

NUEVAS VIEJAS TECNOLOGÍAS

Modelos Tridimensionales Digitales aplicados al Noroeste Argentino.



Autor: Joaquín Ignacio Izaguirre

Directora: María Cristina Scattolin

Codirectora: María Fabiana Bugliani

Tesis de Licenciatura

Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires

2014

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	3
CAPÍTULO 1	4
Introducción, objetivos e hipótesis	4
Organización de la tesis	5
CAPÍTULO 2	6
Conceptos Claves	6
Limitaciones de los conceptos vigentes	6
Área y casos de estudio	8
Ventajas del uso de Modelos Tridimensionales Digitales en Arqueología	15
CAPÍTULO 3	22
Proceso de modelado tridimensional digital	22
CAPÍTULO 4	36
Hacia una Arqueología que contemple el uso de modelos tridimensionales digitales.	
Antecedentes en el uso de MTD	36
El registro de la Estructura 4 de Cardonal	39
Los análisis de las Estructuras 3 y 4 de Cardonal	42
El registro de la vasija cerámica y la punta de obsidiana de Cardonal	44
Análisis de una vasija cerámica de la Estructura A	44
Los análisis de una punta de proyectil de obsidiana de la Estructura 3 de Cardonal	45
CAPÍTULO 5	46
Casos de estudio	46
La Estructura 4 de Cardonal	47
Una vasija en Estructura A	58
Una punta de proyectil en E3	78
CAPÍTULO 6	86
Conclusiones	86
BIBLIOGRAFÍA	92
INDICE DE FIGURAS	104
ANEXO 1	108

AGRADECIMIENTOS

Ante todo, dudo que esta tesis hubiese existido si no fuese por el apoyo de un grupo de personas que desde lo académico y/o de la amistad me apoyaron siempre de manera incondicional. A mis viejos, José y Juli, por haberme bancado durante toda mi formación, apoyándome siempre, alegrándose con mis logros y acompañándome en las derrotas, nunca perdieron la esperanza y siempre confiaron que aunque con demoras, este día iba a llegar. A mi hermana Dolores, siempre pendiente de mi futuro, preocupándose como nadie por que siguiese el camino correcto. A mi hermana Agustina, bueno, ella siempre estuvo, y siempre va a estar, no importa qué, apoyándome en lo que yo crea correcto, y bancándome en mis decisiones por más ridículas que sean. A Rapu, quien no solo me ayudó con las ilustraciones sino que me soportó como nadie durante toda la redacción, acompañándome en los momentos de mayor locura, enojándose e incentivándome a que siguiese adelante, soportando mis humores variables, y por sobre todo estando siempre a mi lado sin importar qué. A todos mis primos, tíos, y demás familiares que siempre y cada vez que me veían me preguntaban sobre el avance de mi tesis, sobre cuando la entregaba, ansiosos de que me reciba de una buena vez.

A mis amigos. Alejandro, Barbie y Marina. No solo me acompañaron durante casi toda la cursada, sino que me incentivaron a que escriba esta tesis. Alejandro, más que nadie, me incentivó y me apoyó en este camino, discutimos juntos muchos borradores, muchas ideas, muchísimas charlas a la madrugada. Descubrimos prácticamente juntos el camino de los 3D, sin tu apoyo, esta tesis no hubiese existido. Marina y Barbie me escucharon, me bancaron, me apoyaron siempre, y por sobre todo, creyeron siempre en mí. Se los agradezco.

A mis compañeros de equipo, a Leti, Lucas, Marilín, Andrés, Fabiana y Cris de quienes aprendí lo más básico de ser arqueólogo, pero por sobre todo, a Cris y a Fabiana, quienes me dirigieron, me corrigieron, y se tomaron el trabajo de ayudarme en todo, siempre que lo necesité. Sin duda, sin ellos, esta tesis no podría existir.

CAPÍTULO 1

Introducción, objetivos e hipótesis

Durante la última década, un cuantioso corpus de publicaciones en distintos ámbitos, tales como periódicos (por ejemplo, Balbona 2013; Perazo 2012), congresos científicos (Beacham 2011; Allen *et al.* 2004; Barrera Vera *et al.* 2005) y artículos en revistas académicas especializadas (Gómez Robles y Quirosa García 2009; Lloret Marín 1999; Rascón Marqués y Sánchez Montes 2008; Tejado Sebastián 2005; entre otros) hicieron referencia a la aplicación de "nuevas tecnologías" a la Arqueología, las cuales por lo general implicaron la creación y el uso de modelos tridimensionales digitales. Su utilización, poco tiene de nuevo y los primeros casos en los que se emplearon datan de finales de la década de los 80' (ver Reilly 1988, 1989, 1990; Reilly y Shennan 1989; para los trabajos pioneros en este campo). La aplicación de estos modelos tomó diferentes rumbos al abordar diversas problemáticas dentro de la Arqueología: conservación (Frischer 2005, Tejado Sebastián 2005), registro (Allen *et al.* 2004; Barceló *et al.* 2003; Barceló y Vicente Campos 2004; Wulf 2010), educación (Rascón Marqués y Sánchez Montes 2008; Sanders 1997), análisis (Irujo-Ruiz y Prieto Martínez 2005; Karasik 2008), turismo (Forte 2009); presentándose de manera constante como una tecnología nueva.

La experiencia práctica-académica que llevo desarrollando desde 2006 tras mi incorporación al equipo de investigación que dirige María Cristina Scattolin -la cual incluye el manejo de estación total, construcción de planos tridimensionales de sitios arqueológicos y el reciente uso de escáneres láser para el registro de artefactos arqueológicos, entre otras cosas, me llevó a reflexionar sobre el uso potencial de estas tecnologías aplicadas a la Arqueología, en especial, a problemáticas derivadas de las excavaciones llevadas a cabo por dicho equipo. En este sentido, esta tesis es el resultado de un esfuerzo por conciliar problemas arqueológicos concretos que surgen de la práctica y de los intereses de la disciplina con un conjunto de métodos, herramientas y dispositivos -estas no tan "nuevas tecnologías"-, las cuales pueden ayudar a generar registros más ricos y detallados e interpretaciones novedosas de la evidencia arqueológica.

Se presenta como **objetivo general** brindar un marco científico para la utilización de modelos tridimensionales digitales en Arqueología y explorar su uso potencial a través de ejemplos concretos, poniendo a prueba algunas de las técnicas que están involucradas en la adquisición de los datos. La idea que subyace es que estas construcciones digitales

no son un fin en sí mismo sino un punto de partida para la resolución de problemas que surgen de la disciplina. La Arqueología, como ciencia, es capaz de nutrirse de dichos modelos para resolver antiguos interrogantes y algunos nuevos que surgen exclusivamente de la incorporación de los mismos al campo disciplinar. Asimismo se plantean los siguientes **objetivos específicos**:

- Discutir las diferentes nociones que hacen referencia a los modelos digitales tridimensionales arqueológicos con la intención de definir un objeto general que englobe la diversidad lingüística que actualmente caracteriza su producción. Este enfoque busca incorporar la aplicación de los modelos tridimensionales a una perspectiva científica.

- Generar un enfoque que considere a los modelos tridimensionales digitales como una herramienta heurística con el propósito de evaluar su aplicación a través de tres casos de estudio que poseen problemáticas propias del Noroeste Argentino, explicitando en cada caso la metodología empleada.

Se propone como **hipótesis general** que *los modelos tridimensionales digitales son herramientas válidas y eficientes para el registro y la resolución de problemas arqueológicos que permiten incorporar mayor cantidad de información que la que pueden albergar los registros tradicionales.*

En el capítulo 5 se presentan, además, una serie de hipótesis específicas derivadas de cada uno de los tres casos de estudio que se desarrollan a lo largo de esta tesis.

Organización de la tesis

En el **capítulo 2** se discuten los conceptos vigentes y sus limitaciones, se propone el uso de Modelo Tridimensional Digital como término posible para llamar a este tipo de producciones y se describe brevemente el lugar que ocupan dichos modelos dentro de la producción del conocimiento científico. Se presentan los casos de estudio y el área geográfica a la que remiten. El **capítulo 3** describe el proceso de modelado digital tridimensional y las técnicas involucradas en la confección de los modelos presentados en el capítulo 5. El **capítulo 4** detalla los antecedentes en el ámbito internacional y discute las metodologías empleadas para la confección de los casos. El **capítulo 5** desarrolla los tres casos de estudio del Noroeste Argentino y se presentan sus resultados. Por último, en el **capítulo 6** se expresan las conclusiones.

CAPÍTULO 2

Conceptos Claves

Los modelos tridimensionales digitales, objeto fundamental de esta tesis, representan un tipo particular de modelos dentro del amplio universo de la ciencia y no son exclusivos de la Arqueología. Se define aquí Modelo Tridimensional Digital (MTD) como todas aquellas representaciones gráficas y matemáticas de un objeto a partir de sus coordenadas espaciales X Y y Z que se realizan a través de medios digitales (Allen 2012). Los mismos, existen en el mundo físico bajo la forma de bits de información que se almacenan en algún soporte magnético de datos (*i.e.*: discos rígidos, pendrive, CD, DVD, etc.) y son leídos e interpretados por los ordenadores en forma de señales digitales (Universidad de Colima 2013).

El uso de MTD es frecuente en Arquitectura, Geografía, Ingeniería Inversa¹ y en las industrias automotrices, cinematográficas y del entretenimiento (*i.e.* video juegos) (Andreeto *et al.* 2010; Moitinho y Barceló 2011). Como modelos generales (indistinto de la disciplina a la que se aplique), son herramientas heurísticas que nos permiten resolver problemas a partir de observaciones de la realidad (Winterhalder 2002), vinculando dichas observaciones con ideas teóricas (Clarke 1972). Los casos de estudios del capítulo 5, están orientados a la resolución de interrogantes arqueológicos concretos. En este sentido, se considera que "la observación únicamente se convierte en una especie de punto de partida cuando desvela un problema; o con otras palabras, cuando nos sorprende, cuando nos muestra que hay algo en nuestro conocimiento - en nuestras expectativas, en nuestras teorías- que no está del todo en orden" (Popper 1978:11).

Limitaciones de los conceptos vigentes

Las publicaciones con énfasis en la aplicación abundan en el ámbito internacional, no obstante hubo pocos intentos de elaborar una reflexión sobre el lugar que ocupan estos modelos dentro del ámbito científico, centrándose casi exclusivamente en sus propiedades visuales y limitándolos al ámbito de la difusión (para excepciones ver Daniels 1996; Gillings 1997; Alegre Paricio y Campos López 2004; Allen 2012). El uso y abuso de los modelos comúnmente denominados virtuales que están orientados a la reconstrucción estética de sitios arqueológicos, ha generado en el campo científico

¹Es la práctica se parte de un objeto real para analizar su composición, funcionamiento y diseño, siendo la inversa de la Ingeniería, quienes parten del diseño para generar objetos.

internacional una sensación de falta de rigor y de validez generalizada (Allen 2012), ya que se publicaron muchos modelos que fueron construidos sin ningún tipo de control sobre los datos, siendo éstas meras interpretaciones de carácter libre sin una base analítica que justificase la reconstrucción.

Este panorama se vuelve aún más ambiguo debido a la diversidad de vocablos utilizados para definir a estas producciones, existiendo una variedad de términos compuestos que refieren a lo mismo: modelos informáticos de objetos y edificios (Reilly 1988), modelados digitales en 3D (Tejado Sebastián 2005), reconstrucciones 3D (Müller *et al.* 2006a, 2006b), modelos virtuales (Forte 1996), modelos cibernéticos (Forte 2009), modelos computarizados 3D (Frischer 2005), reconstrucciones virtuales 3D (Gómez Robles y Quirosa García 2009), modelos tridimensionales (Barceló y Vicente Campos 2004) y modelos multidimensionales (Barceló 2001). En los casos en los que se intentó una breve explicación de los términos, el esfuerzo heurístico recayó exclusivamente en el segundo elemento de la composición; se explicó lo virtual, lo cibernético, lo tridimensional y lo multidimensional sin hacer hincapié en el primer elemento del binomio.

De esta situación derivan dos problemas que han dificultado el avance del desarrollo de los MTD. Por un lado, la carencia de una definición de lo que es un modelo dentro del ámbito específico de las publicaciones mencionadas, resultó en el desconocimiento generalizado sobre lo que estos modelos tridimensionales realmente representan (Gillings 1997): ¿Son la realidad? ¿Son un reflejo de la realidad? ¿Son dispositivos predictivos construidos para testear hipótesis? Por otro lado, el énfasis en el segundo término del concepto (lo virtual, lo cibernético, lo tridimensional, etc.) derivó en el surgimiento de múltiples subdisciplinas arqueológicas (se acostumbra, por ejemplo, a hablar de Cyberarqueología, Arqueología Virtual, Arqueología Tridimensional, etc.) que se enfocan en campos de aplicación específicos: conservación (Tejado Sebastián 2005), registro (Barceló *et al.* 2003), educación (Sanders 1997) y análisis (Irujo-Ruiz y Prieto Martínez 2005) sin permitir un diálogo común e impidiendo el desarrollo de una metodología unificada. Se considera aquí que el hecho de que este tipo de producciones sean “modelos” es el elemento que permite incorporarlos al ámbito científico. Lo virtual, lo digital, lo cibernético, son sólo categorías derivadas que le ofrecen especificidad a la denominación y si bien necesitan ser definidas no son su razón de ser.

Esta situación empezó a revertirse tras la aparición de los primeros estándares metodológicos de alcance internacional, siendo los más recientes la Carta de Londres 2009 y los Principios de Sevilla 2011 los cuales, no obstante, no han logrado generar la unificación metodológica que regularice el uso de los MTD como una herramienta general aplicable tanto a la Arqueología como a la protección del Patrimonio. La discusión planteada por estos colectivos internacionales se redujo al reconocimiento de la necesidad de transparencia durante el proceso de modelado, es decir, a hacer explícitos los medios y los métodos por los cuales se construye un MTD, y generan otro tipo de dificultades. La Carta de Londres (2009) definió su objeto como los “métodos y resultados de la visualización computarizada”, el documento de los Principios de Sevilla (2011), por su parte, lo definió como cualquier proyecto que involucre el uso de nuevas tecnologías y que esté vinculado al uso de la visualización computarizada en el campo de la herencia arqueológica, más allá de su propósito. Si nos ajustamos a la definición de los objetos de dichas cartas, cualquier tipo de producción que emplee tecnologías novedosas, incluso un texto realizado en la última versión de Microsoft Word, entraría dentro de su campo.

La situación actual puede sintetizarse de la siguiente manera

- Diversificación de términos lingüísticos que dividen a la Arqueología en subdisciplinas en función de la aplicación al campo específico al que refieren y al término al que adscriben.
- Ausencia de un lenguaje común y de estándares que regulen la producción de los MTD más allá del campo de aplicación al que están orientados.

En función de lo expresado se propone el término de MTD como vocablo unificador que permite incorporar la totalidad de denominaciones actuales sin quitarle características propias a cada desarrollo. Se considera aquí además que la producción de estos modelos no debe conformar el objeto exclusivo de ninguna subdisciplina (*i.e.* Arqueología Virtual, Cyberarqueología, Arqueología Tridimensional, etc.) sino que debe considerarse una herramienta al alcance de la Arqueología como ciencia en general.

Área y casos de estudio

El uso de MTD como herramientas heurísticas requiere que los mismos sean contruidos en función de problemáticas concretas. En esta tesis, los problemas a los que

hacemos mención surgen principalmente de las investigaciones sobre el Período Formativo llevadas a cabo por el equipo de investigación del cual formo parte. El mismo, realiza desde hace más de quince años labores de investigación en el Noroeste argentino, principalmente en el área Valliserrana. El área incluye tanto al valle de Santa María como al aledaño valle del Cajón (Figura 1) y ha sido tema de investigación desde los momentos pioneros de la Arqueología Argentina (Haber 1995), en los cuales destacan los trabajos de Liberani y Hernández (1950 [1877]) y de Márquez Miranda y Cigliano (1957-1959).



Figura 1. Ilustración del área Valliserrana en el que se ve la localización de los principales valles y el sitio Cardonal (dibujo de Diana I. Betti).

El período Formativo en esta región se caracteriza por el establecimiento de las comunidades aldeanas con economías agropastoriles (1000 a.C. – 1000 A.D.), en él se afianzan una serie de innovaciones como la metalurgia, la manufactura de cerámica y la textilería junto con una diversificación de los modos arquitectónicos de vivienda. A lo largo del desarrollo de estas sociedades se producen una serie de fenómenos que conducen al surgimiento de la desigualdad jerárquica (Scattolin 2006a) y el posterior surgimiento

de las sociedades fortificadas del período Tardío o de Desarrollos Regionales (Tarragó 2000).

Otros esquemas cronológicos del Noroeste Argentino (NOA) (ver González 1963) consideran un período Temprano seguido de un período Medio en el que se dan una serie de procesos de complejización social que llevaron al surgimiento de la desigualdad hereditaria (Pérez Gollán 2000). La misma está fundada en la expansión de un culto religioso de arquitectura monumental y pública presente en sitios como Iglesia de los Indios (Gordillo 2004) y Piedras Blancas (Laguens 2004) en el valle de Ambato y Choya 68 en la localidad de Capayán (Baldini *et al.* 2002), al mismo tiempo que se produce la dispersión de un imaginario asociado a los motivos iconográficos del jaguar o “uturunco” y del personaje denominado “sacrificador”, representados principalmente en la cerámica (Scattolin 2006b). Sin embargo, en el valle de Santa María y en el aledaño valle del Cajón, la aparición de elementos asociados al imaginario Aguada en la cultura material presantamariana es tan débil que no sustentan la hipótesis de un horizonte de integración regional para el área, como sí sucede en el valle de Ambato, en el valle de Hualfín, en La Rioja y en otras áreas (Scattolin 2004, 2006a, 2006b).

Los materiales utilizados en esta tesis provienen en su gran mayoría del sitio arqueológico Cardonal. Dada su ubicación privilegiada, esta antigua aldea ofrece un contexto apropiado para obtener información sobre las relaciones entre las sociedades aldeanas que habitaron el lugar y los territorios aledaños, ya que se encuentra en una quebrada que conecta la región de Puna con el área Valliserrana (ver Figura 1). En las excavaciones se recuperaron materiales exóticos como obsidiana de la Puna y manufacturas cerámicas foráneas (Scattolin *et al.* 2009a).

Un estudio integral del sitio fue abordado desde múltiples líneas de investigación que incluyen el análisis de los restos mortuorios (Cortes 2012), de la fauna presente en los sitios y los análisis isotópicos derivados (Izeta 2007; Srur *et al.* 2012), la metalurgia (Scattolin *et al.* 2010), el estilo cerámico y las prácticas sociales asociadas (Scattolin 2006b, Bugliani 2008), la composición de las pastas y la manufactura cerámica (Pereyra Domingorena 2012), las fuentes de las materias primas (Scattolin *et al.* 2009a), los restos y artefactos vegetales (Calo 2010) y la arquitectura (Scattolin 2006a; Scattolin *et al.* 2009a, 2009b). Todas estas líneas de investigación han contribuido a ampliar el conocimiento sobre “...el mundo de relaciones que dio sentido a las maneras de hacer en

la vida cotidiana...” (Scattolin *et al.* 2009a:251). El Núcleo 1, uno de los conjuntos habitacionales del asentamiento fue excavado prácticamente en su totalidad, quedando únicamente como testigo de excavación un área en donde las paredes de los recintos circundantes quedan engrosadas por constituir la unión entre muros de diferentes estructuras (Figura 2), dicha área se ubica entre la Estructura 3 (E3) y la Estructura 4 (E4).

En el capítulo 5 se desarrollan tres MTD que fueron exclusivamente construidos para hacer frente a una serie de interrogantes derivados de la problemática general del área. El primero de los casos de estudios se encuentra vinculado con la arquitectura del Núcleo 1 de Cardonal y permitió reformular una hipótesis previa por la cual se consideraba que las Estructuras 3 y 4 eran independientes, cada una con su propia techumbre. La construcción del modelo permitió generar una nueva hipótesis por la cual se considera que la E4 pueda ser una separación interna de la E3 y que ambas compartirían un techo común.

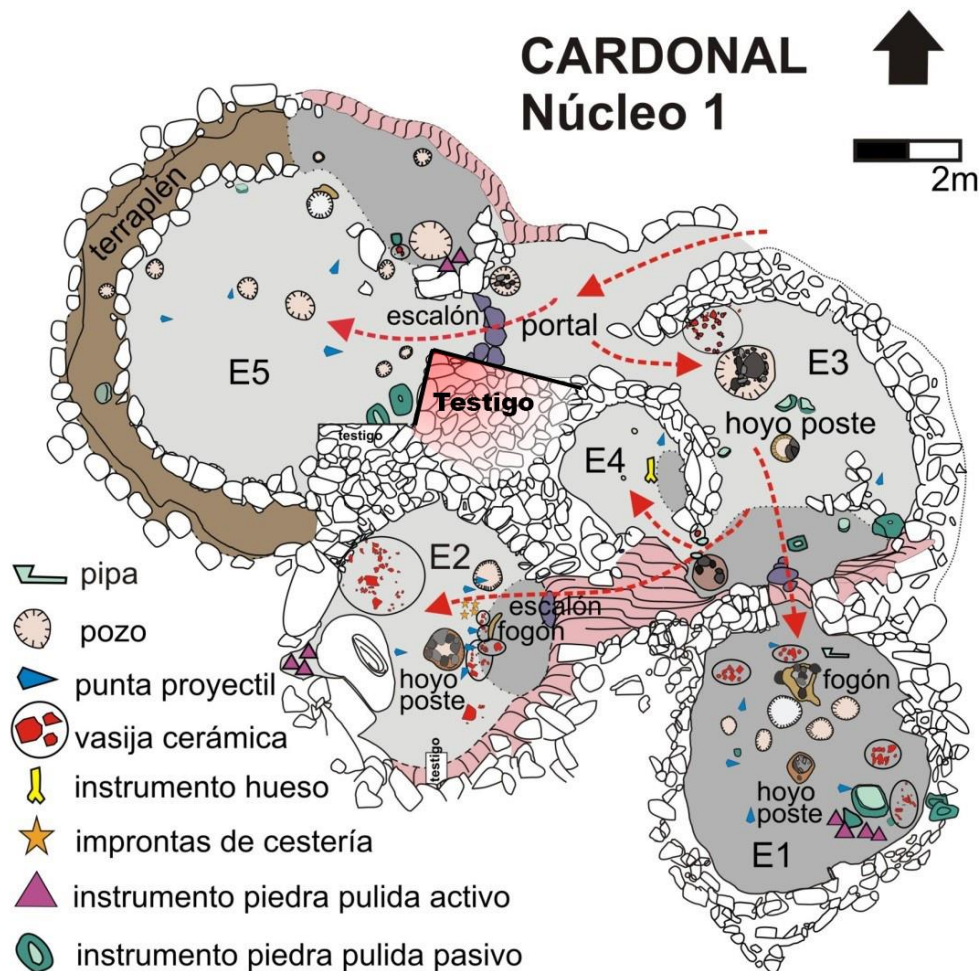


Figura 2. Planta del Núcleo 1 de Cardonal y de los principales hallazgos.

