, pues una correcta toma de cotas requiere concentrar cierto número de mediciones en zonas volumétricamente complejas del relieve, mientras se las espacia en aquellas constantes-. En todos los casos, estos medios consistieron en niveles ópticos que, paradójicamente, pudieron apoyarse con una Estación Total solo en el ensayo original (Charquero Ballester y López Lillo 2012: 84n4).

En aquel momento, la inclusión de esta redundancia en el registro altimétrico tenía el objetivo de confrontar el rendimiento de ambas metodologías, si bien llegamos muy temprano a la conclusión de que funcionaban en márgenes de error lisa y llanamente incomparables. Por lo pronto, porque con los medios tradicionales este error suele ser directamente desconocido. O lo que es lo mismo: requiere de tal inversión de tiempo el calcularlo que no acostumbra hacerse por sistema, ni en verdad a repetir series de mediciones sujetas a una variación,

a lo sumo, de unos cuantos centímetros, salvo que se haya detectado positivamente algún problema. Lo contrario entorpecería el trabajo más allá del beneficio razonablemente esperable; y precisamente esta -la viabilidad de su acompasamiento con un ritmo de trabajo normal, en condiciones normales- terminó siendo la única medida comparativa importante a la hora de valorar la implementación de la fotogrametría como medio integral para resolver la documentación técnica de campo.

Con el tiempo, y con los resultados a la vista, hemos conceptualizado el mantenimiento de este sistema redundante como registro de seguridad. Teniendo en cuenta la utilización sistemática de bocetos de planta destinados, entre otras cosas, a facilitar la identificación de unidades estratigráficas en el posterior procesado de datos, acompañar cada relevamiento digital de una serie de mediciones altimétricas tradicionales que recoja todos los puntos de apoyo -fijos, semiflotantes y flotantes- presentes en la superficie que se documenta podría, llegado el caso y con sus obvias limitaciones, coadyuvar decisivamente a remontar una planimetría acotada de emergencia. Esto resulta especialmente tranquilizador cuando se depende de instrumentos eléctricos; eventualmente operados en zonas y condiciones ambientales complicadas; y de los cuales no se obtiene un retorno inmediato del todo completo, en la medida en que es necesario procesar las fotografías realizadas para cerciorarse de la idoneidad del paquete que conforman. Y Sin embargo, al menos en lo experimentado hasta la fecha, nunca se ha dado un problema o fallo ni metodológico ni instrumental tan grave como para vernos en esa tesitura.

En el laboratorio: Proceso informático y evaluación de resultados

La manera más expeditiva para reducir la incertidumbre sobre la capacidad de obtener un modelo fotogramétrico adecuado a partir

de un paquete de imágenes en concreto es reducir el tiempo de espera entre la toma de datos y su procesado primario; o al menos, preliminar. Llevado al extremo, esto requeriría disponer de un ordenador directamente sobre el terreno, aunque lo cierto es que la experiencia adquirida ha demostrado cómo un manejo eficiente de las tareas y tiempos de excavación es suficiente para que solo disponiendo de él en el laboratorio de campaña⁴ pueda lograrse un equilibrio perfectamente funcional entre la certitud del registro y el avance del trabajo de campo.

Un vistazo a la Tabla 1 permite comprobar, por un lado, el relativamente limitado número de ocasiones en que el registro afectó al total de la superficie abierta por el corte de excavación; o lo que es lo mismo: las veces en que, sujetos a las particularidades específicas del caso de estudio aquí tratado, esos trabajos de excavación propiamente dicha no podían, sencillamente, redirigirse y concentrarse en sectores diferentes a los afectados por el registro. Pero, sobre todo, se evidencia el lapso de tiempo -considerablemente reducido- que ocupó la captura fotográfica. Desde luego, esto no es directamente comparable con lo que ocupa el dibujo técnico de campo, del cual puede decirse que se obtienen productos sólidos inmediatos a pesar de que requieran una posterior puesta en limpio. Tampoco sería justo limitarse a sumar los tiempos de captura y procesado. Primero, porque tales medidas, calculadas automáticamente por el *software* fotogramétrico, no incluyen preparaciones sobre el terreno y frente al ordenador: desde la colocación de puntos a la descarga de fotografías, selección, filtrado, etc.; o los tiempos dedicados en otro tipo de *software* al tratamiento de imágenes y obtención de productos finales. Y segundo, porque nada de ello es verdaderamente necesario para cerciorarse de la viabilidad de un paquete fotográfico. Ni siquiera es necesario que los parámetros de ese primer procesado respondan -como sucede en la Tabla

1- al estándar definitivo que se decida emplear, habitualmente mucho más demandante de lo que precisa comprobar la reconstrucción de una volumetría correcta en media o baja calidad.⁵

Esto nos lleva directamente a las especificaciones del *software*. El espectacular desarrollo en los últimos años de la programación en código abierto, también en el caso de la fotogrametría digital, ha permitido ensanchar en otro sentido la filosofía que guiaba la propuesta original hacia un diseño metodológico lo más asequible posible. Es por ello que se decidió emplear la aplicación de escritorio WebODM,⁶ basada en la técnica conocida como *structure-from-motion* (Anderson 2020; Green *et al.* 2014; Westoby *et al.* 2012) que, a través de la detección y correlación automática de "rasgos" (*features*) entre las diferentes fotografías que conforman el paquete procesado, permite prescindir de las antiguas instancias de calibración de cámaras u orientación manual de las imágenes. Por lo demás, los pasos seguidos son similares en cualquier *software* de este tipo: a la alineación de las fotografías sigue la generación de una nube densa de puntos tridimensionales, cuya interpolación triangular permite obtener una superficie eventualmente dotada de textura fotorrealista (Figura 6).

Desde este momento, los datos recabados del propio proceso informático ofrecen elementos interesantes para la consideración, siendo el más obvio de ellos -quizá tan obvio que pasa desapercibido- el salto cuantitativo que implica disponer del equivalente a varios miles de cotas por metro cuadrado -quizá tan cuantitativo, que deviene cualitativo-.