En el segundo caso se analizó la posibilidad de extraer el volumen de un recipiente cerámico y calcular su capacidad a partir de la construcción de un MTD. Los datos generados por este modelo se espera sean de utilidad para realizar estimativos que permitan indagar sobre el consumo y el almacenaje en las poblaciones que habitaron el sitio. El recipiente utilizado, fue una vasija cerámica hallada durante la excavación de la Estructura A (EA).

El tercer caso trata sobre la posibilidad de generar remontajes de lascas de obsidiana para reconstituir los núcleos líticos del cual fueron extraídos. Con este fin se generó un MTD de una punta de proyectil de obsidiana y se pone a prueba un algoritmo que permite identificar correspondencias entre diversas superficies. Se espera que los resultados favorables de esta investigación permitan ampliar nuestro conocimiento sobre la cadena operativa de la punta de proyectil y de la distribución de las actividades al interior del Núcleo 1.

Los trabajos presentados en el capítulo 5 no son los únicos MTD realizados para responder a problemáticas del NOA. Inés Gordillo (2004) ha generado un MTD con una representación del sitio Iglesia de los Indios, valle de Ambato, Catamarca, en la cual puede observarse la distribución de las estructuras y su ordenamiento en función de los espacios públicos (Figura 3). Wolfhousefilms (2007) ha generado una reconstrucción animada que utiliza MTD para representar el ritual del sacrificio humano, el imaginario del jaguar y la figurada del sacrificador, propias de la Cultura Aguada. Por mi parte (2011) he realizado un video que utiliza MTD cuya trama gira en torno a una máscara de cobre recuperada en el sitio Bordo Marcial en el año 2005 (ver Scattolin *et al.* 2007-2008, 2010, para el contexto de descubrimiento de la máscara y los análisis realizados sobre la misma). El mismo fue realizado para el proyecto de extensión universitaria “Construyendo el pasado entre todos” en el valle del Cajón, Catamarca (Bugliani y Scattolin 2011) y cuyo fin fue generar espacios de reflexión, discusión y conocimiento sobre el patrimonio arqueológico.

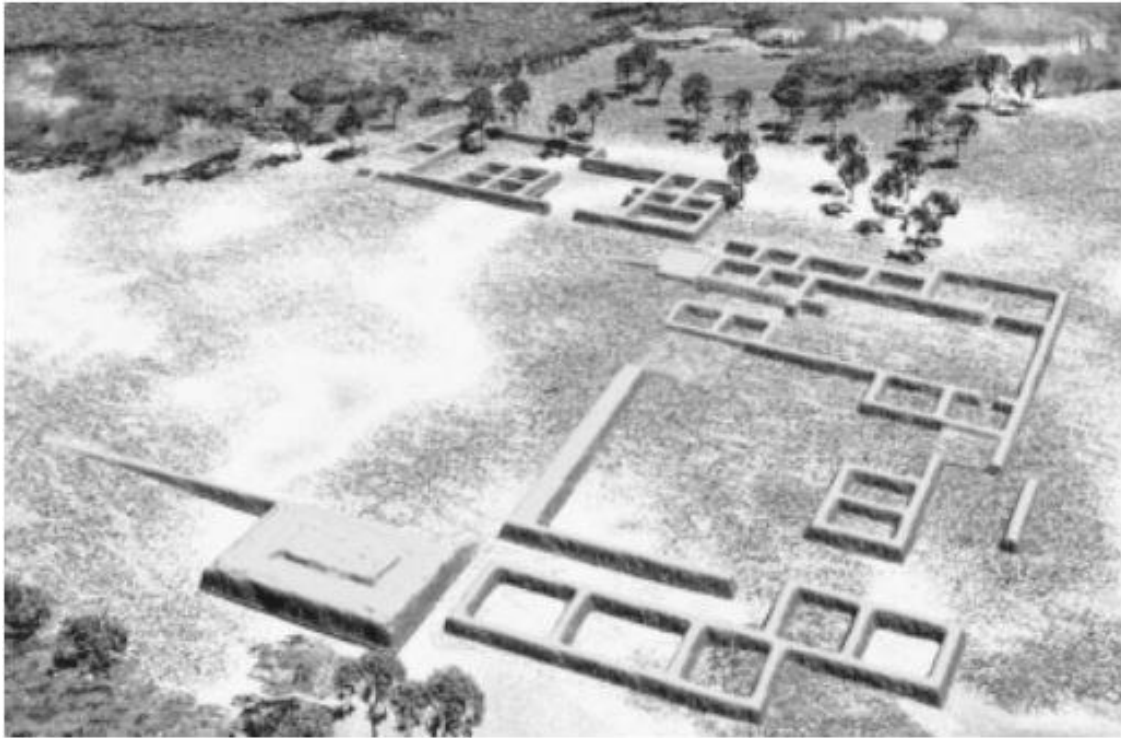


Figura 3. Reconstrucción tentativa de La Rinconada de Ambato o Iglesia de los Indios mediante el uso de MTD (tomado de Gordillo 2004).

Acuto y Gifford (2007) exploraron la arquitectura y la organización espacial desde el punto de vista de las experiencias corporales y sensoriales que fueron experimentadas por los sujetos que residían en el sitio arqueológico Cortaderas, Salta. Para ello construyeron diferentes MTD que buscaron recrear cómo los sujetos percibían el entorno. La Figura 4 muestra la visión hacia el este desde el poblado de Cortaderas. Hacia el fondo de la imagen se observan los restos de la antigua fortaleza/poblado de orden preinka, la cual se supone fue destruida durante la conquista Inka. La Figura 5 muestra la visión hacia el oeste desde la misma ubicación, en la que se observa la fortaleza Inka construida tras la conquista del poblado. Este contraste, para los autores, obedece a la imposición de condiciones perceptivas vinculadas a las relaciones de dominador/dominado en los habitantes locales del sitio. Una línea de investigación similar fue seguida por Ferrari (2012), quien ha desarrollado una serie de animaciones que muestran los recorridos visuales a lo largo del sitio Guitián (Figura 6).

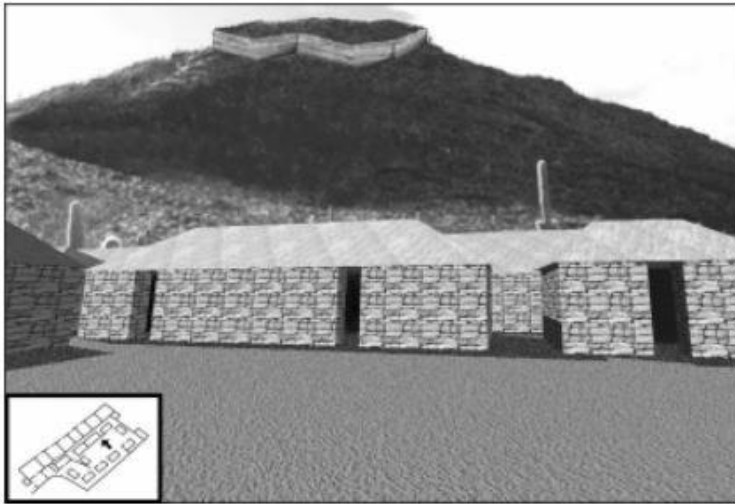


Figura 4. Visión hacia el este desde una estructura habitada por población local del sitio arqueológico Cortaderas, Salta, en la cual se ve de fondo las ruinas de la fortaleza preinkaica destruida tras la conquista del Inka (tomado de Acuto y Gifford 2007)

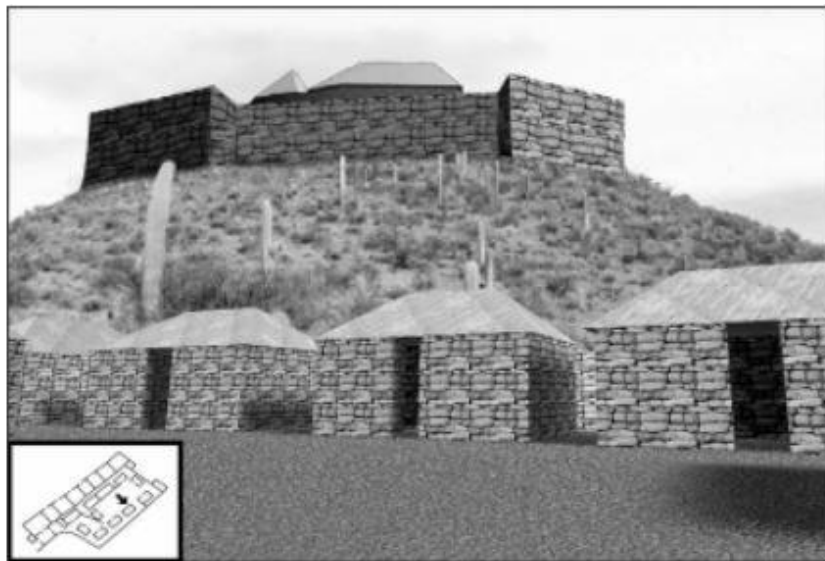


Figura 5. Visión hacia el oeste desde el mismo poblado local en donde se ve de fondo la imponente fortaleza incaica construida tras la conquista del poblado (tomado de Acuto y Gifford 2007).



Figura 6. Simulación Visual del sitio arqueológico Guitián (tomado de Ferrari 2012).

En el ámbito de los análisis cerámicos, Carosio *et al.* (2013) han utilizado el método de la revolución axial del perfil (Ver Capítulo 4) a fin de realizar estimativos sobre la formas de recipientes a partir de fragmentos y estimar el volumen de los mismos, para piezas provenientes del sitio arqueológico Tambería de Guandacol, La Rioja. En un trabajo previo he presentado un método similar para la estimación de peso y volumen (Izaguirre 2009). No obstante, en esta tesis se realizó una experimentación para evaluar con qué efectividad el método de los perfiles sirve para realizar estimativos del volumen de un recipiente (ver Una vasija en Estructura A, Capítulo 5) llegando a resultados desalentadores.

Ventajas del uso de Modelos Tridimensionales Digitales en Arqueología

A la hora de evaluar las ventajas de la incorporación de los MTD como herramientas de registro habituales en la práctica arqueológica, es necesario contrastar su potencial frente a los métodos tradicionales. Se proponen aquí una serie de variables que permiten la contrastación entre ambos tipos de registro.

Tridimensionalidad: La cantidad de información capaz de ser albergada dentro de un MTD es ampliamente superior en cantidad a la información tridimensional almacenada por el registro tradicional. Si bien se los suele definir como registros bidimensionales, los registros tradicionales son capaces de contener un grado limitado de información tridimensional lo que repercute en su interpretación. En términos de Andreeto:

3D objects cannot be adequately represented by single pictures or collections of pictures, which can only reproduce on viewpoint or a collection of viewpoints, or even by movies, which can reproduce only one visualization trajectory: the one which was followed by the operator during the taking. [Andreeto *et al.* 2010: 1]

Fotografías, planos, dibujos, calcos y otras técnicas de registro incorporan mediante cotas, anotaciones y parados este tipo de información. Su producto no obstante, es una representación visual bidimensional en el cual la tercera dimensión se encuentra limitada por el plano sobre el que son representadas. Al exhibir la información tridimensional dentro de un modelo visual, los MTD permiten la comprensión en tiempo real de la información, aumentando su potencial de registro, y convirtiendo los datos en

información visual, mejorando la interpretación de los sujetos (Hermon y Kalisperis 2009).

Para ejemplificar esta variable se comparan aquí los registros generados para el sitio arqueológico de Loma l'Ántigo, Ovejería Chica, Catamarca. Los datos utilizados fueron tomados mediante estación total durante un relevamiento realizado durante el año 2012, en el cual se tomaron 1.780 puntos de una superficie de 17.163 m². Estos datos fueron utilizados para confeccionar cuatro mapas de curvas de nivel de la cima de la loma, con curvas a intervalos altimétricos de 100, 50, 10 (Figura 7) y 1 cm (Figura 8). La misma información fue utilizada para generar un MTD siguiendo los mismos intervalos altimétricos.

En la Figura 7 puede observarse que cuando se utilizan curvas de nivel cada 100 y 50 cm, las representaciones bidimensionales (modelos de curvas de nivel) son inteligibles, los MTD para los mismos intervalos de datos generan un terreno poco definido que si bien presenta los rasgos básicos del terreno poco agregan a la interpretación. A partir de la utilización de curvas de nivel a intervalos de 10 cm, los modelos de curvas bidimensionales comienzan a perder claridad interpretativa. Esto se debe a que la saturación de información lleva a generar zonas en las cuales no se puede distinguir una curva de otra, pese a que, no obstante, su interpretación continúe siendo posible. El MTD realizado con la misma cantidad de información, por el contrario, es mucho más definido y claro que en los casos anteriores. Por primera vez comienzan a notarse los detalles propios del terreno y son visibles algunas de las estructuras del sitio, pudiéndose incluso distinguir los límites espaciales de algunos recintos.

La Figura 8 muestra la comparación entre el modelo de curvas de nivel y el MTD a intervalos altimétricos de 1 cm. Esta alta cantidad de información se hace prácticamente incomprensible en los modelos de curvas bidimensionales. Cada curva se sitúa tan cercana a su adyacente que la mayor parte del plano se presenta como una gran zona sombreada.

Por su parte, el MTD, sigue conservando todo su potencial explicativo. Existe un límite a la cantidad de información que puede registrar un modelo de curvas de nivel sin perder su claridad interpretativa. Una vez transgredida esa cantidad de información, el modelo comienza a volverse confuso. Esto no sucede con los registros tridimensionales, que son capaces de albergar una cantidad indeterminada de datos sin perder sus

propiedades: mientras más información tridimensional se vuelque en ellos, más detalle adquirirán.

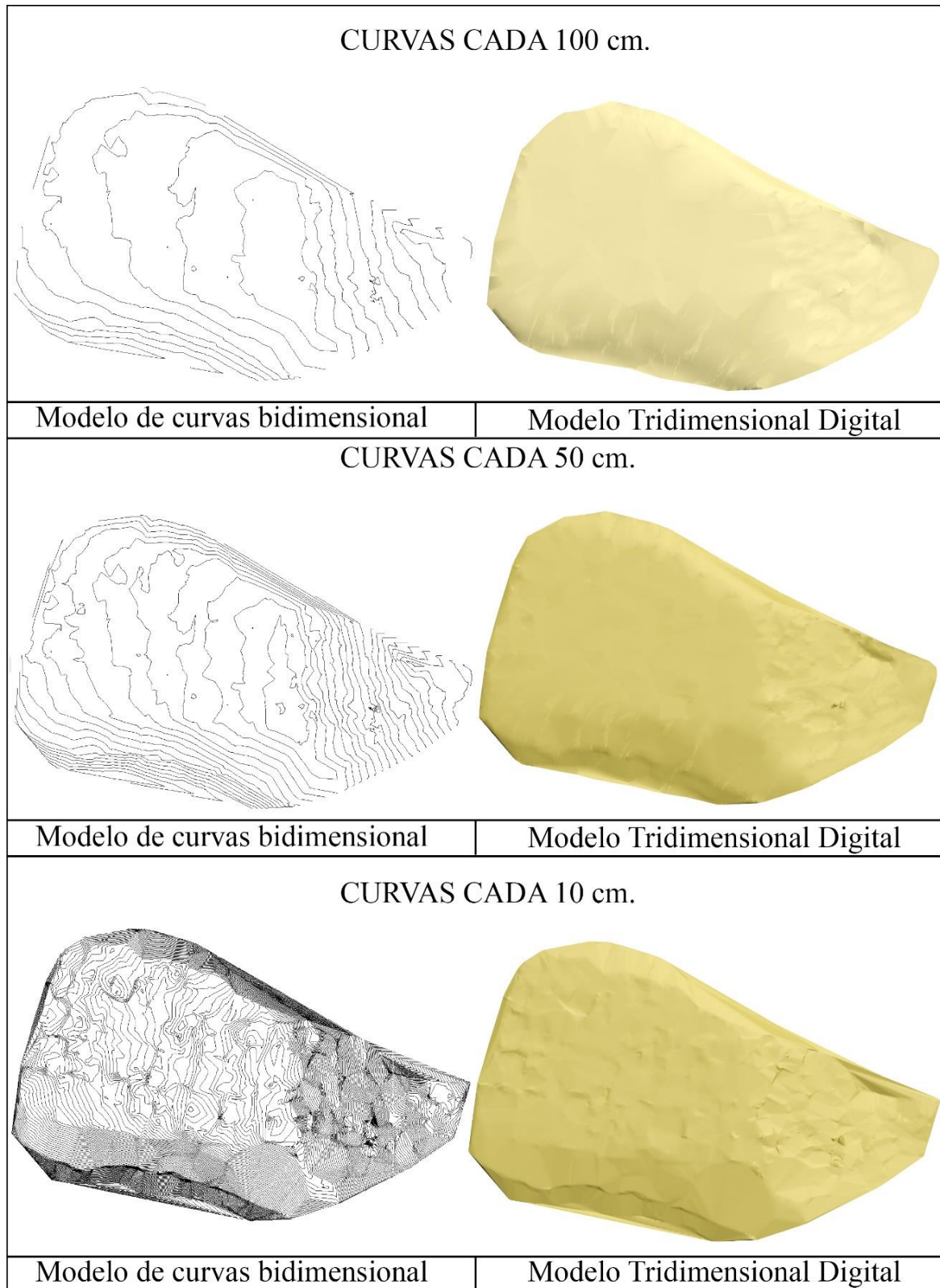


Figura 7. Comparación de diferentes modelos de curvas bidimensionales y modelos tridimensionales digitales del sitio Loma l'Ántigo en los cuales se aprecia la forma en la que la cantidad de información repercute sobre el tipo de representación generada.

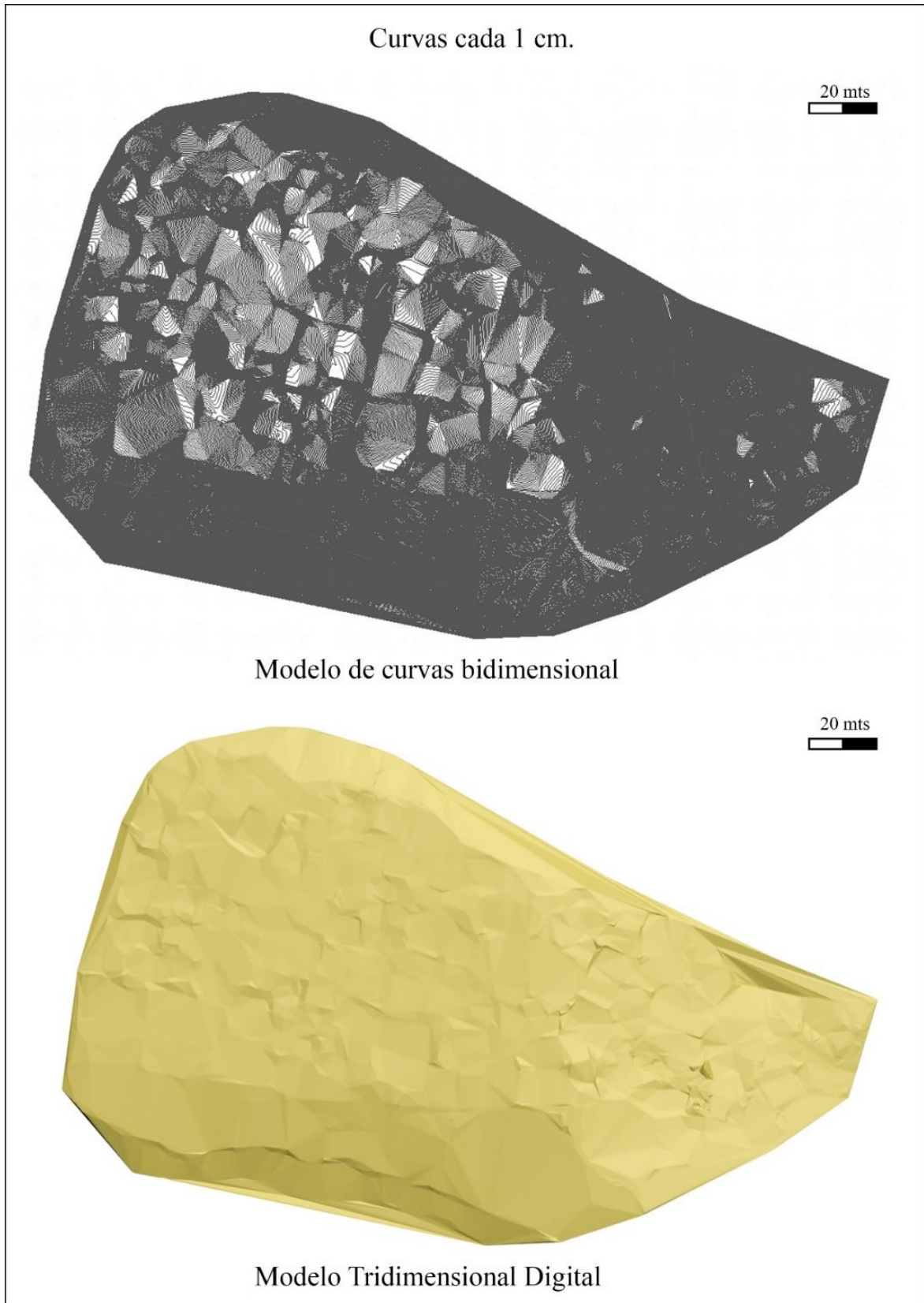


Figura 8. Comparación de un modelo de curvas de nivel de Loma l'Ántigo y un MTD del mismo sitio generado con intervalos altimétricos de 1 cm.

Precisión: Definimos aquí a la precisión como la cantidad de puntos medidos en la realidad que son trasladados al registro resultante sobre unidad de superficie. Un MTD puede albergar una cantidad infinitamente mayor de mediciones que las técnicas de registro convencionales. La cantidad de puntos correlacionados entre la realidad y el modelo, varían en función de la técnica empleada para su confección. Un MTD construido mediante mediciones realizadas por cinta métrica tendrá una precisión menor que las construidas por fotogrametría, a su vez éstas tendrán menor precisión que un MTD realizado por un escáner láser. Lo que distingue aquí a los registros tradicionales del registro por medio de MTD, es la cantidad de puntos de información por unidad de superficie medida que es almacenada en un registro.

Uno de los casos de análisis que se plantean en el capítulo 5 implica el registro de un recipiente cerámico mediante un escáner láser. Si tomamos este caso como ejemplo la cantidad de información medida por el dispositivo es infinitamente superior que la que se puede obtener por una representación tradicional. El dispositivo utilizado registró un total de 9.000.000 de puntos, con una precisión de 1 punto cada 2 micrones. Esta precisión es imposible de ser registrada, almacenada y representada por métodos tradicionales.

En este caso concreto existe una serie de derivaciones lógicas que ponen en ventaja a los registros tridimensionales. Por ejemplo, cuando se evalúa el grosor de una pared por medio de los registros tridimensionales del recipiente, el valor no se deriva de una cantidad limitada de mediciones (las cuales sólo pueden ser realizadas sobre puntos específicos del objeto) sino de la totalidad de mediciones posibles del grosor de las paredes del recipiente. El resultado es un valor normalizado que contempla la desviación en las diferentes áreas del objeto, por ejemplo $4 \text{ mm} \pm 2$.

Velocidad de registro: Hace referencia al tiempo involucrado en la confección de un MTD en relación a la cantidad de información medida. Si bien es factible construir un MTD a través de cualquier sistema de adquisición de puntos, la fotogrametría y el escáner láser son técnicas exclusivas de los modelos digitales tradicionales. Esta variable debe considerarse siempre en función de la cantidad de información relevada y existe mucha variación en función de la técnica por la cual se adquieren los datos. El sitio Loma l'Ántigo implicó la toma de 1.780 puntos en 5 días de trabajo. Por medio de un escáner láser es posible la toma de 5.000.000 de puntos en apenas unos minutos. A igual cantidad

de puntos tomados por las diferentes técnicas, la velocidad de registro es mucho mayor con la tecnología láser y con la fotogrametría.

Integración: La cantidad de información factible de ser integrada en un MTD es mucho mayor que en un registro convencional. El registro tradicional es fragmentario: cuenta con planillas de información geográfica, fotografías, cartas, dibujos, plantas de excavación, anotaciones sobre las fotografías, anotaciones sobre cada registro puntual, por nombrar sólo algunos. Los modelos tridimensionales permiten integrar toda esta información en un único modelo visual (Pletinckx 2009). Es decir, dichos registros pasan a ser parte del modelo resultante y pueden consultarse en cualquier momento que se desee. En el capítulo 5 se realizó un MTD de una estructura del sitio arqueológico Cardonal. Para su construcción se utilizaron 5 plantas de excavación, planillas de registro tridimensional de las rocas, fotografías de la excavación y de las paredes de la estructura (Figura 9). Todas ellas conforman el registro tradicional.

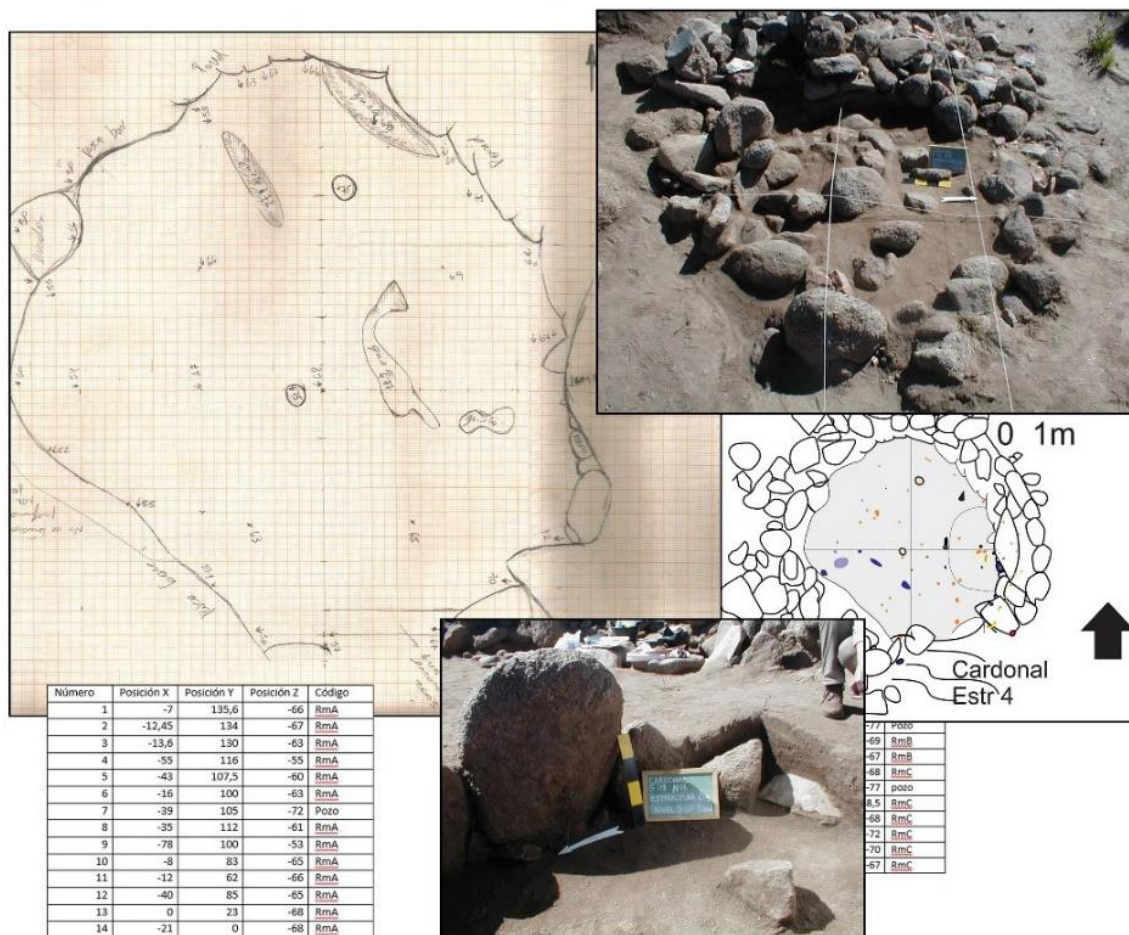


Figura 9. Registro tradicional utilizado para construir el MTD de la E4 de Cardonal.

El modelo resultante, incorpora dicha información y la mantiene accesible, al mismo tiempo que genera un nuevo registro único y unificado. No hay límite para la cantidad de órdenes diversos de información que pueden integrarse en un MTD.

Perdurabilidad: Los papeles, soporte fundamental del registro tradicional, tienden a deteriorarse con el tiempo. Los MTD, al ser digitales, no se deterioran. Pueden perdurar eternamente si se tomen los recaudos necesarios. La UNESCO en el año 2003 ha establecido una serie de recomendaciones para preservar el patrimonio digital que han de tenerse en cuenta para la salvaguardia de la información (UNESCO 2003).

Estas cinco variables aquí propuestas, en conjunto, hacen de los MTD una herramienta de registro con mayor potencial que los métodos convencionales, siendo su incorporación altamente beneficiosa para la práctica arqueológica. Puede ser utilizada para registrar espacios o artefactos concretos ya que su aplicación no se encuentra restringida por ningún tipo de material (*i.e.* lítico, óseo, cerámica, vidrio, rocas, etc.) ni por ninguna escala.

CAPÍTULO 3

Proceso de modelado tridimensional digital

Existe una tendencia naturalizada a ver el proceso de modelado tridimensional digital como el empleo de una técnica que se realiza en un ordenador, que se inicia con la adquisición de los datos (Allen *et al.* 2004; Remondino y Rizzi 2009) y que finaliza con el MTD (Remondino y El-Hakim 2006). Esta naturalización debe su esencia a la práctica habitual por la cual un arqueólogo subcontrata un equipo de dibujantes y/o diseñadores provenientes de otras disciplinas a fines de construir MTD específicos (English Heritage 2012), generando una escisión entre la labor del arqueólogo, que busca resolver interrogantes y la labor del técnico, el cual genera el modelo. Como consecuencia hay cierta incapacidad generalizada de ver al proceso de modelado como una práctica completa, reduciéndola exclusivamente a una de sus fases: la del dibujo tridimensional. La falta de orientación arqueológica y el desconocimiento de la problemática da origen, en algunos casos, a modelos ineficientes que terminan limitándose a representar de manera llamativa y agradable un objeto o un lugar (Alegre Paricio y Campos López 2004). La problemática es esencial no sólo a la hora de construir los MTD, sino también al momento de adquirir los datos necesarios para su construcción (Forte 2008; English Heritage 2012). Al introducir el interrogante como fase inicial de proceso de modelado, los imprevistos que surgen a lo largo del desarrollo del proceso de investigación sirven para mejorar la planificación de futuras investigaciones, reevaluar las metodologías utilizadas para la adquisición de los datos e incluso replantear hipótesis de investigación (Redman 1987).

Por otra parte, es necesario tomar ciertos recaudos metodológicos a fin de exponer la transparencia del procedimiento. Las publicaciones que incorporen MTD deben hacer explícito el proceso de modelado de forma tal que permita a otros investigadores evaluar la autenticidad del modelo resultante (Principios de Sevilla 2011). Los parados, el conjunto de información que se utiliza para la confección del modelo, deben conservarse según los estándares de UNESCO (2003) de modo que los MTD puedan ser replicados por cualquier investigador (Carta de Londres 2009). Según dichas recomendaciones, las publicaciones deben incluir todas las fuentes de información utilizadas a lo largo de la construcción del modelo (Remondino y Rizzi 2009). Excluir los parados de cualquier publicación le resta validez a nuestras interpretaciones (Beacham 2011) en la medida en

que la aceptación del modelo por la comunidad científica se reduce a una cuestión de fe (Alegre Paricio y Campos López 2004).

A lo largo de este capítulo se describe el proceso de modelado tridimensional digital. Se reconocen cinco estadios ideales (Figura 10) que pueden variar según la especificidad de los proyectos y de los interrogantes en cuestión.

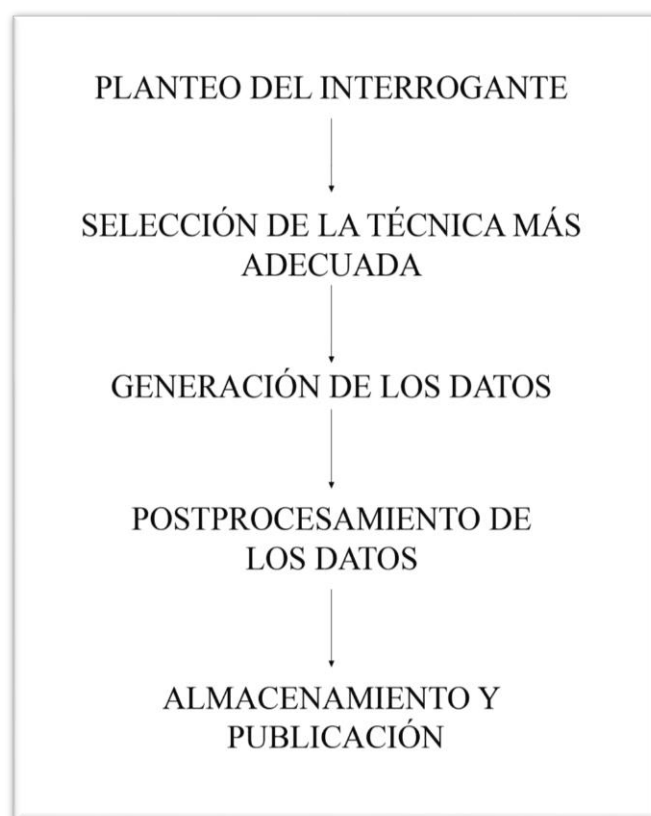


Figura 10. Diagrama de flujo de trabajo propuesto para el proceso de modelado tridimensional digital.

Interrogante

¿Cómo lucía la antigua ciudad de Roma desde sus primeros asentamientos en la edad de Bronce hasta su despoblamiento a principios de la Edad Media? (Rome Reborn Project 2013) ¿Cómo afecta el espacio construido y las vías de circulación a la percepción visual de los sujetos en el sitio arqueológico de La Paya? (Ferrari 2012) ¿Cuántas ollas entran en una estructura de almacenamiento? (Karasik y Smilanski 2006) ¿Cómo incide la luz solar en el interior de una vivienda sobre la organización de las prácticas sociales? (Parker Pearson 1999). Todas estas preguntas son casos concretos de interrogantes arqueológicos que pueden ser pensados a través de los MTD. Cada interrogante implica un tipo de modelo diferente que puede ser construido mediante una variedad de técnicas. Un MTD puede a la vez resolver varios interrogantes.

Si uno se centra en la percepción visual por parte de un único individuo situado en una posición estratégica del paisaje, no será necesario reconstruir todo el sitio sino sólo aquellas regiones que afectan la perceptibilidad del sujeto. Si el interrogante versa sobre el patrón de fractura de una vasija, el MTD tendrá que contener a la vasija y al área sobre la que cayó. Si se busca calcular su peso sólo se necesitará modelar la vasija y asignarle valores físicos al MTD. Si el interés se centra en la capacidad del recipiente se debe, además, modelar el vacío que el recipiente contiene (Izaguirre 2009). Diferentes preguntas implican diferentes modelos. Lo que un modelo debe representar y lo que no, es estrictamente una función de la pregunta que le da origen.

La reconstrucción de los santuarios incaicos de la Isla del Sol realizada por Johanson y Frischer (2008) es un MTD que representa al tipo de interrogantes que se espera guíen la construcción de los MTD. Este modelo surgió como una forma de testear la hipótesis de que dos torres incaicas se encontraban alineadas con la roca sagrada por sobre la cual salía el sol durante el solsticio de invierno. Mediante información provista por la NASA, se recreó la trayectoria del sol para el año 1500. Se generó además un MTD de la superficie de la isla y de las estructuras incaicas. El MTD validó la hipótesis planteada.

El interrogante no sólo afecta lo que se va a modelar, sino también de qué forma se van a adquirir los datos para construir el MTD. Por ejemplo, si se quiere conocer cómo se dispersarían las gotas de lluvia sobre una superficie dada para reconocer áreas en las cuales la gelifluxión pudo haber alterado de manera considerable la concentración de materiales arqueológicos (Waters 1997), es necesario un registro de la superficie tan preciso que únicamente podría ser registrado por un escáner láser. Ni una estación total, ni la fotogrametría podrían ayudar a construir un MTD que se adecúe a este problema. No obstante, si se busca generar una perspectiva visual de un objeto, el registro mediante programas de dibujo asistido (CAD)² y/o la fotogrametría son lo suficientemente precisos para generar el MTD.

Debido a lo previamente expuesto se deduce necesario conocer con profundidad las características de cada una de las técnicas de registro y de los diferentes sistemas de puntos utilizados para construir MTD. La guía *3D Láser Scanning for Heritage* (2012) reconoce una serie de nueve preguntas para el uso de escáner láser en Arqueología y

² Hace referencia a sus siglas en inglés: Computer Assisted Drawing

Arquitectura, de las cuales he adaptado las cinco primeras para que sean de utilidad para todo proceso de modelado, sin importar el dispositivo de registro empleado. Se agrega aquí una sexta pregunta vinculada a los recursos económicos disponibles ya que suele ser una variable crucial a la hora de escoger la técnica conveniente (Fryer *et al.* 2005). Estas preguntas deben de tenerse en cuenta sólo tras haber definido nuestro interrogante.

¿Qué tipo de modelo queremos cómo resultado? Es necesario definir si se busca que el modelo sea interactivo o no. Si cómo resultado alcanza una o varias imágenes bidimensionales o si se precisa manipular, rotar y alterar la posición de las vistas y de la luz. También es importante definir si se busca hacer simulaciones sobre el comportamiento de alguna variable, si se quiere hacer una animación o si se quieren establecer mediciones sobre el MTD finalizado.

¿Cuál es el grado de precisión que requerimos? Es necesario conocer cuanta información espacial se requiere del objeto/escenario que se modela. Los modelos de los objetos que requieren mucho detalle necesitan una precisión muy alta para preservar los rasgos, siempre y cuando se busque establecer mediciones del modelo (ver pregunta 1). La Figura 11 muestra la relación existente entre el grado de precisión requerida y las diferentes técnicas de registros de datos. Si el tamaño del objeto a modelar oscila entre 1 cm y 5 m y la precisión es baja (menos de 100 puntos medidos), se puede realizar la medición manual del objeto. Si se requiriese una mayor cantidad de puntos, se debe recurrir al escaneo láser o a la fotogrametría. Para las escalas que van de los 10 m a los 1.000 m pueden utilizarse la estación total o un GPS diferencial, siempre y cuando no se requiera la medición de más de 10.000 puntos. Para una cantidad mayor de mediciones es necesario recurrir al escáner láser aéreo, a la fotogrametría aérea o bien a técnicas de registro satelital. El uso de programas CAD sirve para generar modelos a cualquier escala sin importar la cantidad de puntos registrados.

¿Cuál es el tamaño del objeto que deseamos modelar? Es necesario conocer el tamaño de los objetos que se quieren modelar, es decir, la escala a la cual se refiere nuestro modelo: si se busca reconstruir un escenario, una ciudad, un edificio, un objeto o múltiples objetos. La Figura 11 muestra, además, la relación que existe entre las diferentes técnicas de adquisición de puntos utilizadas para la construcción de los MTD y el tamaño de los objetos que se pueden modelar.

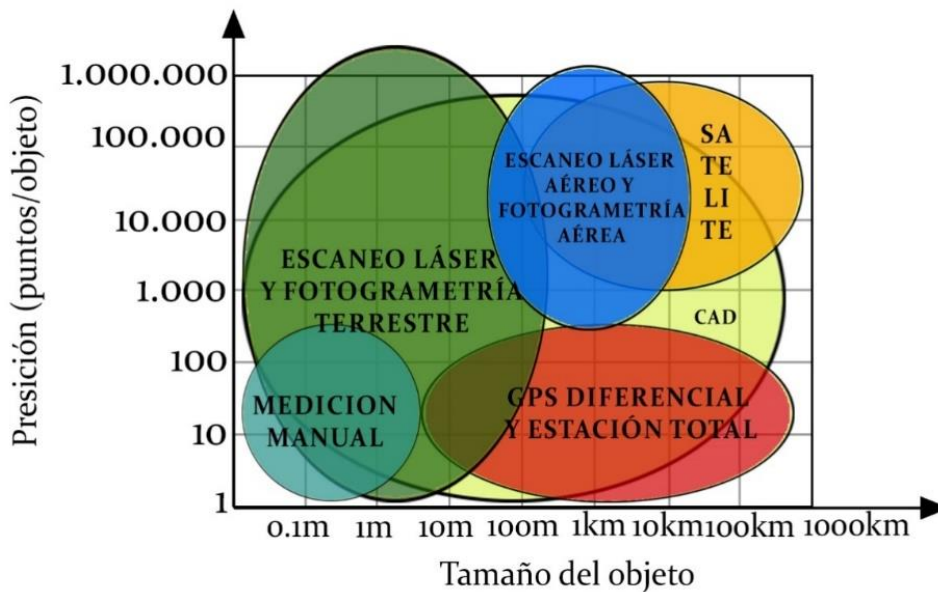


Figura 11. Relación entre la precisión, el tamaño de los objetos modelados y las técnicas de adquisición de datos para la construcción de modelos tridimensionales digitales (Modificado de English Heritage 2012).

¿Es necesario que el MTD se encuentre georeferenciado? Si el interrogante planteado implica el análisis espacial a escala de paisaje probablemente se requiere vincular el MTD con una plataforma GIS. Ésto hace necesario combinar el MTD con datos de georeferenciación. Existen técnicas de adquisición de puntos para el modelado tridimensional digital que trabajan exclusivamente con datos satelitales por lo cual el modelo resultante estará, búsquese o no, georeferenciado.

¿Existen restricciones de acceso y tiempo? El tiempo involucrado en el proceso puede ser una variable crucial a la hora de generar un MTD. Muchas de las técnicas involucradas pueden demandar muchísimo tiempo del que no se dispone, en dichos casos es necesario escoger técnicas que prioricen el tiempo de recolección de datos.

¿Existen restricciones de costo? El costo es una variable crítica en la medida en que los proyectos de investigación se encuentren limitados por la financiación. En dichos casos se deben escoger métodos alternativos que se ajusten al presupuesto sacrificando tiempo y, de ser posible, precisión.

La Figura 12 es un diagrama de flujo que sugiere el proceso de selección óptimo de la técnica a emplear en función de las respuestas a algunas de las preguntas mencionadas. Debe considerarse esta representación como un esquema orientativo ya que pueden tomarse caminos diferentes a los aquí planteados.

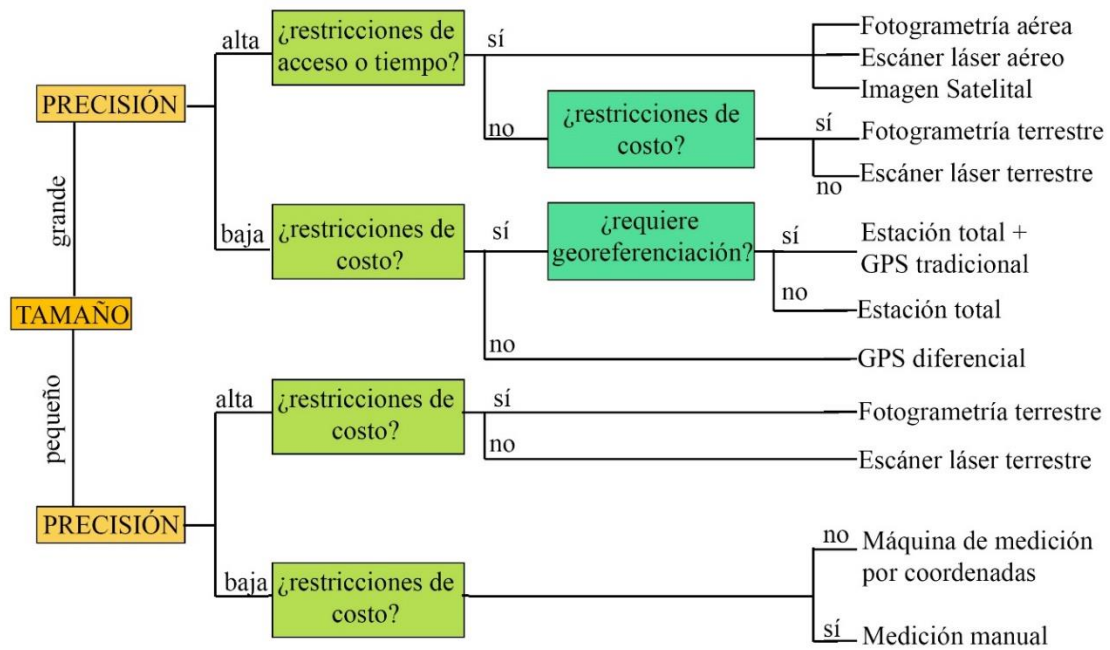


Figura 12. Diagrama de flujo propuesto para orientar la selección de técnicas de registro en función de nuestras necesidades, recursos y limitaciones.

En dicho diagrama puede apreciarse que no todas las preguntas aparecen en los mismos recorridos. Por ejemplo, no se pregunta si es necesaria la georeferenciación en los casos que como resultado sólo es posible utilizar técnicas aéreas o imagerie satelital. Esto se debe a que dichas técnicas utilizan de por sí datos georeferenciados para construir el modelo. En el caso de que se requiera un modelo de baja precisión la mayoría de las preguntas son irrelevantes debido a que no van a afectar el resultado final. El umbral tomado aquí para las diferentes variables es el siguiente: se considera tamaños grandes a aquellos que superen 1 km. La precisión alta hace referencia a aquellos modelos que requieran una medición de un punto cada al menos 5 mm.

Sistema de adquisición de puntos

Es necesario distinguir entre la construcción del modelo y el sistema de adquisición de puntos (SAP) que se emplea para adquirir los datos. El SAP es la forma en la que los diferentes dispositivos obtienen la información necesaria para generar una nube de puntos (Ginés Picó Vicente 2005). El modelado siempre se realiza mediante el uso de un programa que convierte esa nube de puntos en un modelo tridimensional sólido. Cada punto es una medición realizada sobre una superficie. La nube de puntos se puede considerar como la materia prima de cualquier MTD (English Heritage 2012) y es la disposición espacial en un entorno digital de todos los puntos medidos. Los SAP se pueden clasificar a grandes rasgos en dos categorías: métodos de contacto y métodos de

rango (Remondino y El-Hakim 2006). El principio que rige esta separación es si el instrumento de medición utilizado establece un contacto físico directo con el objeto a modelar o no (Vicedo y Linares 2010).