Otro aspecto fundamental en esta misma línea es la posibilidad de medir la calidad de esas mediciones con facilidad, lo cual abre todo un campo relativamente nuevo para el control y comparación de resultados que, en última instancia, debería de revertir en un progresivo afinamiento de las metodologías de registro. En

	Fecha de registro	UAV	N° de fotografías	Tiempo de captura	Tiempo de procesado	Área cubierta (m2)	Rasgos reconstruidos		Puntos en nube densa	Puntos/m2	GSD (cm)	RMSE de GCP (cm)	RMSE de reproyección (cm)	Precisión horizontal (CE90)		Precisión vertical (LE90)		
							Mínimo	Mediana						Absoluta (cm)	Relativa (cm)	Absoluta (cm)	Relativa (cm)	
U18-R89 sector Lomita del Medio	26/09/21	Phantom	82	7min 37s	16min 26s	976	631	4902	12079607	12377	0.7	75*	2.6	76.1*	2.4	110*	4.1	
	29/09/21	Phantom	109	9min 53s	26min 24s	473	2162	6103	17267071	36505	0.5	2.1	3.3	0.8	4.4	1.9	5.3	
	02/10/21	Phantom	104	7min 59s	22min 7s	596	320	4743	16064610	26954	0.4	2	2.1	0.9	3.2	2	2.9	
	05/10/21	Phantom	98	8min 51s	29min 23s	611	766	5242	13938561	22813	0.4	2.4	2.9	2.7	2.1	2.7	2.3	
	08/10/21	Phantom	50	4min 13s	11min 45s	314	1165	4461	7906056	25179	0.6	2.8	2.3	2.2	2.5	2.9	4.3	
	12/10/21	Phantom	87	7min 27s	17min 59s	824	554	3987	11929773	14478	0.6	2.6	2.8	2	4	3	3.3	
	Media			88	7min 40s	20min 41s	632	933	4906	13197613	23051	0.5	2.4	2.7	1.7	3.1	2.5	3.7
	Mediana			89	7min 48s	20min 3s	604	699	4823	13009084	23996	0.6	2.4	2.7	2	2.9	2.7	3.7
U2-R1 sector Santa Cruz	15/05/23	Phantom	26	8min 25s	14min 57s	1034	184	2113	15814938	15295	1.3	1.6	3.1	1.4	3.2	2.5	6.1	
	17/05/23	Phantom	60	4min 42s	14min 4s	1409	1768	4741	8419438	5975	1.2	1.7	6.4	1.4	5.8	2.8	7.7	
	20/05/23	Mini	59	8min 26s	10min 36s	2122	292	2398	5864354	2764	0.9	1.3	3.4	1.2	2.2	1.9	4.9	
	23/05/23	Mini	70	8min 20s	27min 17s	1175	565	4400	24941620	21227	0.6	1.1	4.5	1.3	7.5	1.4	7.2	
	26/05/23	Phantom	110	13min 34s	26min 15s	2339	1258	4801	16430911	7025	0.8	1.4	6.1	1.5	8.5	1.7	8.3	
	30/05/23	Mini	125	13min 52s	63min 14s	1795	510	5576	51007036	28416	0.8	1.6	5.7	1.4	5.9	2.9	10.6	
	02/06/23	Mini	95	4min 50s	20min 6s	614	392	3211	10315469	16800	0.5	1.6	2.9	1.6	3.4	2.5	4.9	
	Media			78	8min 53s	25min 13s	1498	710	3891	18970538	13929	0.9	1.5	4.6	1.4	5.2	2.2	7.1
	Mediana			70	8min 25s	20min 6s	1409	510	4400	15814938	15295	0.8	1.6	4.5	1.4	5.8	2.5	7.2

Tabla 1. Resumen de los parámetros de calidad reportados por WebODM. Los valores con asterisco no corresponden a mediciones GCP sino GPS (vid. infra).

cualquier caso, es evidente que el rendimiento alcanzado en estas experiencias es mucho más que satisfactorio para los estándares de excavación en factores como la distancia de muestreo del suelo (GSD). Se trata este de un valor comúnmente utilizado en topografía aérea que recoge la longitud planar entre el centro de dos píxeles consecutivos al nivel de captura de datos, por lo que no corresponde exactamente a la resolución espacial de los productos finales -sistemáticamente fijada en 2 cm para nuestro caso- sino más bien, por así decirlo, a su mínimo posible en base a la

información nativa. Existe por tanto un vínculo directo entre las variaciones del GSD obtenido con un mismo aparato y las condiciones de vuelo. Principalmente, de la altura a que se realiza la operación; y esto explicaría en buena medida la sensible diferencia reportada entre los registros de Lomita del Medio y Santa Cruz, donde además se evidencia cómo esto podría llegar a influir más que el propio aparato. Pero no solo la altura influye; y otras variables más o menos controlables incluso en vuelo manual, como el grado de solapamiento, los ángulos o la nitidez de las tomas, o contingentes, como la situación atmosférica general o la posición del sol en el momento preciso en que se impone la realización de un registro para no interrumpir excesivamente la marcha de los trabajos, juegan su papel.

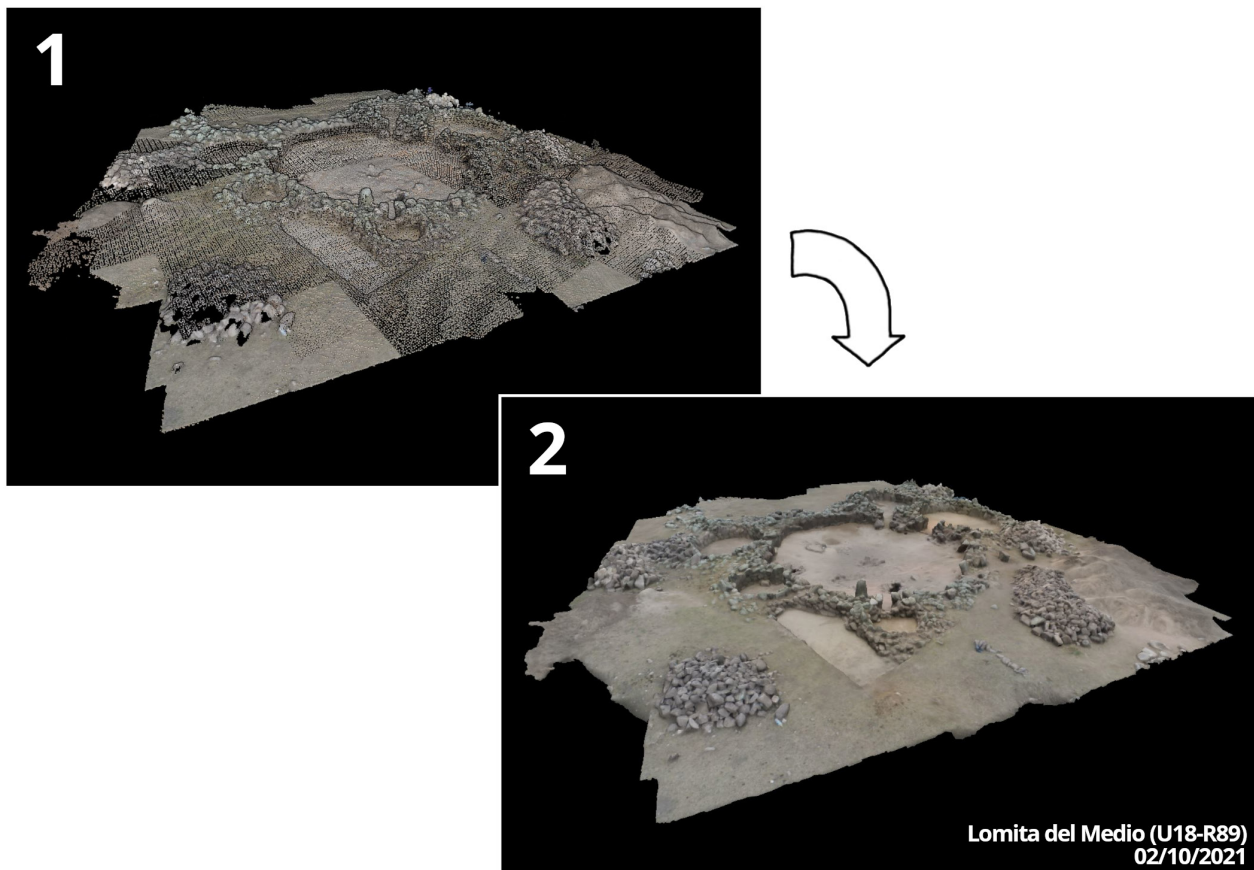


Figura 6. De la nube de puntos densa, limitada a 500.000 con fines didácticos (1), a la textura fotorrealista (2): dos productos del mismo modelo tridimensional en WebODM.

La consistencia interna del modelo de restitución tridimensional puede medirse igualmente a través del cálculo de la raíz del error cuadrático medio (RMSE) del total de puntos correlacionados que lo componen una vez re proyectados por el *software*. O en sus márgenes de precisión relativa horizontal y vertical, respectivamente expresados, según convención, como estimaciones del percentil 90 para los errores de posición circular (CE90) y lineal (LE90). En este sentido, y obviando el recurso a una repetición de la toma de datos en mejores condiciones -lógicamente disponible solo si se ha completado ese procesado primario antes de continuar excavando-, cabe considerar que aún queda espacio de optimización a través del ajuste de los parámetros según los cuales se ejecuta este proceso.

En el caso que nos ocupa, por ejemplo, se optó por mantener para la mayoría de registros la configuración predefinida como “alta calidad” por los programadores. Sin embargo, en aquellos paquetes algo más conflictivos, como los correspondientes a los días 15/05/23, 23/05/23 y 30/05/23 de la serie de Santa Cruz, se aumentaron las calidades de identificación de rasgos y generación de nube de puntos, y se cambió el algoritmo de cálculo incremental por el de triangulación. Ello resultó en mejoras de entre 3 y 5 cm en los dichos valores sobre la precisión relativa. Explica, asimismo, el tamaño puntualmente desproporcionado de alguna de estas nubes; si bien lo cierto es que los demás índices no se mueven en rangos muy diferentes a los del resto, incidiendo en la importancia determinante del material fotográfico original; y en cualquier caso, para ser justos, también lo es que los errores más importantes tienden a concentrarse en los márgenes del modelo, donde ese material es más escaso y está más deformado por la lente de la cámara. Esto último

se torna especialmente relevante si tenemos en cuenta cómo el área cubierta en Santa Cruz, ostensiblemente mayor que en Lomita del Medio, no responde a la necesidad de registrar un corte de excavación más amplio, sino a la documentación de un mayor porcentaje de su entorno inmediato. De ahí la mayor altura de vuelo, a su vez. Y de la mayor altura de vuelo, además de lo ya mencionado sobre el GSD, la posibilidad de que el segundo plano de algunas fotografías oblicuas -por lo común, removidas de los paquetes de procesamiento- prolongue en exceso un fondo de por sí distanciado de los puntos de referencia topográfica, invariablemente situados en torno al corte.

Continuando por aquí, por lo que atañe al aspecto metodológico de esta experiencia, tal vez sean más interesantes las mediciones de calidad referidas a la precisión absoluta; o lo que es lo mismo: a la exactitud del posicionamiento y la escala de los modelos tridimensionales.

Como la mayoría del *software* fotogramétrico actual y salvo que se le indique lo contrario en las opciones de configuración, WebODM utiliza los metadatos del GPS integrado en el UAV para posicionar las tomas, y por tanto, el modelo resultante. A menos que la operación se apoye en un sistema de navegación cinemática en tiempo real (RTK),⁷ es bien sabido tanto que esto puede conllevar errores de varios metros sobre la superficie de la tierra, especialmente notables en la vertical, como que tal desplazamiento en nada afecta a la geometría tridimensional, perfectamente válida a pesar de su inexactitud geográfica. Ahora bien, cuando de lo que se trata es de introducir la cuarta dimensión, registrando sucesivamente el mismo espacio para captar variaciones temporales (Figura 7), la acumulación dispareja de estos errores puede tornarse un problema muy grave.