Métodos de contacto: Los métodos más conocidos de contacto son la medición con cinta métrica, calibre, regla, peine de acero, etc. (Remondino y El-Hakim 2006). Las desventajas de estos métodos residen en su susceptibilidad al error humano ya que el usuario es el encargado de tomar todas las medidas y de cargar las mediciones en una base de datos para poder generar un MTD. Existen métodos de contacto semiautomáticos, como la estación total y las máquinas de medición por coordenadas (MMC), en donde la toma de puntos se realiza por algún dispositivo de forma asistida por el usuario (Ginés Picó Vicente 2005).

Métodos de rango: A diferencia de los métodos anteriores los dispositivos de rango no requieren ningún contacto físico directo con la pieza para realizar las mediciones. Se pueden subdividir, además, en aquellos que poseen sensores activos y miden algún tipo de radiación que ellos mismos emiten, (por ejemplo algunos escáneres láser), y en aquellos que poseen sensores pasivos que miden la radiación del ambiente que se refleja sobre los objetos (por ejemplo las cámaras fotográficas, las cuales miden y registran la proyección de la luz sobre las superficies (Remondino y El-Hakim 2006)). La Figura 13 muestra los diferentes SAP que suelen ser utilizados para construir un MTD.

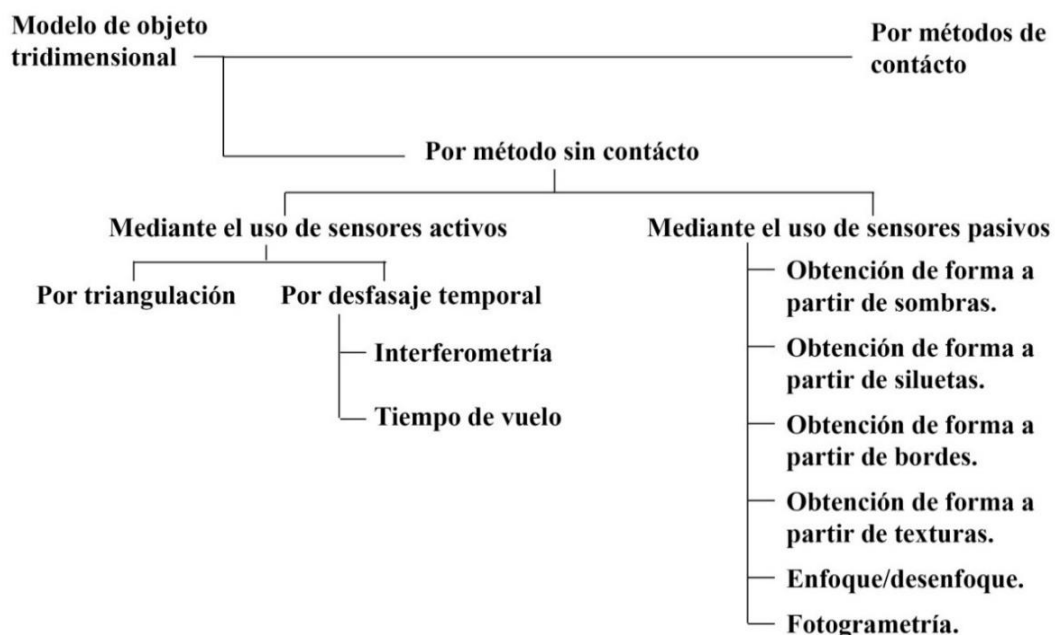


Figura 13 .Sistemas de adquisición de puntos que pueden ser utilizados para la confección de modelos tridimensionales digitales (modificado de Remondino y El-Hakim 2006).

De los casos planteados en esta tesis, tanto el remontaje de los núcleos de obsidiana como los cálculos volumétricos de los recipientes cerámicos implicaron el uso del escáner láser y de la fotogrametría. Estas técnicas permitieron registrar las superficies con el mayor grado de detalle posible. Otra de las variables que se tomaron en cuenta para elegir estas técnicas fue el tamaño de los objetos registrados. Tanto la cerámica como la obsidiana podían ser registradas mediante dispositivos terrestres. Si bien el uso del escáner láser se presenta como una técnica de alto costo de adquisición, la posibilidad de acceder a este dispositivo mediante el préstamo institucional permitió llevar a cabo la labor sin costos adicionales. Dado que las dos técnicas deberían permitir realizar los análisis previstos, se emplearon ambas a fin de evaluar cuál de las dos genera los mejores resultados. En ambos casos el escáner utilizado fue un escáner de triangulación. En los casos que fue posible realizar un modelo mediante la fotogrametría se utilizó el servicio web gratuito 123d Catch (Autodesk 2013).

El caso de estudio que evaluó la arquitectura del sitio planteó un problema adicional. Las técnicas mencionadas en este apartado están pensadas para el registro de superficies que aún no fueron registradas. Dado que las excavaciones del Núcleo 1 del sitio arqueológico Cardonal se habían realizado con anterioridad al planteo de esta tesis, se contó con un registro preexistente generado por métodos tradicionales. De las técnicas mencionadas en este apartado, la única que permite la transformación de un registro convencional en un MTD es el modelado mediante programas CAD, por la cual se ajustan las mediciones existentes a un formato factible de ser utilizado para generar el modelo.

Postprocesado de un MTD: Conversión de nubes de puntos en mallas sólidas y aplicación de texturas

La nube de puntos, el conjunto de mediciones en forma de puntos dispuestos espacialmente, es la materia prima de cualquier MTD (English Heritage 2012). La separación espacial entre cada punto deriva del dispositivo utilizado para la medición y es una expresión de la precisión. Para ilustrar esta fase del proceso de modelado, se procede con la confección de un MTD de un arpón arqueológico. El mismo proviene del sitio arqueológico El Cazador 3, Escobar, Buenos Aires. (Loponte y Acosta 2011).

Una vez obtenida la nube de puntos (Figura 14, la misma fue adquirida mediante un escáner láser) existen una serie de procedimientos que se deben realizar a fin de generar el MTD: el proceso de registro global (alineación de las diversas nubes de puntos resultantes del escaneo), la conversión de la nube de puntos en una malla poligonal sólida,

la reparación de los posibles problemas surgidos de la conversión de la nube de puntos hacia su referente sólido y la aplicación de texturas. La Figura 15 es un diagrama de flujo de dicho procedimiento.

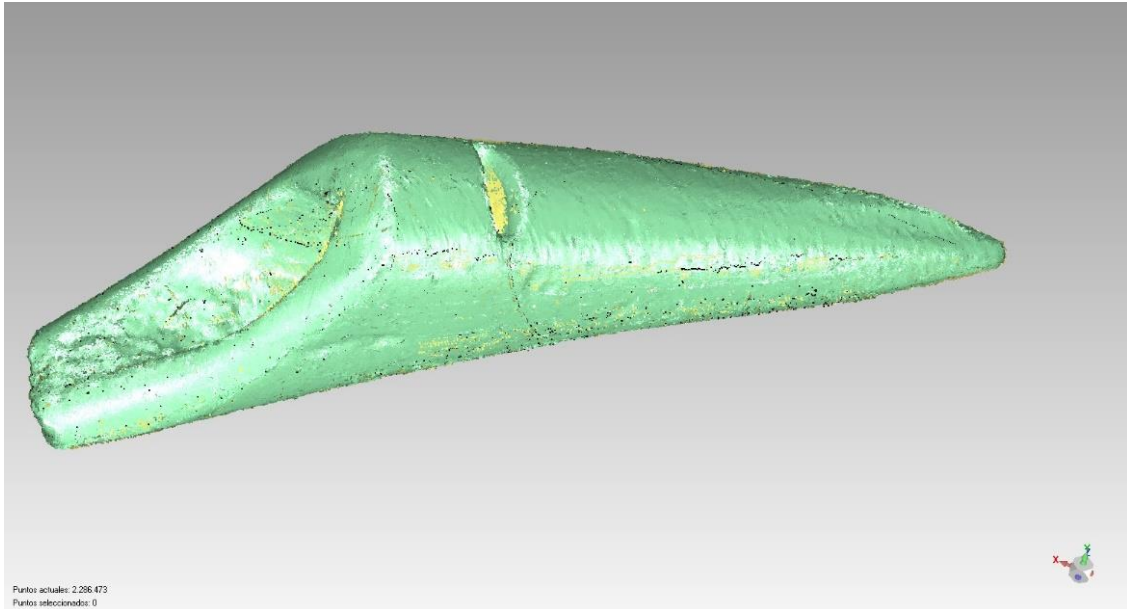


Figura 14. Una de las nubes de puntos generada a través de las mediciones realizadas por un escáner láser sobre un arpón óseo arqueológico.

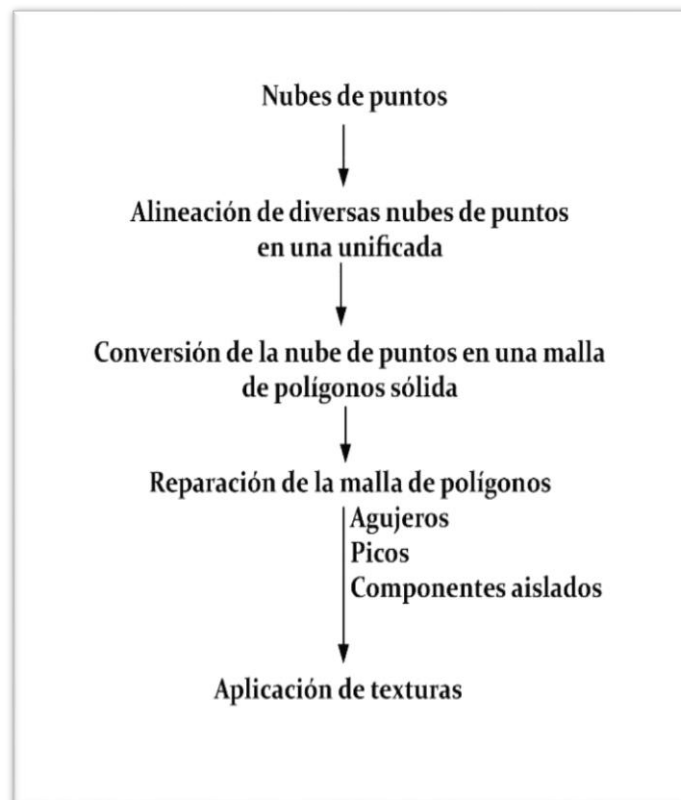


Figura 15. Flujo de procesos necesarios para el modelamiento de los datos generados por las técnicas más comunes de adquisición de datos.

El punto de partida no siempre es una nube de puntos, por lo general son varias. Esto se debe a que el proceso de adquisición de puntos se realiza en múltiples etapas que dan como resultado diversas nubes de puntos, cada una cubre una región diferente de la pieza, siendo independientemente representaciones parciales de la superficie del objeto modelado. Al proceso de unificación por el cual se alinean las diferentes nubes en un modelo único se lo conoce como registro global de la pieza (Andreetto *et al.* 2010). La Figura 16 muestra las diferentes nubes de puntos del arpón óseo.

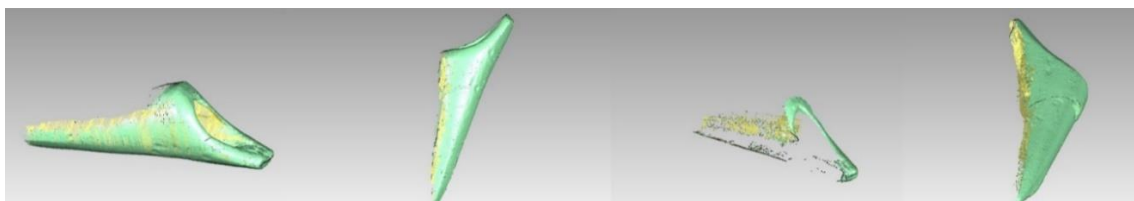


Figura 16. Las 4 nubes de puntos registradas por el escáner láser.

El registro global de la pieza consiste en la alineación de cada nube de puntos en el lugar exacto que ocupa en relación a las demás. Algunos programas poseen algoritmos matemáticos que permiten una correlación automática de cada sección (Andreetto *et al.* 2010). No obstante, debido a que están pensados para el escaneo de objetos industriales cuyas formas tienen una base geométrica conocida (cilindros, cubos, esferas, etc.), no ofrecen buenos resultados cuando se aplican a formas irregulares. Alternativamente este proceso se puede realizar de forma semiautomática por medio de la identificación, en las diferentes nubes de puntos, de una cantidad limitada de puntos de referencia en común. Mientras mayor sea la cantidad de puntos de referencia utilizados, más preciso será el resultado. La Figura 17 muestra el modelo resultante de la alineación de las 4 secciones presentadas en la figura anterior.

Para convertir la nube de puntos resultante en una superficie sólida, proceso por el cual se crea una red de polígonos entre los diversos puntos existentes, se puede recurrir a cualquier programa CAD (3d Max AutoCAD, Blender, Geomagic, Maya, etc.). Debido a que cada punto puede unirse con múltiples puntos a la vez, siendo infinitas las posibilidades de combinación entre ellos (Remondino y El-Hakim 2006), la malla resultante puede presentar ciertas “patologías” que deforman la estructura del MTD (Remondino y Rizzi 2009). Entre ellas se destacan los agujeros pequeños (representados en amarillo en la Figura 18), picos (puntos que debido a su distancia con los puntos aledaños forman una superficie angulosa y abrupta) y componentes aislados (conjunto de

puntos que debido a su separación del resto son interpretados como elementos ajenos al modelo). Los programas CAD cuentan con herramientas que permiten reconocer y reparar estos errores automáticamente. La Figura 19 muestra el MTD con su superficie reparada.

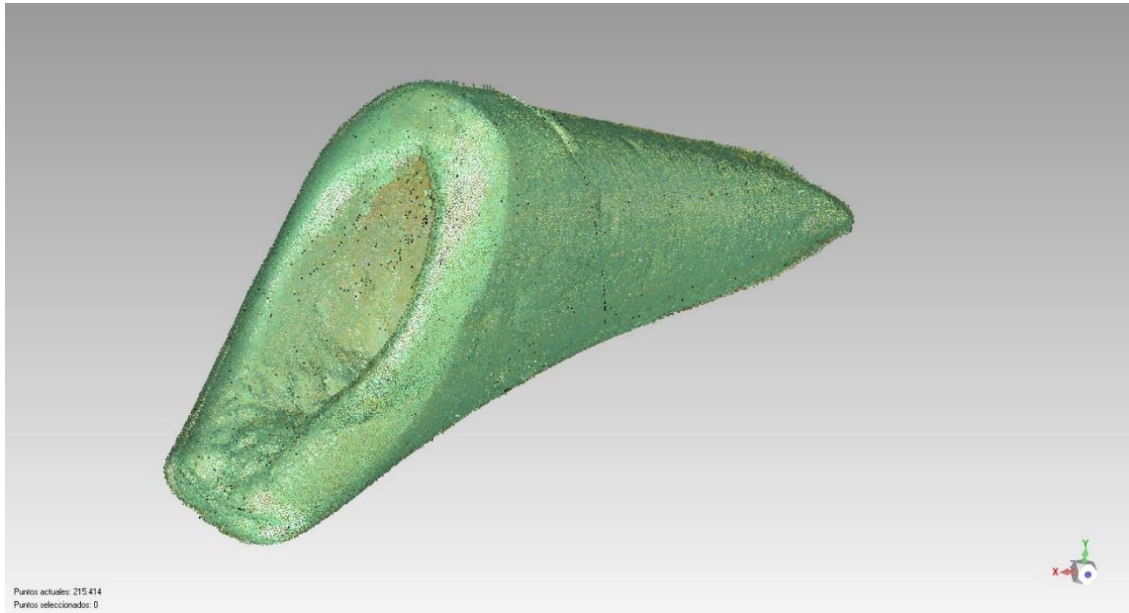


Figura 17 .Nube de puntos tras el registro global de las diferentes nubes de puntos expuestas en la Figura 16.

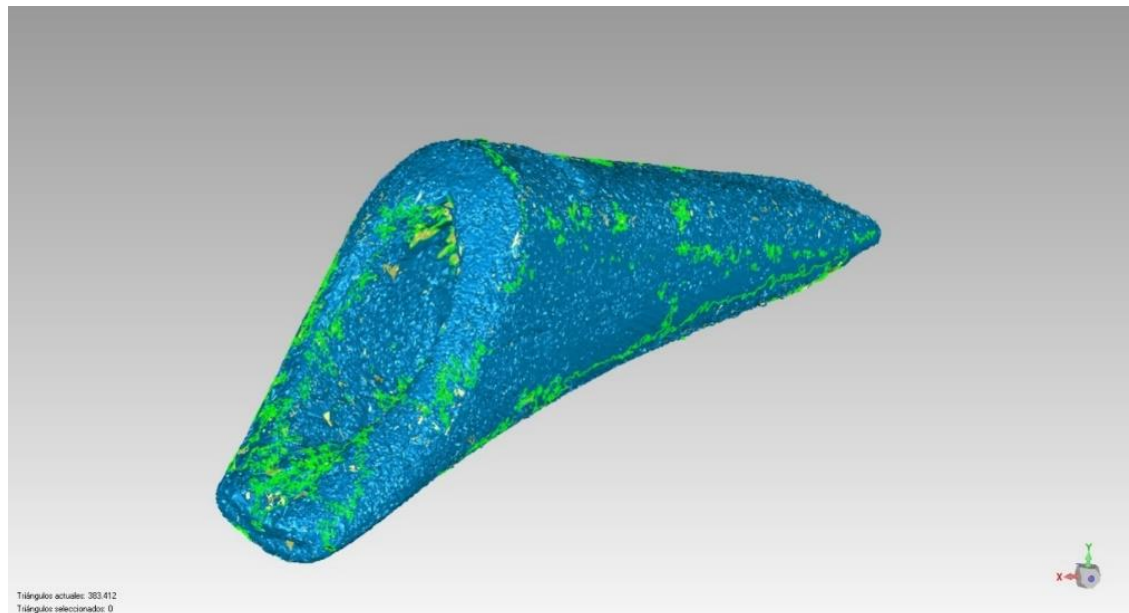


Figura 18 .Malla sólida resultante de una nube de puntos en la que se pueden apreciar algunas de las patologías frecuentes.

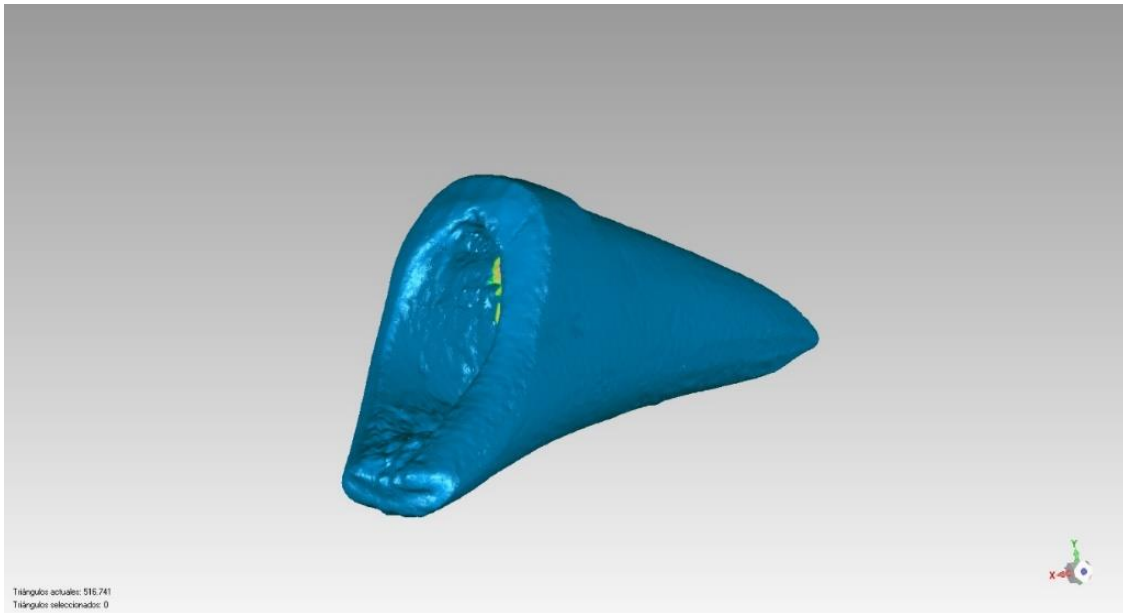


Figura 19. Superficie poligonal sólida tras la reparación de las patologías.

Una vez obtenido una superficie sólida es factible la aplicación de texturas al modelo. Este procedimiento se realiza también mediante programas CAD. Si se pretende dar más realismo al objeto se puede utilizar una fotografía real del objeto, no obstante se puede optar por no utilizar ninguna textura o emplear una textura de referencia. La Figura 20 muestra el MTD del arpón tras la aplicación de una textura de referencia que imita al hueso.



Figura 20. Arpón con una textura de referencia que simula el hueso.

Es posible aumentar el realismo aún más al introducir un sistema de iluminación que calcule los rebotes de la luz sobre la superficie del objeto generando una imagen hiperrealista del mismo. El MTD resultante estará listo para ser analizado o introducido dentro de un escenario de simulación.

Almacenamiento y publicación de los Modelos Tridimensionales Digitales

Una vez finalizado el MTD es necesario almacenar toda la información empleada a lo largo del proceso de manera adecuada. Esto incluye los datos y los parámetros. Mientras que los datos son los archivos digitales del modelo propiamente dicho, los parámetros hacen referencia a toda la información que se generó y que fue utilizada durante el proceso de confección del MTD. Los mismos incluyen fotografías³, registro de mediciones, marca y modelo de los dispositivos empleados y los parámetros de calibración de los dispositivos utilizados. También es aconsejable conservar los archivos intermedios y que toda esta información sea publicada junto con el MTD a fin de asegurar la autenticidad y la fiabilidad del proceso (ICOMOS 1994; Alegre Paricio y Campos López 2004; Frischer 2005) de forma tal que el mismo sea replicable por cualquier investigador (Carta de Londres 2009).

Debido a la propiedad inherente del registro digital por la cual “*Los productos de origen digital no existen en otro formato que el electrónico*” (UNESCO 2003), es necesario que su salvaguarda cumpla con ciertos resguardos: se deben hacer copias de los archivos en más de un dispositivo de almacenamiento, así como conservar dichas copias en un lugar seguro. Dado que los avances informáticos llevan a que ciertos programas y, en especial, ciertos formatos de archivos, se vuelvan obsoletos, es recomendable actualizar los MTD a las versiones más recientes de los programas utilizados, o bien grabar copia de los modelos en archivos de código libre cuya longevidad se espera sea mayor (Pletinckx 2009).