En la propuesta original, esto se solventaba en primera instancia correlacionando manualmente los puntos fijos y semiflotantes

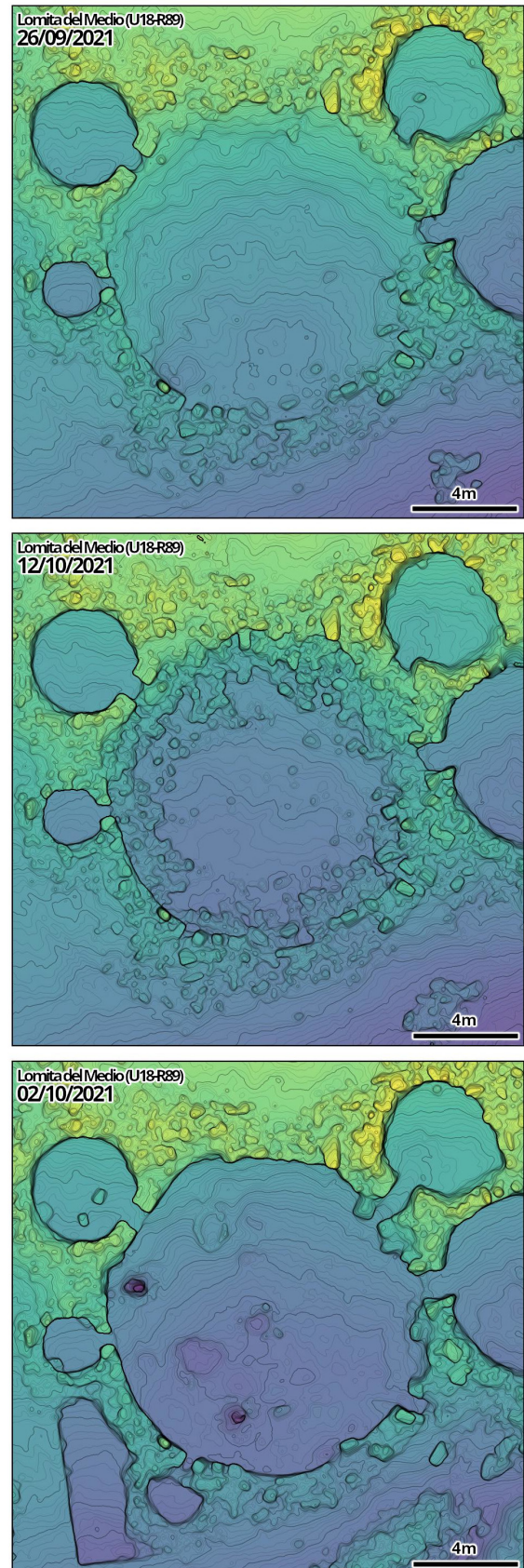


Figura 7. Cambios en el relieve superficial de la U18 a medida que avanza la excavación. Curvas mayores cada 10 cm.

recuperados para cada registro en el espacio cartesiano de un *software* tipo CAD, lo que alineaba en consecuencia, deformando si era preciso, el resto de elementos que componían el respectivo modelo digital. Esto es algo todavía perfectamente funcional y probablemente más sencillo de ejecutar que en aquel momento, gracias a la proliferación de programas orientados al tratamiento de gráficos 3D, también en código abierto. Sin embargo, aunque esta información siempre podría georreferenciarse en una segunda instancia -y eso fue lo que hicimos entonces-, la opción más ágil en las condiciones actuales consiste quizá en tratar directamente los fijos como puntos de control terrestre (GCP) e incorporar sus coordenadas xyz en el flujo de trabajo fotogramétrico: en el caso de WebODM, necesariamente antes de procesar los algoritmos de restitución tridimensional.

Para esto existen varios caminos. La opción convencional implicaría capturar esas coordenadas en campo, y dado que los GPS de bolsillo operan con márgenes de error similares a los UAV, este procedimiento solamente tiene verdadero sentido si se dispone de aparatos geodésicos. Es muy probable que también una Estación Total permitiera construir un marco de referencia perfectamente adecuado si se renunciara de nuevo, al menos en un inicio, a la información geográfica. Pero tales soluciones no fueron ensayadas en esta ocasión. Sujetos a una inversión en *hardware* mínima y operando en situaciones de campo ocasionalmente complejas, se trazó un camino alternativo, en cierto sentido híbrido, que pasa por la recuperación de las coordenadas de los GCP *a posteriori* asumiendo el margen de inexactitud GPS de un registro UAV, pero neutralizando la acumulación de desplazamientos a través del resto de la serie a ensamblar. Es decir: procesando todos los registros sobre un único error constante, a fin de mantener entre ellos precisiones topográficas.

Apoyándose asimismo en la interoperabilidad de los datos manejados, este procedimiento reduciría la dependencia de pasos intermedios al centralizar toda la información -y la propia salida gráfica de los productos finales- en un solo tipo de *software*, perfectamente conocido e implementado largamente en el quehacer arqueológico: los Sistemas de Información Geográfica (Conolly y Lake 2009; Grau Mira 2006). El esquema de trabajo seguido en laboratorio para una serie de registro completa, entonces, partiría del procesamiento en WebODM de un primer paquete de imágenes georreferenciadas automáticamente a partir de los metadatos almacenados por el UAV. Una vez generado el modelo tridimensional, exportaría, en concreto a QGIS,⁸ las proyecciones bidimensionales que permiten identificar visualmente y capturar las coordenadas horizontales y verticales de los GCP; es decir, respectivamente, la ortofotografía y el Modelo Digital de Superficie (DSM). Extraídos los puntos en el formato adecuado para operar con el interfaz GCP de WebODM,⁹ faltaría solamente proporcionar al *software* estas coordenadas en la fase de preparación del procesamiento fotogramétrico del resto de paquetes. La eficiencia del sistema queda constatada en los márgenes de precisión absoluta, así como los RMSE referidos a la posición GCP, recogidos en la Tabla 1. A efectos comparativos, además, hemos optado por conservar allí los valores del primer procesado -con GPS- de la serie de Lomita del Medio, correspondiente al registro del 26/09/21. En el caso de Santa Cruz, este procesado de referencia se ejecutó sobre el correspondiente al 17/05/23; registro que, sin embargo, fue reprocesado una vez capturadas las coordenadas GCP.

Excepción hecha, en principio (Katsianis 2024; Merlo 2016), de los gráficos tridimensionales propiamente dichos, la posibilidad de integrar en un mismo entorno de trabajo GIS todos los productos derivados del modelo fotogramétrico abre un abanico de opciones de procesado secundario que difícilmente podría reseñar, y

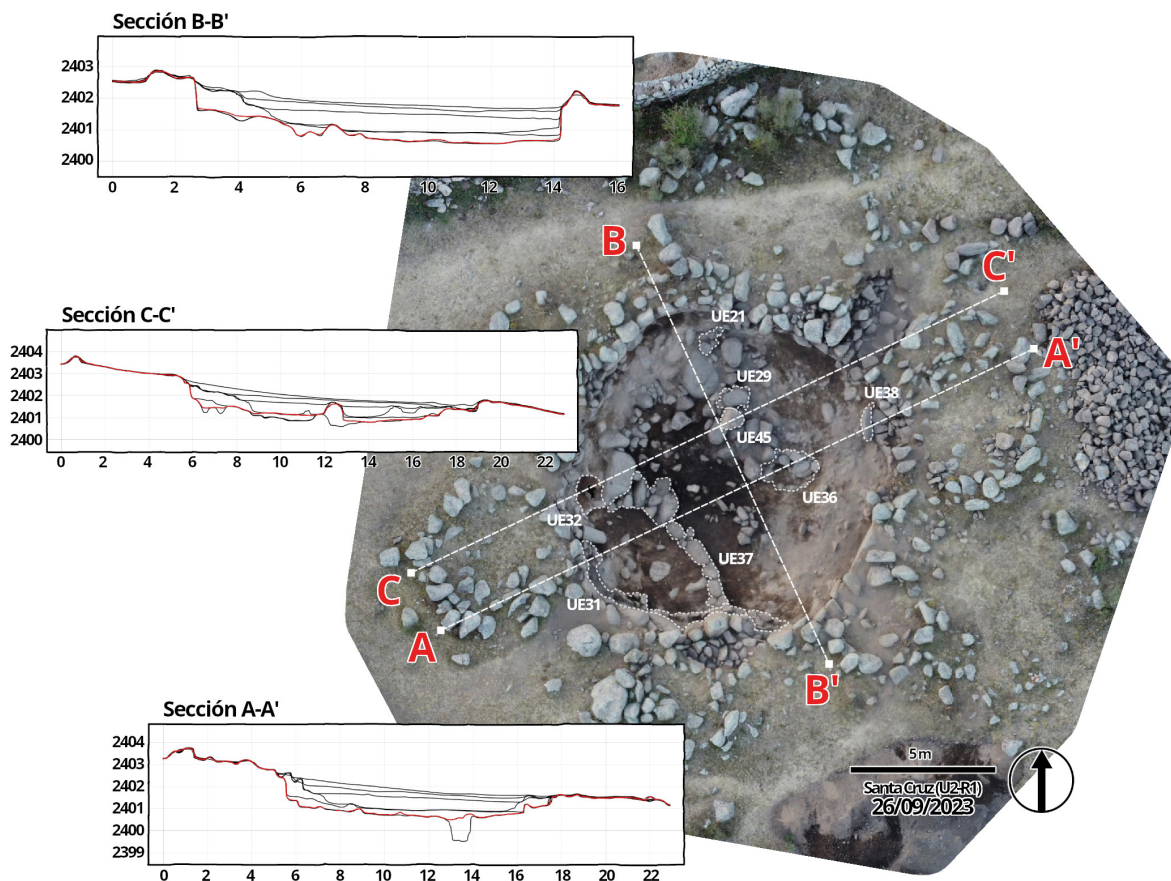


Figura 8. Ortofotografía de un momento en la excavación de U2, con indicación de unidades estratigráficas culturales. Las secciones, que se limitan aquí a recoger la posición de la superficie en la secuencia registrada, fueron extraídas mediante el complemento QGIS Profile (<https://github.com/PANOimagen/profiletool>).

menos poner a prueba un único trabajo. Ya solo a efectos de gestión integral de la información recogida durante una excavación arqueológica, poner en relación esta con cualquier otra información de índole geográfica y exportar datos en formatos y estándares compatibles, por ejemplo, con los de las instituciones para el cuidado del patrimonio, conlleva provechos colectivos difícilmente asequibles por otros medios (Boyd *et al.* 2021; Montalvo Puente *et al.* 2020); pero desde aquí, la creación de nuevos datos a través de la interacción analítica de cualquiera de esas capas de información potenciales los torna virtualmente inacabables también para la investigación, pues

las problemáticas que han de enfrentar otros casos de estudio permanecen, como los desarrollos técnicos por venir, suspendidos siempre en la indefinición generativa del futuro. Baste entonces cerrar el relato completando la documentación acostumbrada. Remitiendo a lo que en su momento denominamos modelo tridimensional acumulativo; que, en este caso descompuesto como el total de DSM cargados en QGIS, es capaz de devolver cualquier línea de corte -en consecuencia- estratigráfico no registrada explícitamente en campo (Figura 8) siguiendo la misma lógica de reconstrucción sobre planimetrías acotadas, pero con márgenes de interpolación varios órdenes de magnitud más precisos que los imaginados por Carandini. Y he aquí, todas las plantas, todas las secciones.

En conclusión

A pesar de no haberse generalizado rápidamente, como pensábamos que sucedería una década atrás, opinamos que experiencias

como la relatada abundan en el potencial de la fotogrametría en tanto herramienta axial para las metodologías de registro estratigráfico. El flujo de trabajo propuesto (Figura 9) da cuenta de una adaptabilidad a tecnologías, casos y situaciones específicas que se mantiene con todo; y los resultados cumplen, con creces, los estándares documentales de la práctica arqueológica de excavación. Es más: alimentan formas de visualizar y comunicar la información todavía no exploradas disciplinarmente.

Puede que una de las claves de esa demora -porque antes o después, terminará generalizándose- sea una “alfabetización digital” no siempre fácil de salvar si el trecho con el medioambiente tecnológico en que nos educamos originalmente es grande. Si no se percibe la necesidad de modificar unos procedimientos que siguen y seguirán funcionando pese a lo más limitado de sus prestaciones. Y puestos a hablar de necesidades, en esta implementación que evaluamos debe seguir ponderándose asimismo el entrenamiento de equipo. La conciencia compartida, e idealmente practicada al punto del oficio, sobre cómo hay que operar en campo para acompañar los objetivos generales de la intervención con los inmediatos de excavación material y registro. Aquí se explican, a su vez, algunas de las divergencias reportadas entre Lomita del Medio y Santa Cruz, que a nuestro entender constatan la naturaleza abierta de nuestro propio proceso de aprendizaje, y anuncian el sentido de los caminos a proyectar en experiencias venideras.