La publicación de los modelos puede realizarse de diversas maneras. Si el medio de publicación no es electrónico, el modelo perderá su carácter digital y lo que se publicará serán o bien instantáneas del modelo en un estado dado denominados *renders* (imágenes bidimensionales estáticas que calculan la proyección de la luz y su rebote sobre las diferentes superficies) o maquetas sólidas impresas en algún tipo de material (plástico,

³ Las fotografías digitales deben conservarse en su formato original sin ningún tipo de modificación ya que al ser modificadas mediante cualquier programa, se corre el riesgo de perder parte de la información que contienen.

madera, cerámica, etc., dependiendo del dispositivo de impresión). Es posible publicar el modelo en medios audiovisuales bajo la forma de videos (Lloret Marín 1999), caso en el cual es necesario adjuntar la información sobre el codificador-decodificador (CODEC) utilizado para la generación del video y sin el cual no puede ser corrido en otros ordenadores. Si se busca mantener la totalidad de interacción entre los usuarios y los MTD, es posible publicarlos en formatos interactivos que permiten la manipulación visual del entorno y la modificación de los objetos; existe una amplia gama de programas que permiten este tipo de publicación digital (Autodesk 360, Adobe Reader – sólo a partir de la versión 10.0, entre otros). Estos modelos son completamente interactivos y permiten un control total sobre las variables al mismo tiempo que es posible su acceso mediante Internet.

De la misma forma en la que se consideró que el inicio del proceso de modelado no comienza con la obtención de los datos, sino con el planteo del interrogante, tampoco debe considerarse que el proceso termine con el modelo resultante. Un MTD es un punto de partida para la búsqueda de nuevos interrogantes debido a que puede adaptarse a la incorporación de nuevos datos. La posibilidad de ser actualizado les brinda un potencial analítico siempre renovable, haciendo de esta herramienta un punto de partida constante para nuevas investigaciones.

CAPÍTULO 4

Hacia una Arqueología que contemple el uso de modelos tridimensionales digitales. Antecedentes en el uso de MTD

El uso de MTD en Arqueología ha estado orientado principalmente hacia cuatro fines específicos: documentar, analizar, exhibir y proteger el patrimonio. La Figura 21 muestra los diferentes ámbitos para los cuales se han generado MTD.

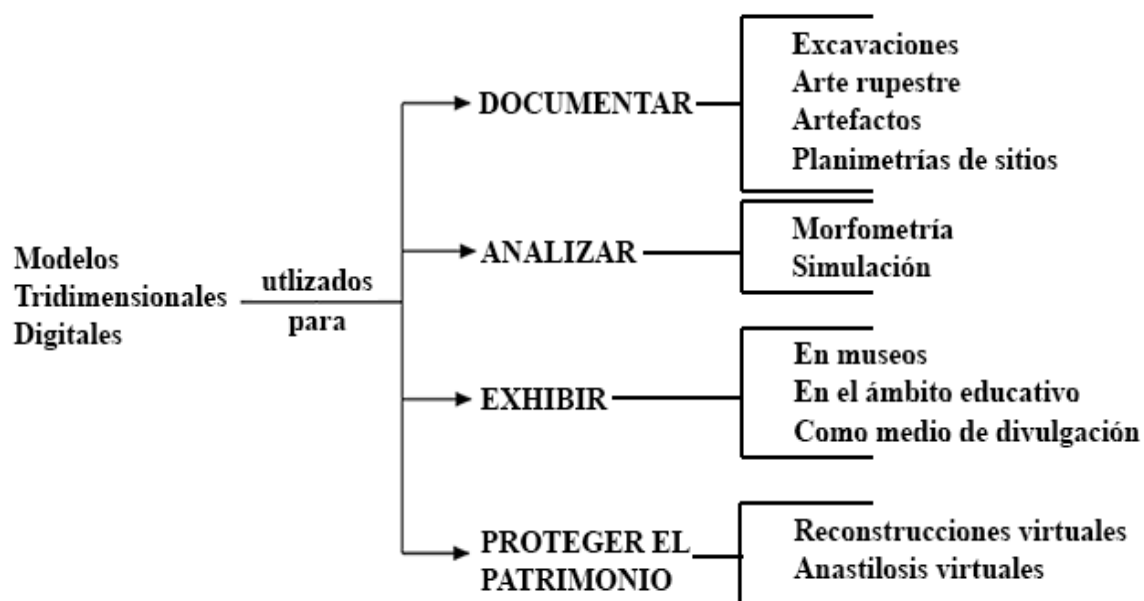


Figura 21. Fines para los cuales es frecuente el uso de MTD

Un MTD puede poseer múltiples fines e incluso ser concebido como etapas sucesivas de una investigación. Por ejemplo, para hacer un análisis es necesario previamente generar un registro tridimensional, el cual puede ser exhibido en diferentes medios o instituciones y servir a la protección del patrimonio. Por lo general, las publicaciones vinculadas a los MTD tienden a poner énfasis en alguno de estos cuatro aspectos.

Documentación: El uso de MTD con fines de registro es uno de los más frecuentes en la literatura arqueológica. Los MTD realizados versan sobre la reconstrucción de registros de excavación (Lewin y Gross 1996; Barceló *et al.* 2003, 2006; Allen *et al.* 2004; Katsianis *et al.* 2008; Farjas Abadía 2009; Moser *et al.* 2009;

Wulff 2010; Yamaguchi y Matsugui 2009), el registro de arte rupestre (Chandler y Fryer 2005; Fryer *et al.* 2005; Miranda Duarte y Von Altreck 2005; Lerma García *et al.* 2009; English Heritage 2012; Aujoulat s.f. Minolta s.f.), el registro de artefactos (Tejado Sebastián 2005; Remondino y El-Hakim 2006; Koller 2008; Martínez Carrillo *et al.* 2008, 2009; Ozmen y Balcisoy 2008; Moser *et al.* 2009; Remondino y Rizzi 2009; Rubio Gil *et al.* 2009; Smithsonian National Museum of Natural History 2013; Museum Sheffield s.f.) y la construcción de registros planimétricos de sitios arqueológicos (Sonnermann *et al.* 2006; Cantarelli 2010; Lo Bruto y Meli 2012; Chase *et al.* 2013). Los datos utilizados para la construcción de estos modelos son obtenidos mediante diferentes SAP, dependiendo siempre del tipo de registro que se busca generar, de los recursos económicos disponibles y de la problemática particular del registro al que refiere.

Análisis: Se distinguen aquí dos tipos de análisis. Los análisis morfométricos, en los cuales se busca reconstruir formas y/o medir alguna variable fija que no varía en el transcurso de la investigación y los análisis de simulación en donde las variables analizadas toman una multiplicidad de valores diferentes a lo largo del mismo análisis. Un análisis morfométrico es, por ejemplo, el cálculo de la superficie de un recipiente. Dicho valor se mantiene constante a lo largo de toda la investigación. La visibilidad, por el contrario, es una simulación en donde el valor de la misma está dado por la posición del sujeto en el espacio, la cantidad de luz que percibe y la presencia de otros factores atmosféricos que pueden alterar la variable mencionada. Al mismo tiempo, en cualquiera de los dos tipos de análisis, los valores pueden ser dados o inferidos. Es decir, podemos poseer un MTD de una vasija arqueológica en donde la totalidad de la superficie del objeto fue registrada por el dispositivo de medición, y por lo tanto su valor deriva íntegramente del modelo, o bien tener sólo fragmentos de esa superficie por lo que el valor debe inferirse mediante algún tipo de reconstrucción del recipiente.

Una gran cantidad de análisis morfométricos realizados mediante MTD se centran en los estudios cerámicos. Los mismos tratan sobre clasificación de fragmentos (Adler *et al.* 2001; Melero *et al.* 2009), la reconstrucción de formas a partir del perfil (Kampel y Melero 2003; Martínez Carrillo *et al.* 2008; Melero *et al.* 2009) del diseño decorado (Martínez Carrillo *et al.* 2009; Cohen *et al.* 2010), estimaciones volumétricas (Sablating *et al.* 2001; Kampel y Sablating 2001, 2003; Karasik y Smilansky 2006; Martínez Carrillo *et al.* 2008), medición de la uniformidad de los recipientes (Karasik *et al.* 2004; Mara *et*

al. 2004; Karasik 2008; Melero *et al.* 2009) y estudios sobre percepción visual (Irujo Ruiz y Prieto Martínez 2005).

Fuera del ámbito cerámico, se han realizado análisis morfométricos de registros de excavación (Barceló *et al.* 2003, 2006; Allen *et al.* 2004; Katsianis *et al.* 2008; Yamaguchi y Matsugui 2009). Los menos frecuentes son las simulaciones que por lo general tienden a explorar la visibilidad mediante la simulación de entornos construidos digitalmente (Thomas 1993; Cripps 2007; Johanson y Frischer 2008; Agugiaro *et al.* 2011), siendo una variante de estos trabajos aquellos que buscan mediante la mimesis, emular las experiencias que debieron haber sentido los sujetos en el pasado (Forte 1996; Barneche Naya *et al.* 2009; Lorrio *et al.* 2009; Forte 2009; Frischer 2009).

Aparte, está siendo desarrollado una serie de trabajos novedosos sobre simulación, los cuales al asignar a los MTD las propiedades físicas de los materiales recreados (Daniels 1996; Barceló 2001; Moitinho y Barceló 2011), como por ejemplo su peso, dureza, resistencia térmica, refractabilidad, fricción, etc, y al hacerlos interactuar con fenomenos físicos controlados (gravedad, vientos, impactos, desplazamiento, presión, deformación, entre otros), se cree posible generar patrones factibles de ser comparados con nuestro propio registro material. Por ejemplo, mediante la simulación podemos evaluar la dispersión de los fragmentos de una vasija tras golpear y fracturarse contra el suelo, simulando diferentes alturas, diferentes materiales, diferentes pesos (no es lo mismo una vasija llena que vacía), es decir, diferentes condiciones (Moitinho y Barceló 2011). Hay que reconocer que pese al poco desarrollo que posee este campo, es sin duda el de mayor potencial.

Exhibición: La exhibición es uno de los campos principales en donde los MTD pueden desplegar gran parte de su potencial. El énfasis en los MTD en este aspecto es tan fuerte que incluso se los ha llegado a definir como métodos de visualización computarizada (Principios de Sevilla 2011). La ventaja principal de los MTD en este campo reside en que al convertir la información existente del mundo real en un modelo visual, aumenta la asimilación de los datos por parte de los sujetos que interactúan con él (Hermon y Kalisperis 2009) facilitando la cognición de grandes cantidades de datos (Frischer 2008) y permitiendo la interacción del sujeto con la información a través de la manipulación del modelo (Hwang *et al.* 2009). Los trabajos sobre exhibición han estado orientados a la divulgación (Benítez de Lugo Enrich *et al.* 2009; Flores Gutiérrez y López

Martínez 2009; Gallo *et al.* 2009), educación (Sanders 1997; Borge Cordovilla 2009; Husillos García 2009; Rovira i Juan 2009) y a la experiencia museística (Frischer 2008; Palombini y Pescarín 2009; Arambarri Basáñez y Baeza Santamaría 2011), en especial a partir del desarrollo de nuevos dispositivos de visualización como las proyecciones holográficas (Reo tek 2012), la realidad virtual interactiva (Frischer 2009; Hermón y Kalisperis 2009; Flores Gutiérrez 2011) y la realidad aumentada (Barceló 2001; Acien Martínez *et al.* 2009; Fraunhofer IOSB 2011; Gosálbez *et al.* 2011; ArtSense Project 2013; Mckinley y Areti 2013) que permiten exponer réplicas virtuales de las piezas sin poner en riesgo los originales (Gallo *et al.* 2009).

Protección del patrimonio: Las publicaciones que ponen énfasis en la protección del patrimonio exaltan la capacidad de los MTD de generar reconstrucciones hipotéticas sobre el registro sin alterarlo físicamente (Hernández-Barahona y Escacena Carrasco 2009). Ya sea mediante la anastilosis virtual (Pinto Puerto *et al.* 2011; Borge Cordovilla 2009; Pletnickx 2009) o la reconstrucción virtual (Ozmen y Balcisoy 2008; Rascón Marqués y Sánchez Montes 2008; de Felice y Sibilano 2009; Forte 2009; Gómez Robles y Quirosa García 2009; Hernández-Barahona y Escacena Carrasco 2009) se pueden exhibir reconstrucciones de los bienes arqueológicos sin modificar su estado original.

Todo MTD es además una forma de registrar y documentar los bienes arqueológicos para su preservación futura (Pollefeys *et al.* 2003; Miranda Duarte y Von Altreck 2005; Barrera Vera *et al.* 2005; Rascón Marqués y Sánchez Montes 2008; Hernández-Barahona y Escacena Carrasco 2009; Constantino *et al.* 2010). Las visitas virtuales a sitios de arte rupestre (Aujolat s.f.; Minolta s.f.) son una forma de impedir que el público modifique el entorno y altere las condiciones de preservación de los mismos.

El registro de la Estructura 4 de Cardonal

El caso de estudio 1 intenta dilucidar la funcionalidad de la E4 en relación al Núcleo 1 de Cardonal e indaga sobre su relación con la E3. La construcción de este MTD implicó generar un modelo tridimensional del registro de excavación.

Debido a que existe una cantidad notable de fotografías realizadas durante la excavación de Cardonal, fue factible idear un modelo fotogramétrico a partir de dicho registro. Otros autores han aplicado la fotogrametría con éxito para reconstruir la planta de excavación. Por ejemplo, Wulff (2010) logró realizar un MTD del registro arqueológico mediante el procesamiento de fotografías tomadas durante la excavación

del sitio Bruszczewo, Polonia. Para que se pueda aplicar el método con las fotografías de Cardonal, éstas deben cumplir con ciertos requisitos que no fueron tenidos en cuenta durante las excavaciones. Por ejemplo, la presencia de sombras proyectadas por diversos elementos del paisaje y por las paredes de las estructuras generaba cierta dificultad en la construcción de un MTD. Los modelos tridimensionales resultantes a partir de dichas fotografías deformaban la geometría de las superficies construidas. Para aplicar este método es necesario que las fotografías se tomen durante el proceso de excavación, eliminando de manera artificial las sombras generadas sobre las superficies que van a modelarse tridimensionalmente. Dado que nuestras fotografías no cumplían con dichos requisitos, se desechó esta alternativa.

Los modelos generados por escáner láser (Allen *et al.* 2004; Moser *et al.* 2009) y mediante sistema de posicionamiento global (Katsianis *et al.* 2008) requieren que los datos sean registrados por dispositivos específicos durante el proceso de excavación, por lo que no fue posible utilizarlos en nuestros casos.

Barceló, en diversas ocasiones (Barceló y Vicente Campos 2004, Barceló *et al.* 2006) ha generado registros de excavación de sitios como Shamakush VIII, Tierra del Fuego. El método propuesto por los autores consiste en la superposición sucesiva de diferentes fotografías referenciadas en función de una cantidad de puntos medidos por estación total (Barceló y Vicente Campos 2004), las áreas de cada fotografía son ubicadas en el programa Slice Dice según las mediciones tomadas para ese nivel con la estación total y funcionan como curvas de nivel de los diferentes estratos.

Las mediciones realizadas sobre las excavaciones llevadas a cabo en Cardonal no fueron mediante estación total, sin embargo se realizaron mediciones con reglas, niveles de burbuja y cinta métrica. Dado que se disponía de una vasta colección fotografías era posible adecuar nuestro registro y adaptarlo para aplicar un método similar al utilizado por Barceló. Sin embargo, dicho método está orientado a la reconstrucción de los estratos sedimentarios de la excavación. En Cardonal, la variación sedimentológica es imperceptible visualmente por lo que el método no permitiría una buena reconstrucción de los estratos.

Ninguna de esas tres técnicas era aplicable a la excavación de Cardonal. La única alternativa practicable fue la transformación del registro disponible (plantas de excavación, planillas de datos tridimensionales y fotografías) en un modelo

tridimensional mediante el uso de programas CAD (3d Max, Blender, AutoCAD). Este método, fue probado con anterioridad por Lewin y Gross quienes hallaron ciertas dificultades a la hora de su aplicación sobre los registros de excavaciones sucesivas en Cerén, un sitio arqueológico al oeste de Ecuador que fue enterrado bajo cenizas volcánicas hace 1400 años ap.

Cerén fue excavado y registrado a principios de los años 90. Hacia mediados de la misma década, se le encargó a Lewin y Gross la tarea de generar un MTD para visualizar el registro original (Lewin y Gross 1996); Los autores reconocieron las siguientes limitaciones: a) **diferentes interpretaciones de los mismos objetos**: debido a que la investigación del sitio se llevó a cabo durante varios períodos y los dibujos fueron realizados por distintos individuos, éstos mostraban diferencias considerables por más que refiriesen a los mismos elementos. Los diferentes registros eran igualmente válidos pero incongruentes entre sí. b) **fallas en la escala**: al tratarse de dibujos a mano alzada, la mayoría de los dibujos eran incompatibles con las mediciones originales de los mismos rasgos, siendo éstos no representativos. c) **información espacial inadecuada**: al tratarse de dibujos, muchas veces ocurrió que se registraron los rasgos de manera bidimensional pero no así las variaciones tridimensionales, sufriendo una pérdida irrecuperable de información.

Era de esperarse que esta situación se repitiese en nuestro caso de estudio. Sin embargo, los dibujos de las plantas utilizadas para la reconstrucción fueron realizadas por una sola persona, lo que evitó que existieran múltiples interpretaciones de los mismos elementos. En aquellos casos en donde el registro no era del todo preciso, las fotografías asociadas permitieron reconstruir los rasgos y reducir la posible incertidumbre. Otro de los elementos que favoreció la generación del registro en el caso de Cardonal, es que las plantas fueron realizadas sobre hojas milimetradas, evitando cualquier transgresión sobre las escalas. Se contó además con planillas detalladas de la información tridimensional de los rasgos lo que favoreció su reconstrucción tridimensional (Figura 22). El modelo resultante realizado por este método permitió establecer las mediciones esperadas.

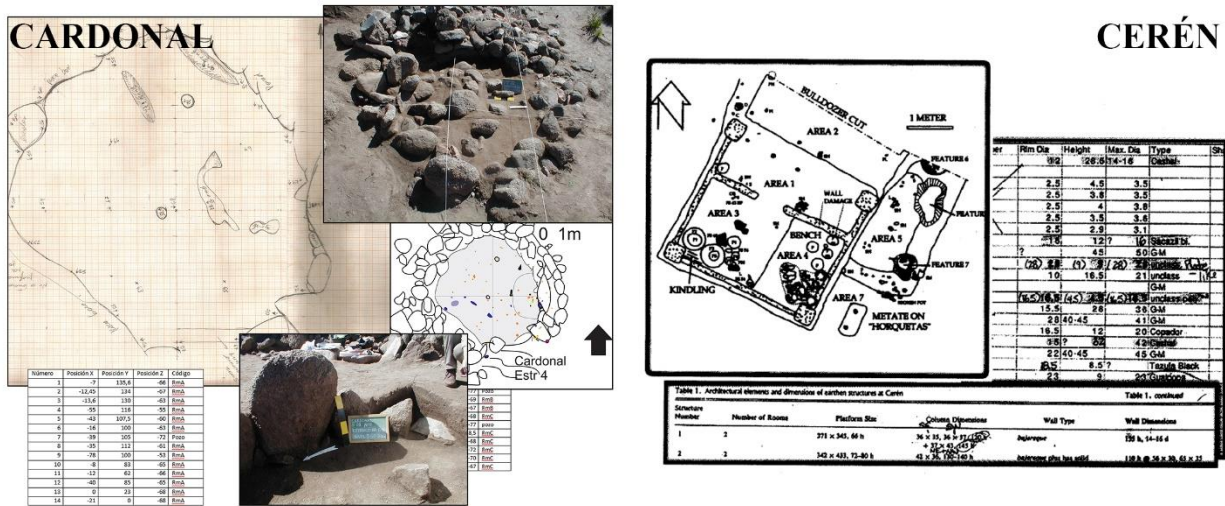


Figura 22. Comparación de los registros de excavación de Cardonal (izquierda) y de Cerén (derecha, tomado de Lewin y Gross 1996).

Los análisis de las Estructuras 3 y 4 de Cardonal

Existe una amplia gama de estudios realizados sobre los registros tridimensionales de excavaciones de diferentes sitios del mundo. Los trabajos citados anteriormente de Barceló *et al.* (2006) están orientados a la reconstrucción de los estratos sedimentarios y al estudio de las relaciones que se dan entre ellos. Katsianis *et al.* (2008) realizó diversos análisis morfométricos vinculados a la dispersión espacial de los artefactos hallados en la excavación del sitio Paliambela Kolindros, Grecia. Su MTD combina datos estratigráficos, posicionamiento global satelital, modelado tridimensional de objetos, fotografías, modelos de elevación del terreno y una base de datos. La plataforma principal utilizada fue el Esri ArcGis, permitiendo una interacción total de todos los elementos dentro del modelo. El uso de la batería tradicional de herramientas analíticas geoespaciales que brinda la plataforma GIS incluye análisis de visibilidad, de recorridos, gráficos gamma, etc.

Tanto los análisis de Barceló como los de Katsianis están orientados a problemáticas diferentes a las que buscamos resolver en nuestro caso de análisis. La información GIS, no es significativa para la resolución de nuestras hipótesis planteadas, por lo que no fue necesario georeferenciar el MTD. El tipo de mediciones que se buscó establecer con nuestro MTD, se asemeja al de Yamaguchi y Matsugi (2009) quienes construyeron un MTD de la Tumba Yobuzako Kofun, Japón. Debido a que el muro que separa la E4 y la E3 (Figura 23) se encontraba parcialmente derrumbado y a que una de las prioridades de nuestra hipótesis era medir la altura de la pared (variable inferida

mediante la reconstrucción del muro) fue preciso establecer con gran detalle las fases sucesivas de la excavación a fin de reubicar las rocas recuperadas en su posición más probable. La reconstrucción de las fases sucesivas de excavación a partir de MTD fue practicada previamente por Allen *et al.* (2004) en el sitio Monte Polizzo, Sicilia, Italia.

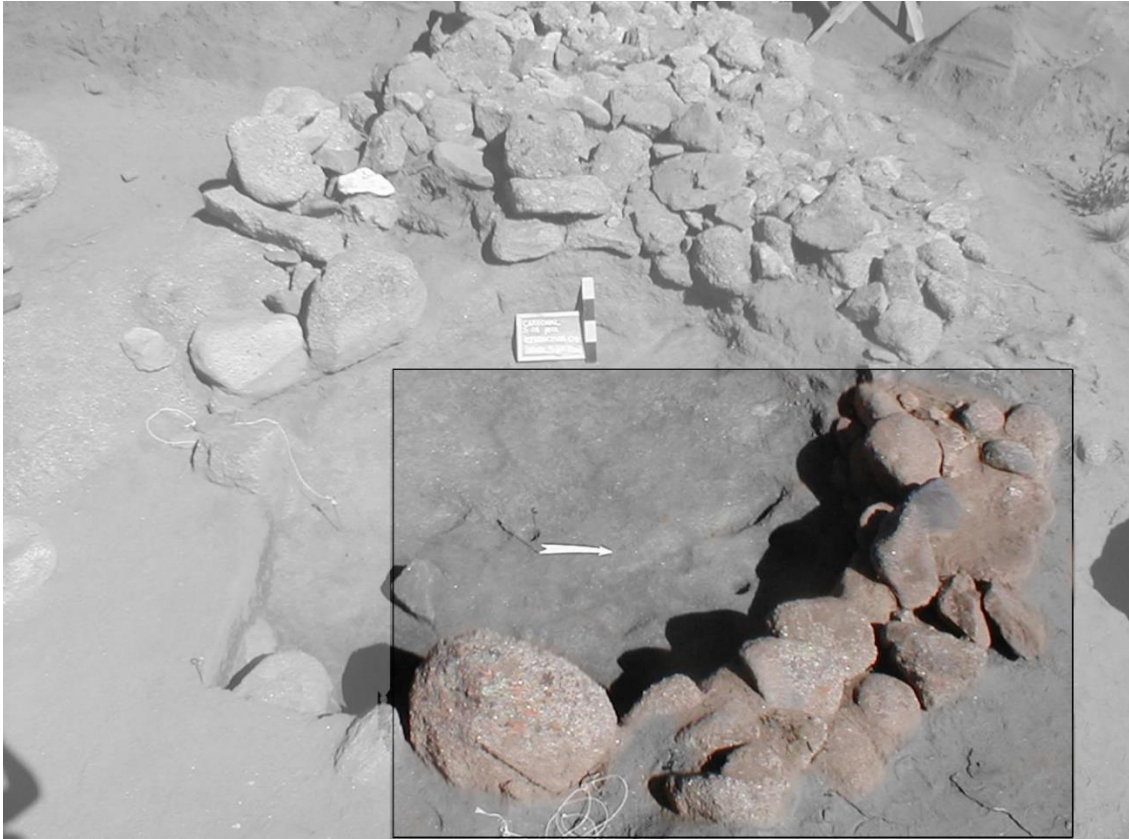


Figura 23. Fotografía del muro que separa la E3 de la E4.