Sin embargo, y de vuelta al principio, en un momento en que la automatización informática empuja quizá más que nunca antes a fantasear con el dominio efectivo de recetas para procesos cuyas lógicas podría permitirse no comprender el usuario, conviene -quizá más que nunca antes- dedicar las últimas palabras a reivindicar la condición pedagógica de dominios más tradicionales. No se trata de

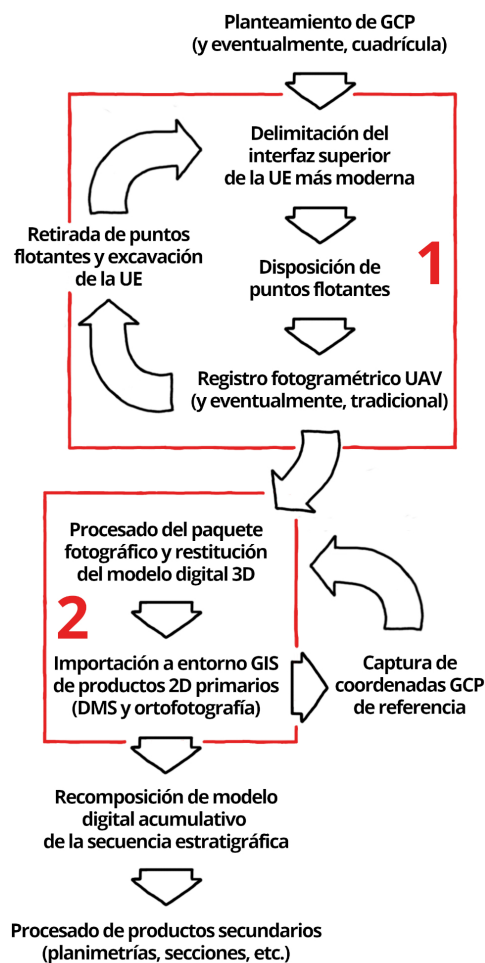


Figura 9. Resumen retrospectivo del flujo de trabajo, encuadradas en rojo las secuencias iterativas por unidad estratigráfica en campo (1) y laboratorio (2).

abogar por la emergente figura de un arqueólogo-ingeniero, puede que inevitable y desde luego potenciado en según qué instancias, sino de reparar en una necesidad todavía mayor que cualquiera de las antedichas. La de continuar formando y formándose en el detalle de las problemáticas de la excavación y el registro estratigráfico; en los fundamentos del dibujo topográfico; en la percepción espacial que se les deriva, y se entrena con ellos. A fin de cuentas, conocer bien lo propio y entender lo fundamental del resto tal vez haya sido la única garantía que los arqueólogos-sin-adjetivos siempre tuvimos para dialogar con otros especialistas, y especializar en nuestra ayuda todo aquello que pueden aportarnos.

Agradecimientos: Los trabajos de campo aquí relatados se condujeron en el marco de sendos proyectos financiados por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y el Ministerio de Cultura del Gobierno de España en sus respectivas convocatorias para intervenciones arqueológicas en el exterior de 2021 y 2022, así como por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba (SECyT-UNC). En este sentido, cabe

Notas

¹ La propia historia disciplinar podría introducir aquí una pequeña infinidad de matices regionales (Carver 2012), empezando quizá por el “doble nacimiento” de la Arqueología como proyección de la experiencia etnográfica en América y como historización de estudios artísticos en Europa. Hasta qué punto esto -y la disección del conocimiento en áreas e instituciones inevitablemente sujetas primero a su propia reproducción- influye en cómo concebimos lo fundamental en nuestra práctica, es materia de otro debate. Huelga únicamente señalar el interés del caso en Argentina; dándose, además, que desarrollamos buena parte de nuestra actividad en dos de las universidades nacionales -las de Tucumán y Córdoba- que escapan a la norma antropológica desde los encajes institucionales, quizá, más alejados entre sí posible.

² Al lector del s. XXI podría resultarle contraintuitivo la profusión de referencias al dibujo tridimensional en los manuales “preinformáticos” de mediados del siglo XX. Por ejemplo, acompañando la ilustración de anteportada del *Beginning in Archaeology* de Kenyon (1953), discípula de Wheeler y figura principal en la difusión y perfeccionamiento del método: una instantánea tomando medidas con escuadra y plomada.

³ Pueden consultarse las especificaciones técnicas en la página web del fabricante, tanto para el Phantom 3 Pro (<https://www.dji.com/es/support/product/phantom-3-pro>) como

-naturalmente- hacer extensivo un profundo agradecimiento a los compañeros y compañeras que participaron en esas intervenciones, sin cuyo compromiso, esfuerzo y paciencia habría sido imposible la experimentación metodológica. A la redacción final del texto dio cobertura, por último, un contrato APOSTD financiado por la Generalitat Valenciana y el Fondo Social Europeo.

para el Mini 2 SE (<https://www.dji.com/es/mini-2-se/specs>), del cual nótese la similitud con el más moderno Mini 4k.

⁴ Evidentemente, la imposibilidad de acceder a un suministro eléctrico para recargar y hacer funcionar los equipos es el condicionante último de cualquier operación de este tipo; un condicionante, sin embargo, difícil de no cumplir en la actualidad, allí donde vive población estable. En lugares tan relativamente aislados como La Ciénega, a varias horas a pie de la carretera más cercana, es común que las viviendas particulares e instituciones como refugios o escuelas de alta montaña dispongan de paneles solares de 12 y hasta 220 V. Y aun en su ausencia, nuestra experiencia corrobora la posibilidad de alimentar las baterías de UAV ligeros como el mencionado DJI Mini 2 SE con pequeños paneles portátiles de 5 V, lo que hace viable mantenerse operando de manera completamente funcional, aun sin poder procesar los datos en paralelo.

⁵ En este sentido, el margen de responsabilidad del usuario podría hacerse extensivo a la evaluación de trabajos tan interesantes como la comparativa que Pell *et al.* (2022) presentan entre el aquí empleado y otras conocidas opciones de *software* propietario, siendo que los parámetros programados por defecto en este anteponen, a la calidad, la viabilidad del procesamiento en una gama mayor de máquinas. Y valga la ocasión para especificar que empleamos un *hardware* MSI con procesador Intel(R) Core(TM) i7-10750H @ 2.60GHz, 16 GB de memoria RAM y tarjeta

gráfica dedicada NVIDIA GTX 1650Ti con 4 GB GDDR6.

⁶ En concreto, los trabajos fueron realizados con la versión 1.9.16 (<https://github.com/OpenDroneMap/WebODM>).

⁷ Con unos requisitos de *hardware* esencialmente iguales, que pasan en lo fundamental por la disposición de una estación base GNSS, la técnica de postprocesamiento cinemático (PPK) viene demostrándose una opción a la vez más robusta y flexible que RTK, al no depender de la comunicación constante entre dicha base y el UAV (Türk *et al.* 2022; Zhang *et al.* 2019). La posibilidad de apoyar ese tipo de corrección de los datos de posicionamiento -ejecutable en programario de código abierto, como RTKLib (<https://github.com/tomojitakasu/RTKLIB>) o Emlid Studio (<https://github.com/emlid>)- en mediciones recopiladas por las bases permanentes que componen las diferentes redes geodésicas (Martínez Carricondo *et al.* 2023) se perfila como una vía prometedora a explorar,

capaz de reportar también mejoras sustanciales en operaciones de bajo coste.

⁸ Probablemente la aplicación GIS de código abierto más conocida y exitosa en la actualidad, fue empleada en su versión 3.16.14-Hanover (<https://github.com/qgis/QGIS>).

⁹ Si bien WebODM incorpora un complemento destinado al preprocesamiento de GCP (<https://github.com/OpenDroneMap/posmgcpi>), este puede realizarse igualmente a través del *software* GCP Editor Pro (<https://github.com/uav4geo/GCPEditorPro>). Con pequeñas diferencias básicamente traducidas en la mayor agilidad y grado de automatización del segundo, ambas aplicaciones entrañan identificar la localización de los GCP en un mínimo de fotografías del paquete a procesar, generando el archivo de texto delimitado por espacios o tabulaciones que será posteriormente aportado, junto a las imágenes, en la entrada del interfaz de restitución fotogramétrica.

Bibliografía citada

Ambrosetti, J. B.

1897 Los monumentos megalíticos del valle de Tafí (Tucumán). *Boletín del Instituto Geográfico Argentino* 18: 105-114

Anderson, M. A.

2020 The impact of structure from motion on archaeological fieldwork practice: Experiences of the Via Consolare Project in Pompeii. *Studies in Digital Heritage* 4(2): 78-107. <https://doi.org/10.14434/sdh.v4i2.27260>

Barker, P.

1993 *Techniques of archaeological excavation*. Routledge, Londres.

Berberián, E. E.

1988 *Sistemas de asentamiento prehispánicos en el valle de Tafí*. Comechingonia, Córdoba.

Bernasconi de García, M. T. y A. N. Baraza de Fonts

1982 Estudio arqueológico del valle de La Ciénega (Departamento Tafí, Provincia de Tucumán). *Anales de Arqueología y Etnología* 36-37: 117-188

Boyd, M. J., R. Campbell, R. C. P. Doonan, C. Douglas, G. Gavalas, M. Gkouma, C. Halley, B. Hartzler, J. A. Herbst, H. R. Indgjerd, A. Krijnen, I. Legaki, E. Margatitis, N. Meyer, I. Moutafi, N. P. Iliou, D. A. Wylie y C. Renfrew

2021 Open area, open data: Advances in reflexive archaeological practice. *Journal of Field Archaeology* 46(2): 62-80. <https://doi.org/10.1080/00934690.2020.1859780>

Browman, D. L. y D. R. Givens

1996 Stratigraphic excavation: The first "New Archaeology". *American Anthropologist* 98(1): 80-95. <https://doi.org/10.1525/aa.1996.98.1.02a00080>

- Brown, M. R. y E. C. Harris
1993 Interfaces in archaeological stratigraphy. *Practices of Archaeological Stratigraphy* (ed. por E. C. Harris, M. R. Brown y G. J. Brown), pp. 7-20. Academic Press, Londres.
- Carandini, A.
2000 *Storie dalla terra: Manuale di scavo archeologico*. Einaudi, Torino.
- Carver, G.
2012 How to archaeologize with a hammer. *Reconsidering archaeological fieldwork: Exploring on-site relationships between theory and practice* (ed. por H. Cobb, O. J. T. Harris, C. Jones y P. Richardson), pp. 15-29. Springer, Nueva York.
- Charquero Ballester, A. M. y J. A. López Lillo
2012 Registro tridimensional acumulativo de la secuencia estratigráfica: Fotogrametría y SIG en la intervención arqueológica de Lo Boligni (Alacant). *Virtual Archaeology Review* 3(5): 81-88. <https://doi.org/10.4995/var.2012.4529>
- Conolly, J. y M. Lake
2009 *Sistemas de información geográfica aplicados a la arqueología*. Bellaterra, Barcelona.
- Cremonte, M. B.
1988 Comentarios acerca de fechados radiocarbónicos del sitio El Pedregal (Qda. La Ciénega, Tucumán, Argentina). *Chungara: Revista de Antropología Chilena* 20: 9-18.
- Dever, W. G.
1973 Two approaches to archaeological method: The architectural and the stratigraphic. *Eretz-Israel* 11: 1-8.
- Franco Salvi, V. L., J. Salazar y E. E. Berberían
2014 Paisajes persistentes, temporalidades múltiples y dispersión aldeana en el valle de Tafí (Provincia de Tucumán, Argentina). *Intersecciones en Antropología* 15: 307-322.
- González, A. R. y V. Núñez Regueiro
1962 Preliminary report on archaeological research in Tafí del Valle, NW Argentina. *Akten des 34 Internationalen Amerikanistenkongresses*, pp. 485-496. Verlag Ferdinand Berger, Horn-Wien.
- Grau Mira, I.
2006 *La aplicación de los SIG en Arqueología del paisaje*. Publicaciones de la Universidad de Alicante, Sant Vicent del Raspeig.
- Green, S., A. Bevan y M. Shapland
2014 A comparative assessment of structure from motion methods for archaeological research. *Journal of Archaeological Science* 46: 173-181. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.02.030>
- Gutiérrez Lloret, S.
2001 *Arqueología: Introducción a la historia material de las sociedades del pasado*. Publicaciones de la Universidad de Alicante, Sant Vicent del Raspeig.
- Harris, E. C.
1983 *Principi di stratigrafia archeologica*. La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- Hodder, I.
1997 "Always momentary, fluid and flexible": Towards a reflexive excavation methodology. *Antiquity* 71(273): 691-700. <https://doi.org/10.1017/S0003598X00085410>
- Katsianis, M.
2024 3D GIS in archaeological excavations: Linking documentation with analytic and synthetic workflow. *Journal of Greek Archaeology* 9: 65-82.
- Kenyon, K. M.
1953 *Beginning in Archaeology*. Phoenix House, Londres.
- López Lillo, J. A.
2017 Rethinking Tafí: A political approach to