La restauración de rasgos arqueológicos ha sido realizada previamente por medio de MTD fotogramétricos (Van Gool *et al.* 2000) o mediante el uso de escáner láser (Pinto puerto *et al.* 2011). En dichos casos, se realizó anastilosis virtual, que implica la restauración de los componentes desmembrados a su posición original. La reconstrucción del muro que separa la E3 de la E4 no puede considerarse un caso de este tipo debido a que no existe información detallada previa que indique la posición exacta que ocupaba cada roca. Por consiguiente, dicho trabajo debe considerarse un caso de reconstrucción virtual (ver por ejemplo Forte 2009), en donde el rasgo reconstruido toma valor hipotético (Rascón Marqués y Sánchez Montes 2008) y se considera una posibilidad de la realidad (Hermon y Kalisperis 2009).

El registro de la vasija cerámica y la punta de obsidiana de Cardonal

La fotogrametría es la técnica más habitual utilizada para la generación de MTD de artefactos dado que es muy poco costosa en términos económicos y produce resultados fotorrealistas con poco esfuerzo (Remondino y El-Hakim 2006; Remondino y Rizzi 2009, Martínez Carrillo *et al.* 2009; Vitores y Avido 2013). El escáner láser es el otro dispositivo que actualmente se utiliza con estos fines (Martínez Carrillo *et al.* 2008). Los casos de estudio 2 y 3 involucraron el registro tridimensional de dos artefactos, ambos con peculiaridades que ponían a prueba las técnicas de registro tridimensional. La vasija de cerámica de la EA posee una boca muy pequeña (7 cm de diámetro) que impidió el registro de gran parte del interior del recipiente. Por otro lado, la punta de proyectil de la E3 está realizada en obsidiana, un material altamente refractante y reflexivo que generó cierta interferencia durante el proceso de registro con el escáner láser, e imposibilitó su registro mediante la fotogrametría. Ambas técnicas fueron comparadas a fin de evaluar cuál es la más adecuada para realizar los registros del resto de las piezas halladas durante las excavaciones realizadas en Cardonal.

Análisis de una vasija cerámica de la Estructura A

El segundo caso de estudio buscó generar un estimativo del volumen de los recipientes cerámicos hallados durante las excavaciones llevadas a cabo en Cardonal. Uno de los métodos más comunes para este fin es la extracción del volumen a partir de la revolución del perfil, el mismo fue propuesto originalmente por Senior y Birnie (1995). En este método, el perfil es utilizado para reconstruir las formas de los recipientes (Kampel y Melero 2003; Martínez Carrillo *et al.* 2008; Melero *et al.* 2009; Carosio *et al.* 2013) y de ellas derivar el volumen (Kampel y Sablatnig 2001, 2003; Karasik y Smilansky 2006; Martínez Carrillo *et al.* 2008; Sablatnig *et al.* 2001, Carosio *et al.* 2013).

El método posee dos limitaciones conocidas. En primer lugar, sólo se aplica a piezas cuya forma es el resultado de la rotación del perfil sobre su eje de simetría, quedando fuera de posibles análisis las formas cuya simetría no cumple esta regla. En segundo lugar, desde momentos tempranos se ha reconocido que las vasijas arqueológicas poseen cierta falta de uniformidad derivada de la técnica de manufactura de los recipientes. La revolución del perfil sobre su eje de simetría genera una superficie sólida ideal que no se corresponde con la superficie real de las piezas (Karasik 2008; Karasik *et al.* 2004; Mara *et al.* 2004; Melero *et al.* 2009). Los análisis mencionados que analizan

la variación en la uniformidad han encontrado que la mayor desviación se produce en las zonas de la base y de los bordes (Karasik *et al.* 2004). Estos estudios fueron realizados sobre piezas manufacturadas con torno.

Debido a que las cerámicas arqueológicas del Noroeste argentino se encuentran por lo general manufacturadas mediante la técnica de rollos, existe la posibilidad de que las variaciones en la superficie del recipiente sean poco significativas a la hora de establecer los volúmenes. En el capítulo 5, el método no es desechado *a priori*. A fin de corroborar si el escáner láser o la fotogrametría generan resultados más precisos que el método de la revolución del perfil, se comparan los MTD generados por las diversas técnicas y se evalúa el método más adecuado para la extracción del volumen del resto de los materiales recuperados en la excavación.

Los análisis de una punta de proyectil de obsidiana de la Estructura 3 de Cardonal

El tercer caso de estudio propuesto en el capítulo 5 versa sobre la reconstrucción de núcleos de obsidiana de los materiales líticos hallados en Cardonal. En dicho capítulo se considera que es posible generar el remontaje de núcleos líticos a partir de algoritmos matemáticos de superposición que buscan la concordancia de dos superficies, indicando la posible zona de la cual se desprendió una lasca de un núcleo determinado.

Cohen *et al.* (2010) aplicó un método de remontaje basado en los motivos decorados presentes en la cerámica proveniente del *National Constitution Center*, un sitio histórico de Filadelfia, Estados Unidos. Un método similar fue utilizado para la reconstrucción del Plano Severano de Mármol de la ciudad de Roma, actualmente alojado en el *Museo della Civiltà Romana* (Koller 2008). En ambos casos, el algoritmo de restitución se aplicó sobre el motivo decorado que presentaban los fragmentos ya que tanto el mármol como la cerámica tienden a deteriorarse en sus bordes. La obsidiana no presenta este tipo de daño sobre sus superficies, por lo que fue posible aplicar el algoritmo directamente sobre su forma geométrica.

CAPÍTULO 5

Casos de estudio

Los MTD realizados aquí se encuentran relacionados con problemáticas que surgieron de las excavaciones realizadas en la última década en el sitio arqueológico Cardonal, valle del Cajón, Catamarca. La Figura 24 muestra una superposición sobre *Google Earth* de la fotografía aérea de la región, en la cual se puede observar la explanada sobre la que se asentó la aldea formativa de Cardonal. La Figura 25 muestra la ubicación del Núcleo 1 en el contexto de la planimetría del sitio.



Figura 24. Superposición de foto aérea sobre Google Earth en la que se puede apreciar la localización de la explanada sobre la que se erigió el sitio Cardonal.

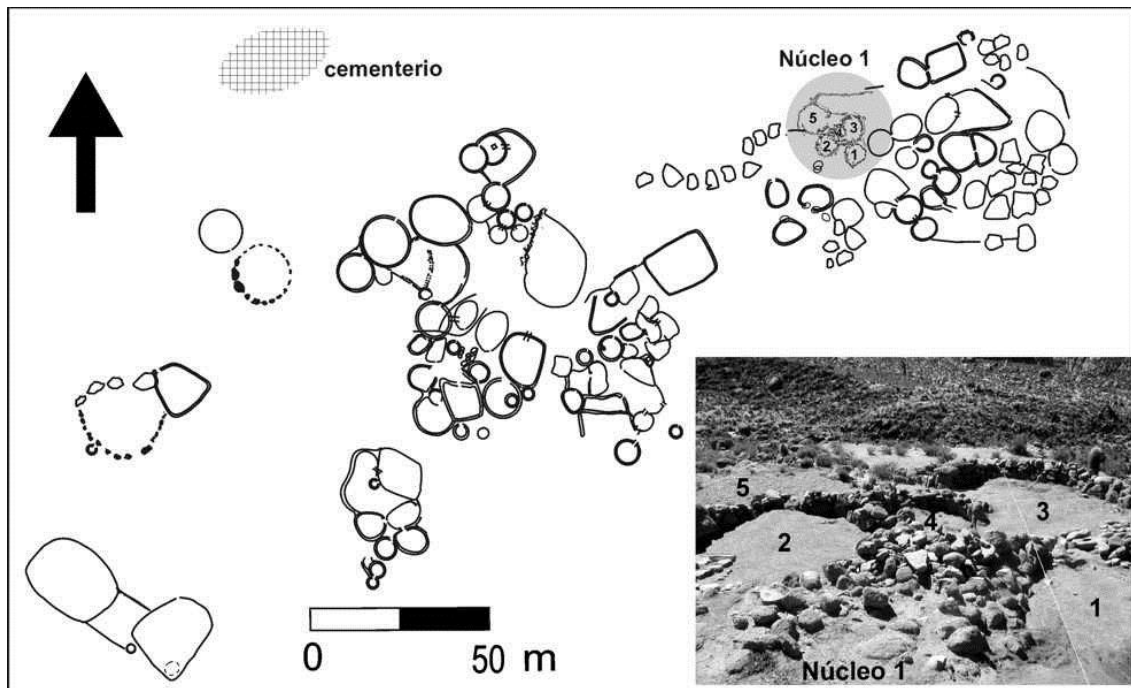


Figura 25. El Núcleo 1 en el contexto de la planimetría de Cardonal.

La Estructura 4 de Cardonal

El primero de los casos de estudio parte de un MTD que reconstruye la excavación de la E4 del Núcleo 1 de Cardonal para evaluar una serie de hipótesis elaboradas sobre la arquitectura del sitio. La E4 es un pequeño recinto de 5 m² (al nivel del piso de ocupación) delimitado por un muro simple de rocas. Hacia el este linda con la E3 y hacia el oeste con un área testigo que se aprecia como un engrosamiento del muro resultante de la unión de varios recintos (Figura 26)

En el año 2009 se propuso una reconstrucción (Figura 27) donde la E4 aparece como una habitación techada independiente de la E3, la cual sólo estaría techada de manera parcial (Scattolin *et al.* 2009a, 2009b). A esta interpretación se la denomina aquí como Hipótesis A. Introduciré una hipótesis alternativa que propone que la E4 es un anexo de la E3, quedando ambas recubiertas por un techo común cuyo poste se encuentra hacia el centro de la E3. La Figura 28 muestra un *render* de dos MTD que reconstruyen visualmente las dos hipótesis planteadas.

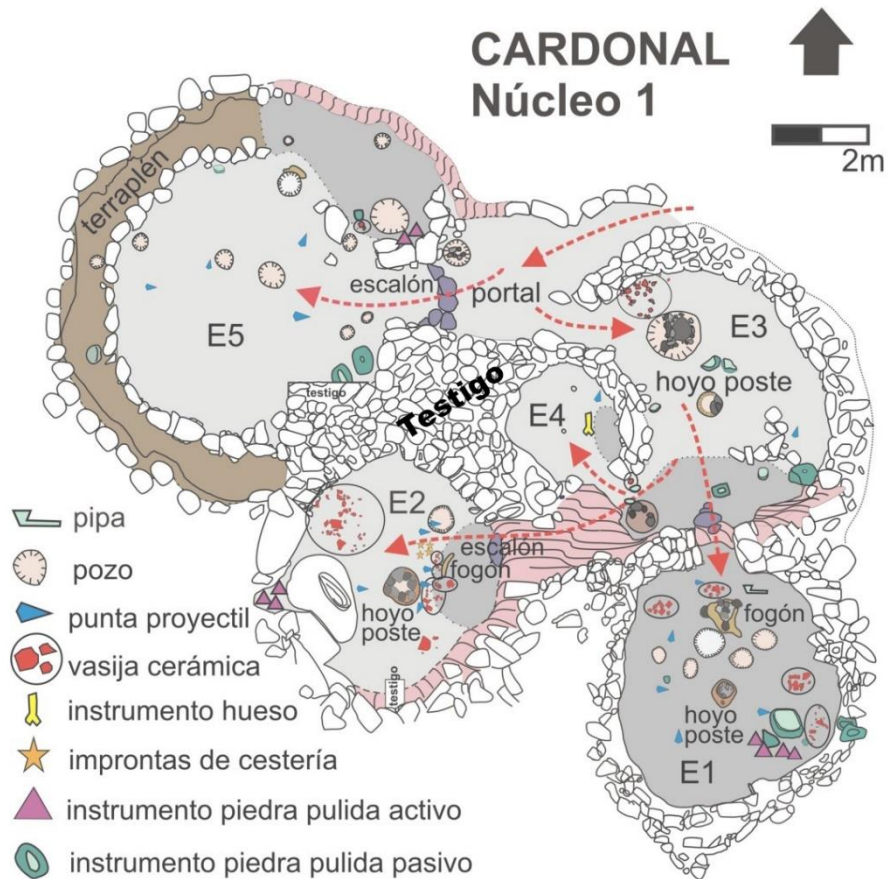


Figura 26. Planta del Nivel de ocupación del Núcleo 1 de Cardonal donde se muestran los principales hallazgos.

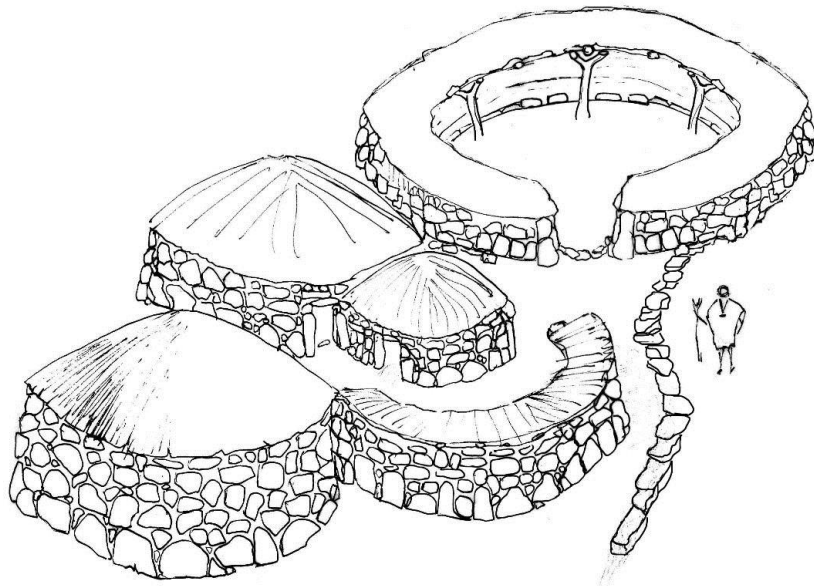


Figura 27. Reconstrucción del Núcleo 1 de Cardonal presentada en el 2009. Dibujo de M. Cristina Scattolin (Tomado de Scattolin 2009a: 255).

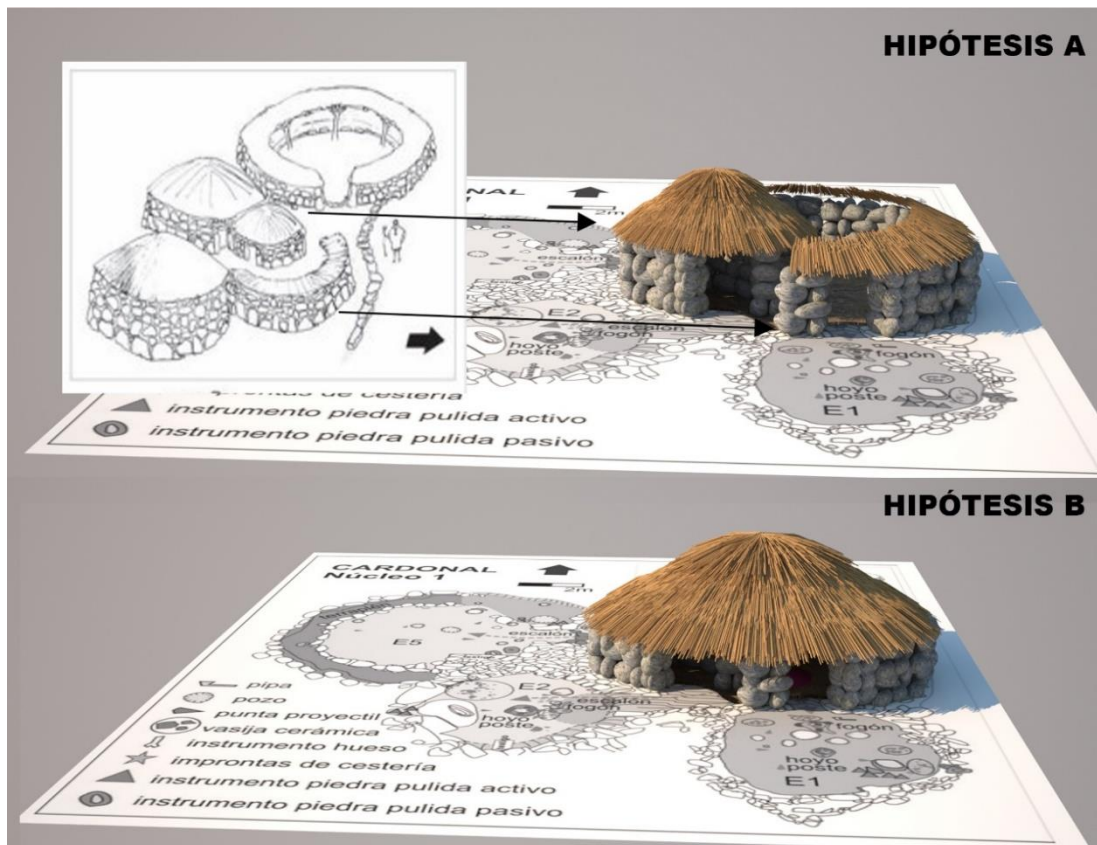


Figura 28. Render de dos MTD que reconstruyen visualmente las dos hipótesis planteadas.

Para que se cumpla la Hipótesis A es necesario que se den las siguientes implicancias contrastadoras. 1) que las paredes que delimitan la estructura posean en promedio una altura similar para funcionar como sostén del techo; 2) cierto grado de uniformidad en las técnicas constructivas ya que, al ser el mismo recinto, se presuponen criterios constructivos similares; 3) evidencia de techumbre en la E4 que sea independiente de la evidencia de techumbre presente en la E3. Para la Hipótesis B las implicancias contrastadoras serían opuestas a las planteadas en la Hipótesis A.

El principal inconveniente para corroborar o desestimar cualquiera de las dos hipótesis es que la pared que separa la E3 y la E4 se encontró en gran parte derrumbada hacia el interior de la E4. Este derrumbe se manifestó en todos los niveles de excavación (Figura 29).



Figura 29. Foto de la excavación de la E4 nivel 4 en el que se observa el derrumbe de la pared que separa E3 de E4.

Restituir las rocas derrumbadas hacia su posición original en términos de anastilosis resulta imposible dada la ausencia de un registro que nos permita asignar la posición exacta y la forma en la que se ubicaban las rocas en el contexto previo al derrumbe. Es probable que junto a las rocas de la pared que separa E3 de E4 también existan rocas que hayan caído de la pared aledaña o del área testigo que se encuentra entre la E3, E4 y E5, siendo imposible distinguir la procedencia individual de cada una de ellas. Este panorama desalentador, no obstante, se puede resolver si se acepta la siguiente condición: si se toman todas las rocas del derrumbe indistintamente de su procedencia y se las considera parte del derrumbe de la pared que separa E3 de E4, la altura obtenida debería aproximarse o exceder la altura promediada de la pared opuesta consolidada. Esta altura es estimada en 1,25 m. A fines prácticos se considera aquí que si la reconstrucción del muro que separa E3 de E4 alcanza una altura de 1 m (aunque debería esperarse un valor aun mayor de existir rocas provenientes de distintos muros) es posible considerar que existió cierta homogeneidad en la altura de las paredes.

Durante la excavación se plantearon cuatro cuadrículas con orientación cardinal de 1x1 m que fueron denominadas A, B, C, D. Para cada nivel artificial de excavación se consideró una profundidad de 10 cm, a excepción del nivel superficial que es de 30 cm. La profundidad modal alcanzada fue de 60 cm en cinco niveles de excavación. En algunos sectores donde había hoyos profundos en la roca base se alcanzaron los 80 cm. Cada

hallazgo fue mapeado en sus posiciones “x, y, z” en una hoja milimetrada, además de ser registrados en una planilla. Se realizaron plantas de excavación a mano alzada para cada nivel en las que se mapearon las rocas presentes sobre hojas milimetradas y se registraron las profundidades a las que fueron retiradas. Se tomaron fotografías de cada nivel.

Trabajar con hoja milimetrada durante la excavación permitió registrar las profundidades de la roca base directamente sobre el dibujo de la planta. Esto es una ventaja en tanto reduce el tiempo de registro, sin embargo, plantea cierta dificultad al querer recuperar dicha información en un formato de tabla de doble entrada. Este formato de datos es necesario para construir una nube de puntos en el programa Topocal, a partir del cual se generará la geometría tridimensional de la misma, a partir de las mediciones registradas sobre las plantas de los diferentes niveles de excavación. El proceso de extracción de la profundidad de la roca base para la generación de la tabla se realizó mediante Photoshop, para lo que previamente se escanearon las plantas originales (Figura 30).



Figura 30. Planta de excavación a mano alzada realizada en hoja milimetrada que fue escaneada para obtener información sobre la profundidad de la roca base y generar un MTD de la E4.

En el Photoshop se ajustó la imagen a una escala 1:10 sobre la cual se estableció un sistema de guías cuyo cero de medición recae en la intersección de las cuatro cuadrículas. De esta forma, es posible extraer la información gráfica espacial al posicionar el *mouse* sobre el punto deseado, registrando sobre la tabla las lecturas de las reglas situadas en la parte superior y lateral de la pantalla. La tabla resultante está compuesta por un total de 98 mediciones que se exponen en el Anexo 1. Fue necesario grabar la misma con formato .csv (archivo de valores separados por comas) a fin de ser importada mediante el software Topocal y generar así la nube de puntos de la roca base (Figura 31) y un modelo de curvas de nivel de su superficie (Figura 32).