- the landscape of a Southern Andean Formative community. *Archaeology and Geomatics* (ed. por V. Mayoral Herrera, C. Parceró Oubiña y P. Fábrega Álvarez), pp. 225-245. Sidestone Press, Leiden
- 2019 *La política salvaje: Una teoría genealógica de los fundamentos sociales*. BAR Publishing, Oxford.
- Lucas, G.
- 2001a *Critical approaches to fieldwork: Contemporary and historical archaeological practice*. Routledge, Londres
- 2001b Destruction and the rhetoric of excavation. *Norwegian Archaeological Review* 34(1): 35-46. <https://doi.org/10.1080/00293650119347>
- Mallol, C. y S. M. Mentzer
- 2017 Contacts under the lens: Perspectives on the role of microstratigraphy in archaeological research. *Archaeological and Anthropological Sciences* 9: 1645-1669. <https://doi.org/10.1007/s12520-015-0288-6>
- Martínez Carricondo, P., F. Agüera Vega y F. Carvajal Ramírez
- 2023 Accuracy assessment of RTK/PPK UAV-photogrammetry projects using differential corrections from multiple GNSS fixed base stations. *Geocarto International* 38(1): 2197507. <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2197507>
- Manacorda, D.
- 1983 Introduzione. *Principi di stratigrafia archeologica* (ed. por E. C. Harris), pp. 9-36. La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- Merlo, S.
- 2004 The “contemporary mind”: 3D GIS as a challenge in excavation practice. *Enter the past: The e-way into the four dimensions of cultural heritage* (ed. por K. F. Ausserer, W. Börner, M. Goriany y L. Karlhuber-Vöckl), pp. 276-280. Archaeopress, Oxford.
- 2016 *Making visible: Three-dimensional GIS in archaeological excavation*. BAR Publishing, Oxford.
- Montalvo Puente, C. E., E. Dyr Dahl, M. Castisani, L. de Fabritiis y S. Vinci
- 2020 La implementación del SIG de excavación: El caso de estudio de los sitios Las Orquídeas y Huataviro (Imbabura, Ecuador). *Arqueología Iberoamericana* 46: 34-44. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3969823>
- Moyano, G.
- 2017 El uso de fotogrametría digital como registro complementario en arqueología: Alcances de la técnica y casos de aplicación. *Comechingonia: Revista de Arqueología* 21(2): 333-350. <https://doi.org/10.37603/2250.7728.v21.n2.26789>
- Oliszewski, N.
- 2017 Las aldeas “patrón Tafi” del sur de Cumbres Calchaquíes y norte del sistema del Aconquija. *Comechingonia: Revista de Arqueología* 21(1): 205-232. <https://doi.org/10.37603/2250.7728.v21.n1.19391>
- Pell, T., J. Y. Q. Li y K. E. Joyce
- 2022 Demystifying the differences between structure-from-motion software packages for pre-processing drone data. *Drones* 6(1): 24. <https://doi.org/10.3390/drones6010024>
- Quiroga, A.
- 1899 Ruinas de Anfama: El pueblo prehistórico de La Ciénega. *Boletín del Instituto Geográfico Argentino* 20: 95-123
- Ruiz Zapatero, G.
- 2013 La excavación arqueológica. *Métodos y técnicas de análisis y estudio en arqueología prehistórica: De lo técnico a la reconstrucción de los grupos humanos* (ed. por M. García Díez y L. Zapata), pp. 39-72. Universidad del País Vasco, Leioa.

- Salazar, J., V. L. Franco Salvi, E. E. Berberían y S. E. Clavero
2007 Contextos domésticos del valle de Tafí, Tucumán, Argentina (200-1000 AD). *Revista Werkén* 10: 25-47.
- Salazar, J., V. L. Franco Salvi y E. E. Berberían
2011 Una aproximación a la sacralidad de los espacios domésticos del primer milenio en Valle de Tafí (Noroeste Argentino). *Revista Española de Antropología Americana* 41(1): 9-26. https://doi.org/10.5209/rev_REAA.2011.v41.n1.1
- Salazar, J., V. L. Franco Salvi y J. A. López Lillo
2024 Materia y tiempo en La Ciénega: Aportes al estudio de paisajes aldeanos del Noroeste Argentino (500 AC-900 DC). *Intersecciones en Antropología* 26(1): 73-94. <https://doi.org/10.37176/iea.26.1.2025.911>
- Sampietro Vattuone, M. M. y M. A. Vattuone
2005 Reconstruction of activity areas at a Formative household in Northwest Argentina. *Geoarchaeology* 20(4): 337-354. <https://doi.org/10.1002/gea.20053>
- Schiffer, M. B.
1983 Toward the identification of formation processes. *American Antiquity* 48(4): 675-706. <https://doi.org/10.2307/279771>
1985 Is there a "Pompeii Premise" in Archaeology? *Journal of Anthropological Research* 41(1): 18-41. <https://doi.org/10.1086/jar.41.1.3630269>
- Shillito, L. M., W. Matthews, M. Almond e I. D. Bull
2011 The microstratigraphy of middens: Capturing daily routine in rubbish at Neolithic Çatalhöyük, Turkey. *Antiquity* 85(329): 1024-1038. <https://doi.org/10.1017/S0003598X00068460>
- Tilley, C.
1989 Excavation as theatre. *Antiquity* 63(239): 275-280. <https://doi.org/10.1017/S0003598X00075992>
- Trócoli, I. G.
1993 The contribution of the Harris Matrix to the development of Catalan archaeology. *Practices of Archaeological Stratigraphy* (ed. por E. C. Harris, M. R. Brown y G. J. Brown), pp. 47-56. Academic Press, Londres.
- Türk, T., N. Tunalioglu, B. Erdogan, T. Ocalan y M. Gurturk
2022 Accuracy assessment of UAV-post-processing kinematic (PPK) and UAV-traditional (with ground control points) georeferencing methods. *Environmental Monitoring and Assessment* 194: 476. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10170-0>
- Westoby, M. J., J. Brasington, N. F. Glasser, M. J. Hambrey y J. M. Reynolds
2012 «Structure-from-motion» photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology* 179: 300-314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>
- Wheeler, M.
1954 *Archaeology from the earth*. Clarendon Press, Oxford
- Zhang, H., E. Aldana-Jague, F. Clapuyt, F. Wilken, V. Vanacker y K. Van Oost
2019 Evaluating the potential of post-processing kinematic (PPK) georeferencing for UAV-based structure-from-motion (SfM) photogrammetry and surface change detection. *Earth Surface Dynamics* 7(3): 807-827. <https://doi.org/10.5194/esurf-7-807-2019>