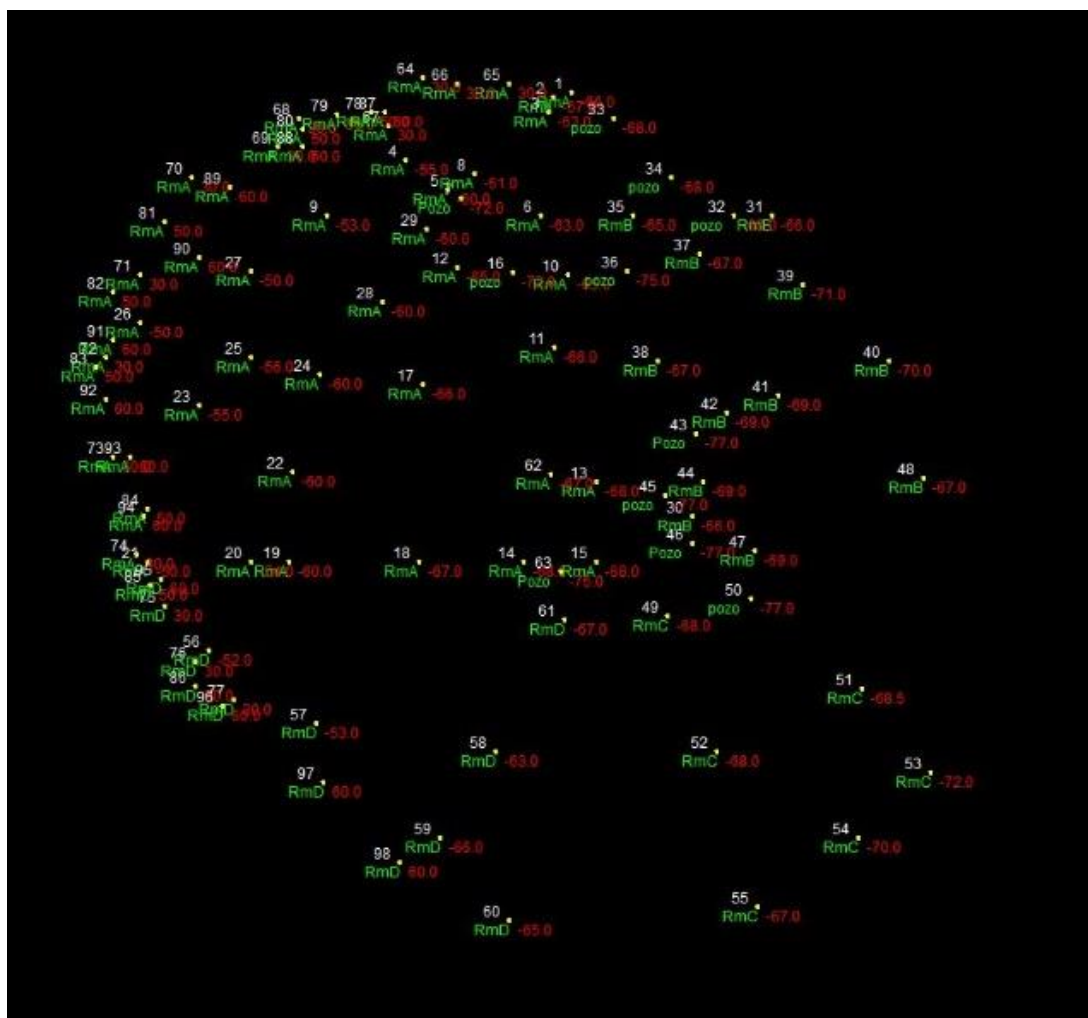


Figura 31. Nube de puntos generada a partir de la tabla de puntos de la roca base en el programa Topocal.

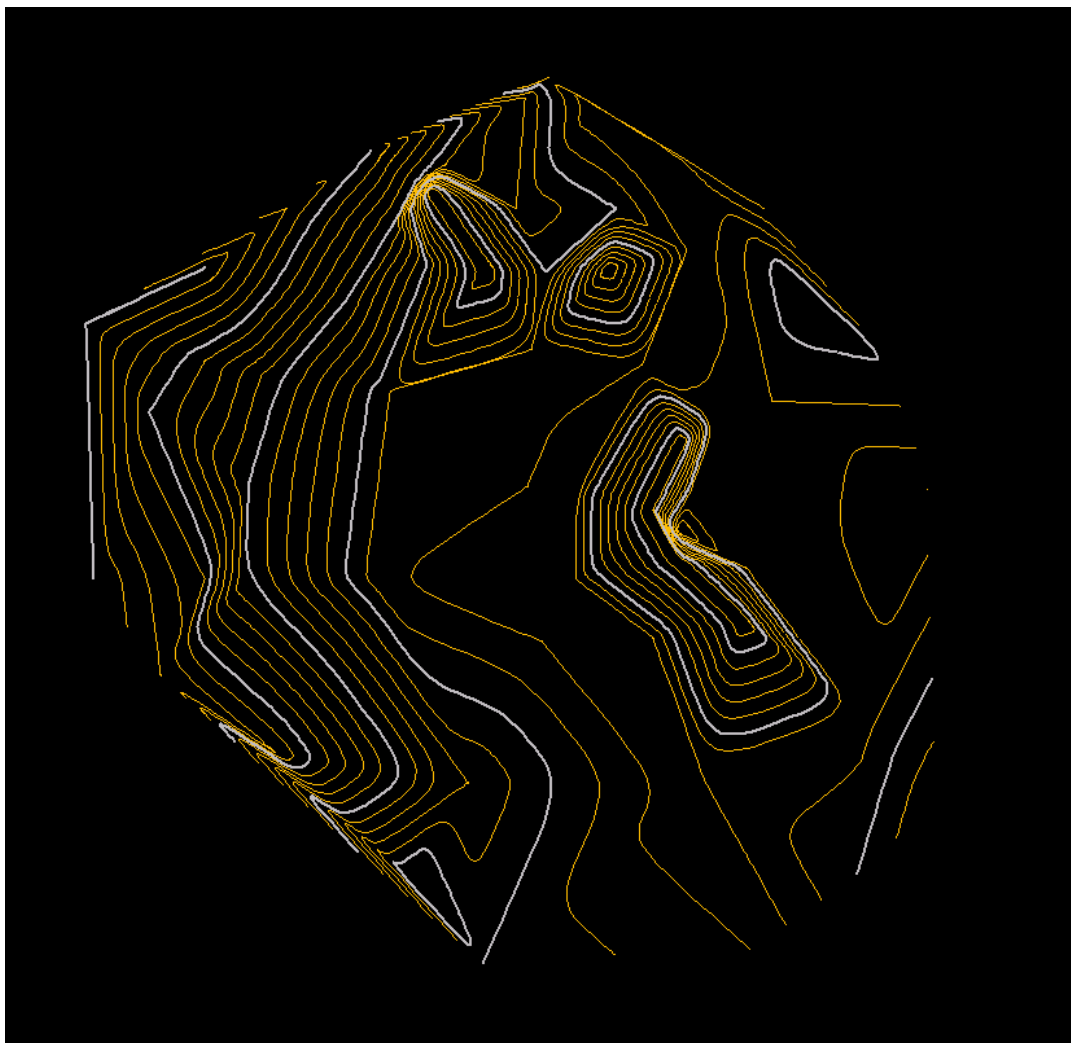


Figura 32. Modelo bidimensional de curvas de nivel en el programa Topocal.

En el modelo resultante (Figura 33), la posición de los hoyos que se encontraban en la superficie de la roca base se encuentran desfasados de la posición que deberían ocupar. Esto se debe a que la cantidad de mediciones realizadas sobre la roca base no eran suficientes para generar un modelo de alta precisión. Para subsanar este desfasaje se aplicó como textura la planta de excavación escaneada, esto permitió corregir manualmente la posición de los hoyos (Figura 34). Con este proceso se concluyó el modelado de la roca base de la E4. Las rocas y los muros de la estructura fueron modelados de manera independiente, como se detalla a continuación.

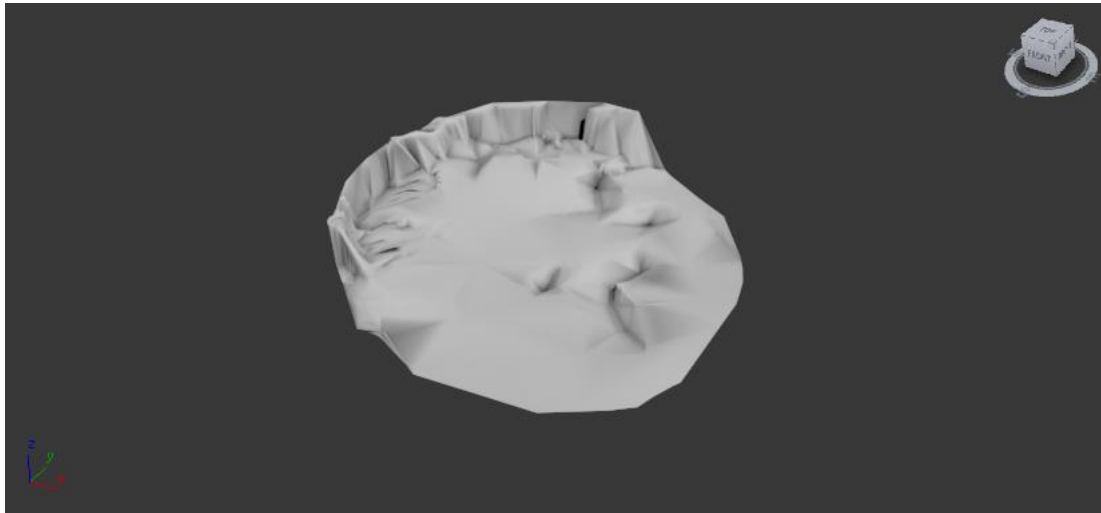


Figura 33. MTD de la roca base a partir de las curvas de nivel generadas en Topocal, mediante el uso del 3D Max.

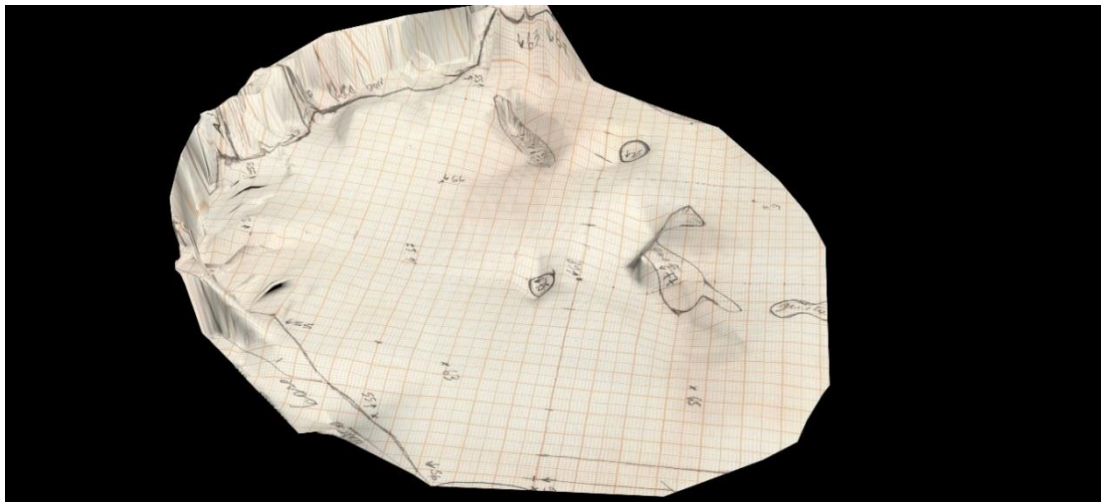


Figura 34. MTD de la roca base con la planta de excavación aplicada como textura. Este procedimiento permitió corregir el desfasaje de los hoyos.

En la excavación se establecieron niveles artificiales de 10 cm. Cada una de las rocas en planta fue mapeada y se generó un registro de la posición y de la forma de las rocas por cada nivel. Muchas de ellas fueron registradas en más de un nivel, por lo que en dichos casos se conoce la silueta de la roca y las variaciones de su forma en distintas profundidades. El proceso de modelado tuvo dos etapas. La primera implicó la sectorización de la silueta (vectores) de cada roca por cada una de las plantas de excavación. Esto se realizó mediante Photoshop (Figura 35) utilizando colores diferentes para distinguir la profundidad a la que fue mapeada cada roca.

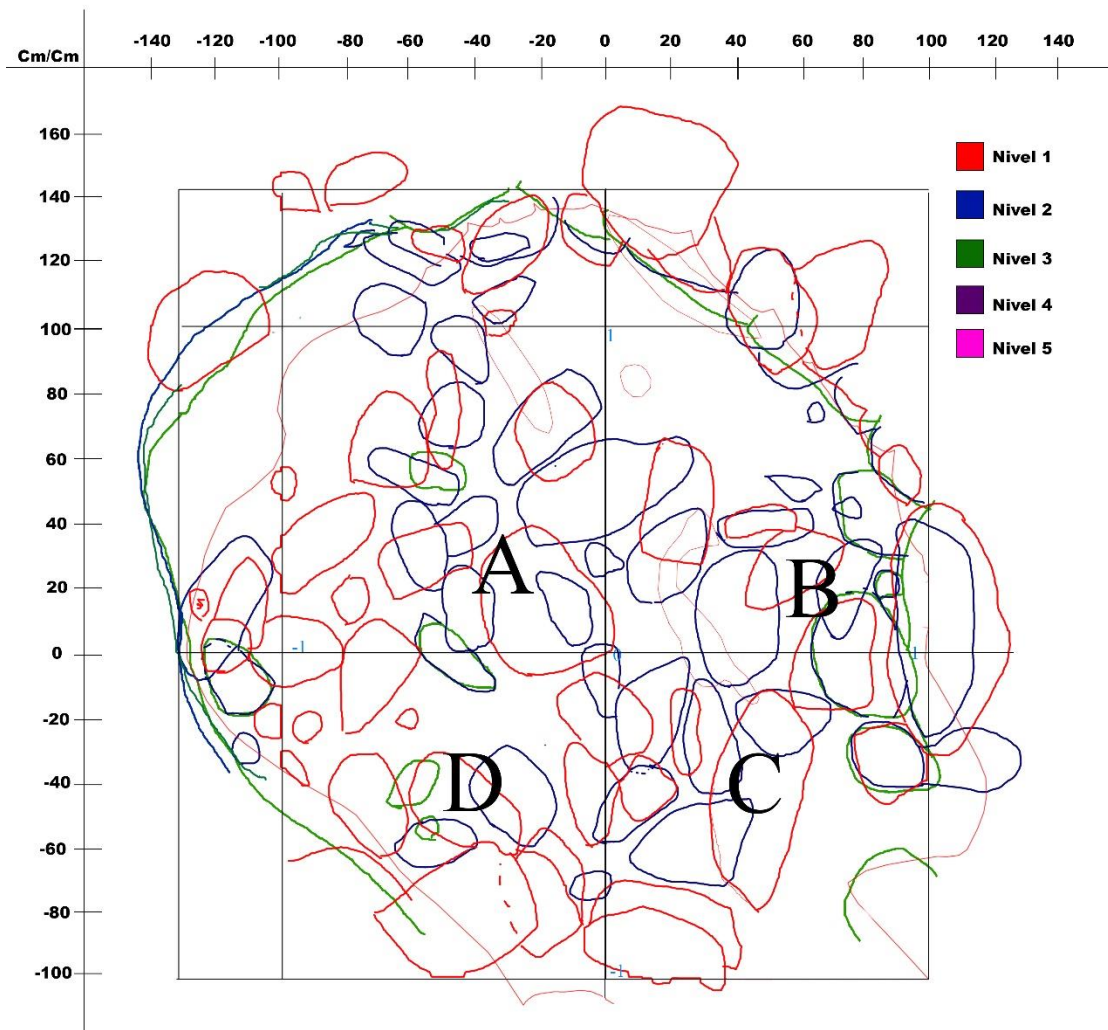


Figura 35. Mapa de vectores de las rocas de E 4. Cada color corresponde a un nivel.

Esta información fue exportada al programa 3d Studio Max en el cual se modeló de manera independiente cada una de las rocas utilizando como forma base una esfera (Figura 36), en los casos donde existían dudas sobre la forma específica de la roca se utilizaron fotografías de referencia tomadas a lo largo de la excavación. Se dibujaron un total de 99 rocas y cada una de ellas fue ubicada en función de la profundidad a la que fue retirada.

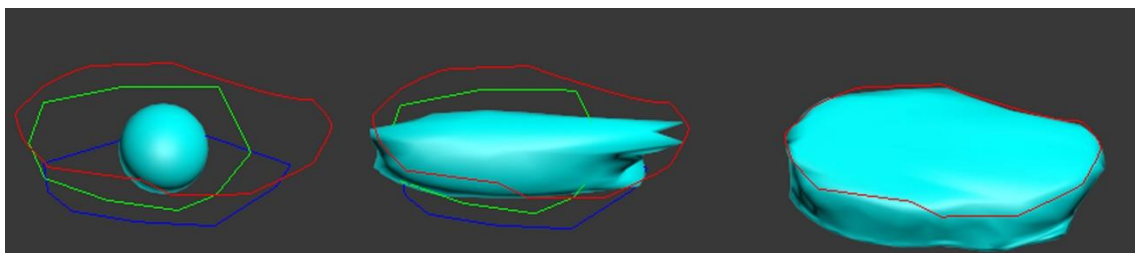


Figura 36. Proceso de modelado de rocas a partir de una esfera. El proceso se reiteró con cada una de las rocas.

Una vez dibujadas todas las rocas de la E4, se procedió a unificar el modelo utilizando nuevamente las plantas de excavación como referencia. A las rocas del derrumbe se le asignaron colores diferentes, al igual que se hizo con los vectores, dependiendo de la profundidad a la que fueron removidas. A las rocas que formaban parte de los muros y que no se encontraban desplazadas se le aplicó una textura similar a la roca para aislar y distinguir las rocas del derrumbe de las rocas de los muros (Figura 37). La Figura 38 muestra la estructura ya limpia de las rocas del derrumbe, previo al proceso de reconstrucción del muro. La pared que se ve hacia la derecha de la imagen es la que separa la E3 de la E4.

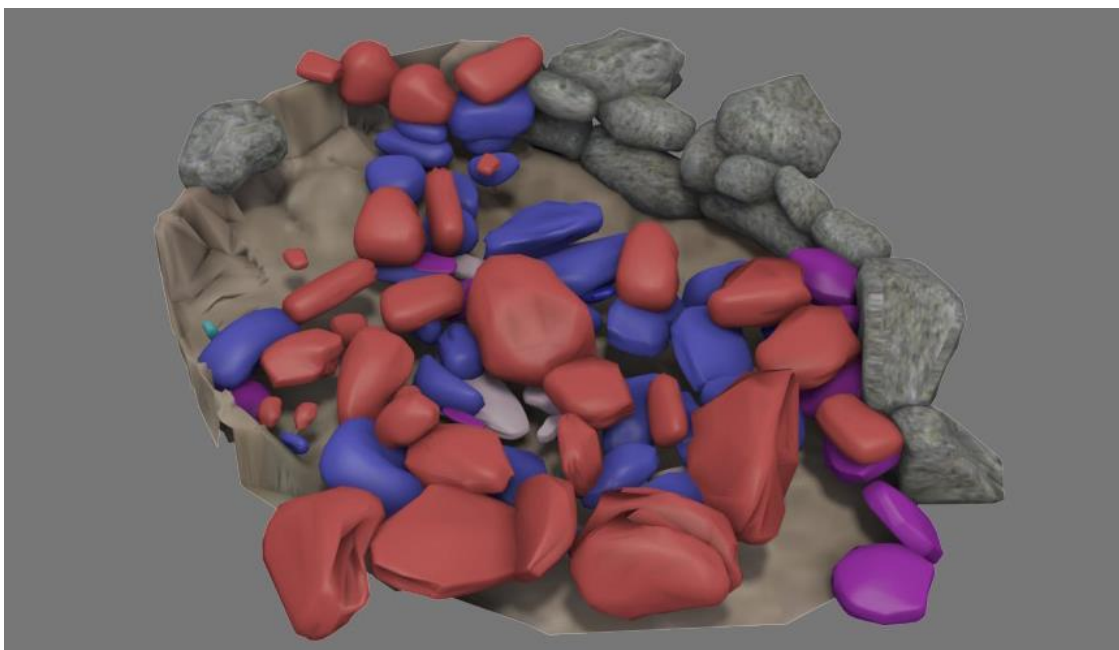


Figura 37. Derrumbe y muro de E4. Los colores de la roca indican la profundidad a la que fueron extraídas durante la excavación.

Una vez construido el MTD se procedió a evaluar las implicancias contrastadoras de la Hipótesis A y B. El primer elemento que se consideró fue la altura de la pared que separa E3 y E4 y su relación con el muro oeste de la misma estructura. La reconstrucción se realizó según lo mencionado con anterioridad, incorporando todas las rocas del derrumbe exclusivamente a dicha pared. La única excepción fue una serie de seis rocas (de un total de 99) que se encontraban apenas desplazadas 10 cm de la pared oeste, lo que hacía suponer que provenían de dicha región. Existe una gran posibilidad de que un tercio de las rocas asignadas a la pared que separa E3 de E4 provengan del muro oeste dado que se encontraban a más de 1,5 m de distancia. Estas rocas, como se indicó, fueron igualmente asignadas la pared este.

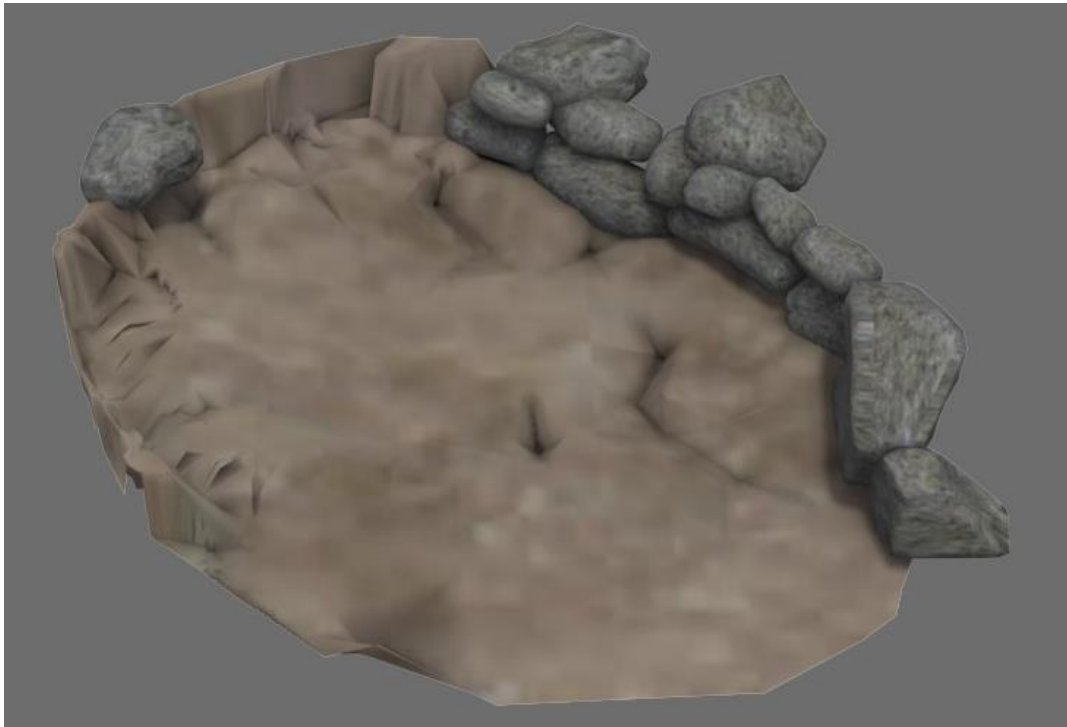


Figura 38. MTD de E4 donde fueron removidas las rocas del derrumbe.

La Figura 39 muestra el MTD resultado de la reconstrucción. En la imagen se agregó una figura humana de 1,65 m de estatura como referencia. La altura estimada para el muro es de 70 cm, quedando 50 cm por debajo del promedio de altura de la pared opuesta.

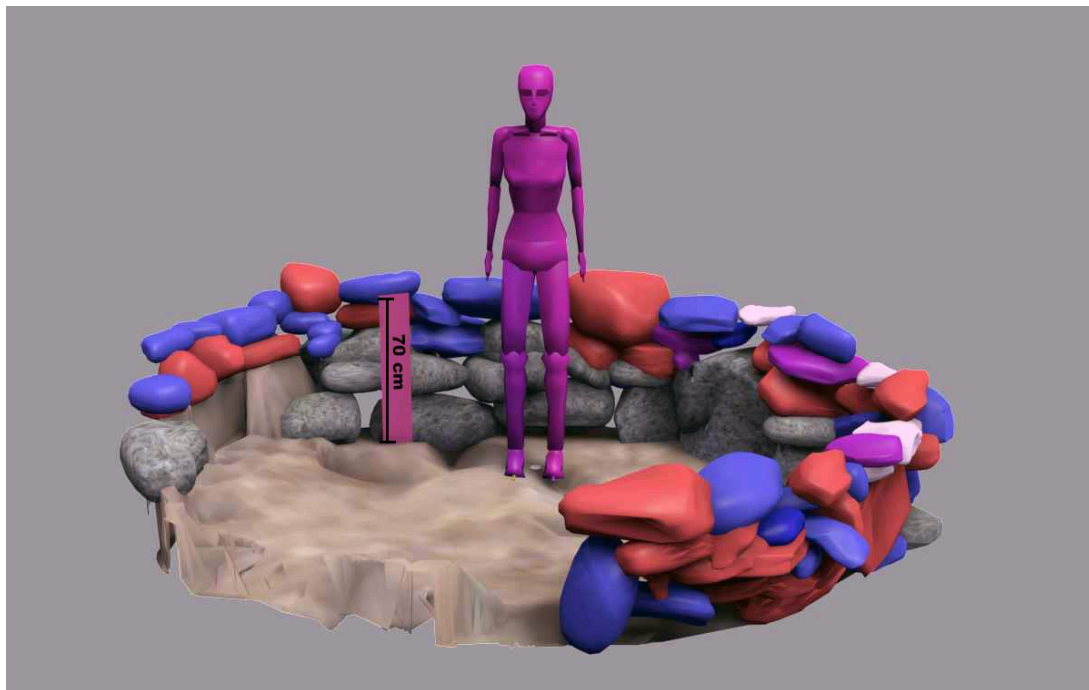


Figura 39. Reconstrucción del muro que divide la E3 de la E4.

La otra implicancia contrastadora de la Hipótesis A, es que existe homogeneidad en las técnicas constructivas de ambos muros. La Figura 40 muestra que existen importantes diferencias en la construcción de los dos muros. El muro oeste se encuentra construido sobre un escalón de roca base, mientras que el muro este (que separa E3 de E4) no posee escalón. Existe una continuidad en la roca base de la E3 y la E4, lo que lleva a suponer que dicha pared fue construida en una segunda etapa constructiva sobre una preparación previa de la superficie en común.

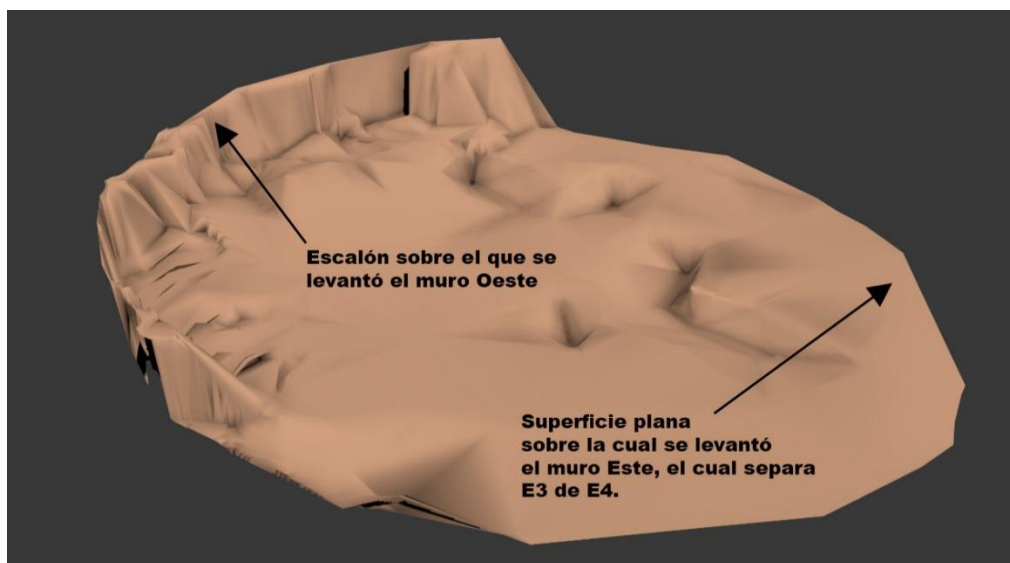


Figura 40. MTD y Fotografías de la E4 que muestran las distintas superficies sobre las que se construyeron los muros.

La última de las implicancias contrastadoras es la existencia de evidencia de que la E4 estuviese techada de manera independiente de la E3. Si bien existen algunos hoyos sobre la superficie, estos no poseen las formas habituales de los hoyos de poste conocidos, por lo que no se puede aseverar que hayan cumplido con esta función. Cabe la posibilidad de que la estructura estuviese techada de manera alternativa mediante otro método no registrado.

Si bien la evidencia actual sostiene a la Hipótesis B, futuras excavaciones en el área testigo pueden corroborar o desestimar esta hipótesis.

Una vasija en Estructura A

La cerámica es el material más frecuente en los sitios formativos prospectados en el NOA. La densidad de material hallado en las excavaciones de Cardonal es muy alta, con un promedio de 35 fragmentos por m², ocupando el Núcleo 1 una superficie total de 118 m² (Bugliani com. pers.2014). Muchos de estos fragmentos han sido remontados en

laboratorio permitiendo la reconstrucción parcial de varios recipientes (n=44). Este caso de estudio tiene como eje indagar sobre la posibilidad de extraer información sobre el volumen de los recipientes arqueológicos hallados en el sitio mediante la construcción de MTD.

Debido a que se busca generar mediciones de la totalidad de los recipientes remontados (n=44), es necesario en una primera instancia evaluar el método de modelado más eficiente para la obtención de las mediciones. En esta tesis se evalúan el uso de escáner láser, la fotogrametría y la extracción de volúmenes a partir de la revolución del perfil de la pieza (Ver Capítulo 4, apartado sobre análisis de cerámica) a fin de determinar cuál de estos métodos es la más eficiente para realizar la tarea.

El método más prometedor es el del escáner láser, dada la alta precisión con la que establece mediciones sobre los objetos registrados. Otro de los métodos evaluados, la fotogrametría, permite la construcción de MTD a partir de la toma de fotografías sucesivas. De ser efectivo podría ser utilizado para generar mediciones sobre las piezas de manera veloz y con costos muy bajos, requiriendo un bajo grado de experticia (Vitores y Avido 2013). Se evalúa además el método de la extracción del volumen a partir de la revolución de un perfil conocido de la pieza. Este método posee una serie de limitaciones conocidas. En primer lugar, sólo es factible para piezas cuya forma surge de la revolución de perfil sobre su eje de simetría (Kampel y Sablating 2001, 2003; Karasik y Smilansky 2006). Una importante cantidad de vasijas recuperadas en las excavaciones de Cardonal no cumplen con esta condición, sin embargo podría ser utilizado para aquellas piezas que cumplen con el requisito.

En segundo lugar, el método tiende a sobrestimar o subestimar las mediciones realizadas en tanto que parte del supuesto de que las piezas poseen una simetría de revolución perfecta, sin considerar la homogeneidad de las paredes del recipiente. Mientras menos homogéneas sean sus paredes menos preciso será el cálculo volumétrico. Esto se debe a que la técnica toma una ínfima parte del recipiente, su perfil, y lo rota 360 ° para generar una superficie volumétrica. En términos matemáticos, se toma 1/360 de la pieza (el 0,0027 %) para construir un modelo del cual se calcula el volumen. Diferentes autores han demostrado que rara vez se cumple con este supuesto de homogeneidad (Karasik *et al.* 2004; Mara *et al.* 2004; Karasik 2008; Melero *et al.* 2009). No obstante,

no se han realizado estudios de uniformidad sobre las vasijas del NOA, por lo que se evalúa la posibilidad de que sus paredes sean homogéneas.

A fines de considerar las diferentes técnicas, se finaliza el apartado con una serie de estudios comparativos entre las tres técnicas para determinar el método de registro más preciso. El examen se aplicó a una vasija que fue registrada por los distintos métodos mencionados. La pieza escogida cumple con la condición necesaria de ser una superficie de revolución axial (Figura 41). La misma proviene de la excavación de la EA de Cardonal, un pequeño recinto en el extremo oeste del sitio (Figura 42).



Figura 41. Vasija empleada en el Caso de Estudio 2. Cumple con el requisito de que su forma surja de la revolución axial de su perfil y fue sometida a diferentes técnicas de registro tridimensional.



Figura 42. Fotografía del final de excavación de la EA (izquierda) y fotografía de la vasija en el contexto de su hallazgo (derecha).

El escaneado de la vasija se realizó en el laboratorio de Prototipado del Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA). El escáner láser utilizado fue un equipo marca Faro Edge. El mismo cuenta con un brazo móvil que permite registrar piezas en un diámetro de 2,7 m, un dispositivo que emite un pulso de luz láser el cual se refleja sobre la superficie del objeto a registrar, una cámara que lee la posición del pulso de luz y el trípode sobre el cual se monta el brazo palpador. A esta variedad de escáner se la conoce como escáner de triangulación (Tejado Sebastián 2005). La precisión del escáner es de $\pm 35\mu$ y la tasa promedio de puntos escaneados es de 45.120 puntos por segundo (Faro Edge s.f.). El equipo fue gentilmente cedido por el ITBA para realizar esta experimentación. El software utilizado para el registro de la pieza, así como para su procesamiento fue el Geomagic Qualify 2012, cuya licencia es propiedad del ITBA. Se utilizó un ordenador con gran capacidad de procesamiento de datos perteneciente a la misma institución. Se contó además a lo largo de toda la experiencia con la asistencia del Profesor Jorge Leporati, quien me instruyó sobre el manejo y el funcionamiento del dispositivo.

Previo al inicio de la labor fue necesario calibrar el escáner a fin de asegurar que no existiesen errores de medición. Los escáner láser de este tipo deben calibrarse cada vez que se monta el brazo palpador sobre el trípode. El procedimiento sirve para indicarle al brazo palpador cuál es su posición y ubicar las mediciones que realiza correctamente en el espacio. De no calibrarse, podrían esperarse errores en el posicionamiento tridimensional de los puntos registrados. Los datos de la calibración se exponen en la Figura 43.

Nombre	X	Y	Z	2 sigma	Error m...	Fecha	Número de serie	Método	Punt.
Palpador de esfera de 3 mm	-0,0766...	-0,0275...	149,32...	0,0211...	0,1007...	jun 12, 2013 14:56	E09-05-12-10630	Orificio	306
Palpador de esfera de 3 mm	-0,0743...	-0,0172...	149,31...	0,0217...	0,0535...	abr 26, 2013 17:13	E09-05-12-10630	Orificio	376
Palpador de esfera de 3 mm	-0,0791...	-0,0172...	149,30...	0,0261...	0,0553...	mar 22, 2013 11:21	E09-05-12-10630	Orificio	320
Palpador de esfera de 3 mm	-0,0781...	-0,0277...	149,31...	0,0189...	0,0386...	mar 21, 2013 10:09	E09-05-12-10630	Orificio	421
Palpador de esfera de 3 mm	-0,0821...	-0,0180...	149,30...	0,0242...	0,0489...	mar 21, 2013 10:07	E09-05-12-10630	Orificio	370
Palpador de esfera de 3 mm	-0,0772...	-0,0100...	149,33...	0,0212...	0,0408...	feb 28, 2013 09:53	E09-05-12-10630	Orificio	297
Palpador de esfera de 3 mm	-0,0719...	-0,0149...	149,34...	0,0189...	0,0434...	feb 28, 2013 09:52	E09-05-12-10630	Orificio	316
Palpador de esfera de 3 mm	-0,0781...	-0,0110...	149,33...	0,0216...	0,0529...	feb 28, 2013 09:50	E09-05-12-10630	Orificio	357
Palpador de esfera de 3 mm	-0,0912...	-0,0152...	149,36...	0,0378...	0,0569...	feb 28, 2013 09:47	E09-05-12-10630	Orificio	313
Palpador de esfera de 3 mm	-0,1037...	-0,0343...	149,35...	0,0332...	0,0453...	feb 28, 2013 09:44	E09-05-12-10630	Orificio	600

Figura 43. Registro de compensación resultante de la calibración del escáner láser.

El proceso se realizó en tres etapas. Esto se debió a dos motivos: la superficie sobre la cual se apoyó la pieza se encontraba distante del brazo palpador por lo que fue imposible acceder a la cara más lejana del recipiente, la cual quedaba fuera del rango de acción del brazo. Se debió rotar la pieza y escanear dicha cara por separado. Por otro lado, debido a que la vasija se encontraba apoyada sobre una superficie plana, la parte inferior del recipiente queda obstruida por la superficie de apoyo. Para escanear la base de la vasija fue necesario darla vuelta nuevamente apoyándola sobre su boca. En total se tuvo que cambiar de posición la pieza dos veces para acceder a la totalidad de su superficie. A cada cara registrada se le asignó un nombre para distinguirlo: Cara Superior Frontal, Cara Superior Trasera y Cara Inferior. La Tabla 1 muestra los resultados de cada una de estas fases de escaneado. Durante el proceso se registraron un total de 51.000.000 de puntos.

Cada fase de escaneado se guardó en un archivo separado. Esto se debe a que el escáner mide puntos fijos en el espacio. Si se rota el recipiente y se mide una cara diferente sin generar un nuevo archivo de registro, el escáner no reconoce que la pieza cambió de posición y los puntos de ambas caras se superponen unos con otros, siendo imposible distinguirlos posteriormente. Para el registro global de la pieza se identificaron once puntos en común, en una primera instancia (Figura 44) y luego se identificaron nueve puntos más, para unificar la cara restante.

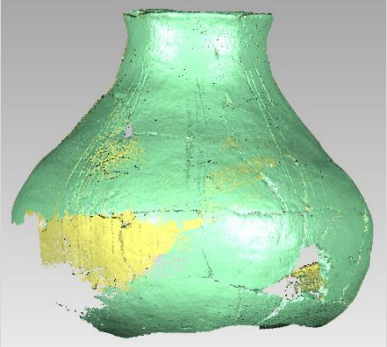
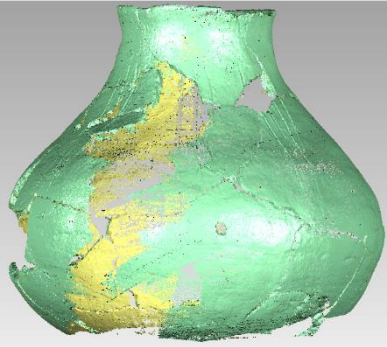
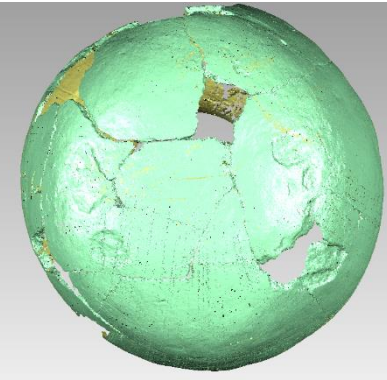
Pieza	Cara registrada	Cantidad de puntos medidos	Imagen
Vasija Cerámica	Superior frontal	14.734.406	
Vasija Cerámica	Superior trasero	12.713.430	
Vasija Cerámica	Inferior	23.605.484	
Total		51.053.320	

Tabla 1. Nubes de puntos individuales resultantes del escaneado de la vasija cerámica.

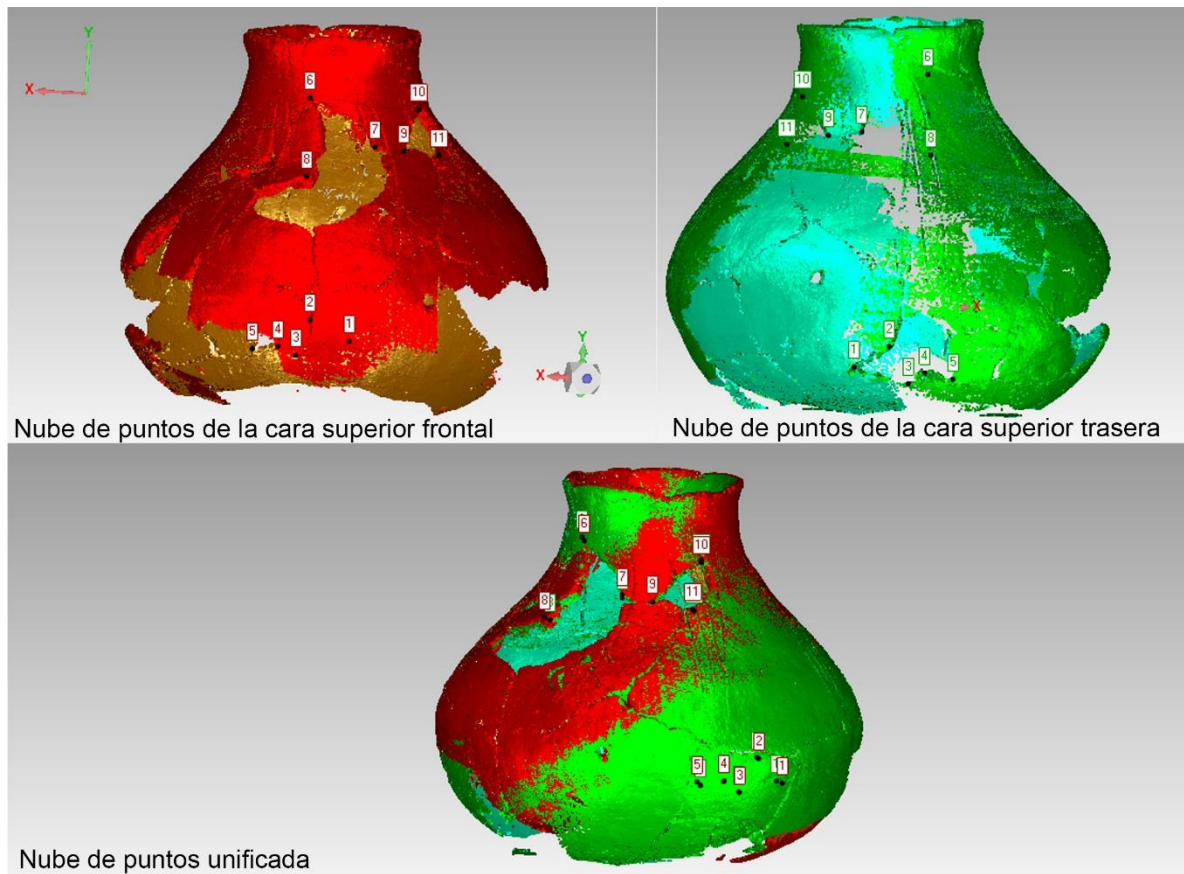


Figura 44. Registro global de las diferentes nubes de puntos generadas a través del proceso de escaneo de la vasija proveniente de la EA.

El paso final en la construcción del MTD de la vasija consistió en convertir la nube de puntos en una superficie sólida poligonal. Durante este proceso se generaron una serie de patologías, siendo las más frecuentes en este caso los agujeros pequeños y los picos (Figura 45). La malla fue reparada automáticamente por el mismo programa (Geomagic Qualify 2012). La imagen de la Figura 46 muestra el MTD con la malla reparada.

Finalizada la construcción del modelo quedó en evidencia el principal problema de la técnica. Dado que la boca de la vasija era estrecha no fue posible introducir el escáner dentro de la pieza para registrar la superficie interna. Sólo logró registrarse una fracción de esta superficie, limitándose exclusivamente a las zonas aledañas a la boca del recipiente (Figura 47). Esto se debió a que los escáneres que funcionan por triangulación poseen un rango de registro muy corto. Es necesario pasar el escáner muy cerca de la superficie para que ésta sea registrada. Si la superficie interna registrada fuera mayor, sería posible reconstruir matemáticamente la geometría faltante. Dado que para calcular

el volumen es necesario que el MTD posea tanto la superficie interna como externa, fue imposible generar las estimaciones requeridas.

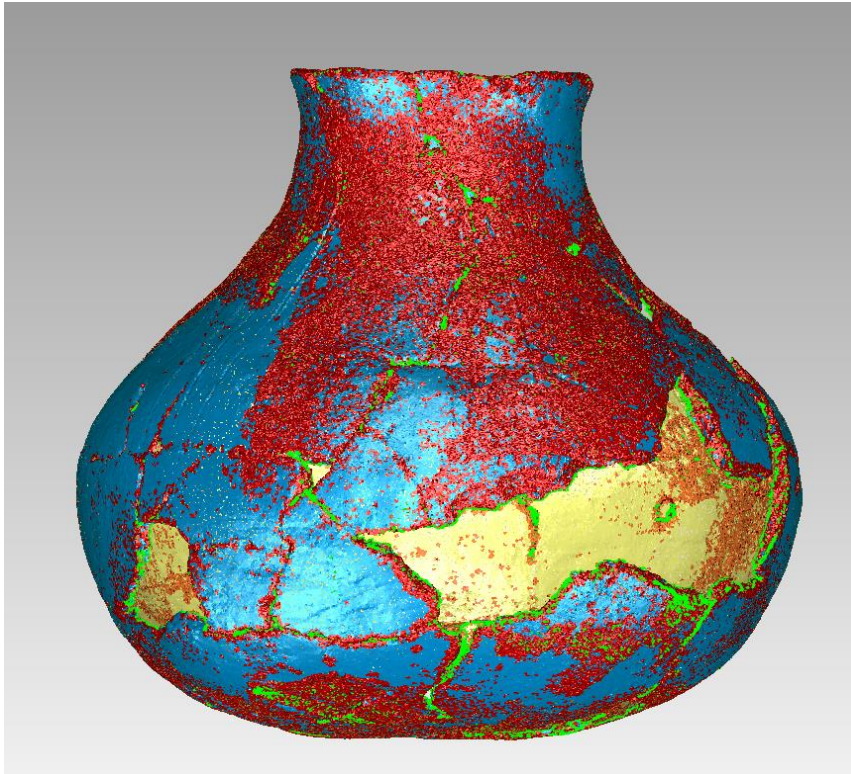


Figura 45. Patologías que surgen de la transformación de la nube de puntos en una malla poligonal mediante la triangulación. En rojo se observan los picos, mientras que las líneas verde fluorescente indican la presencia de agujeros.

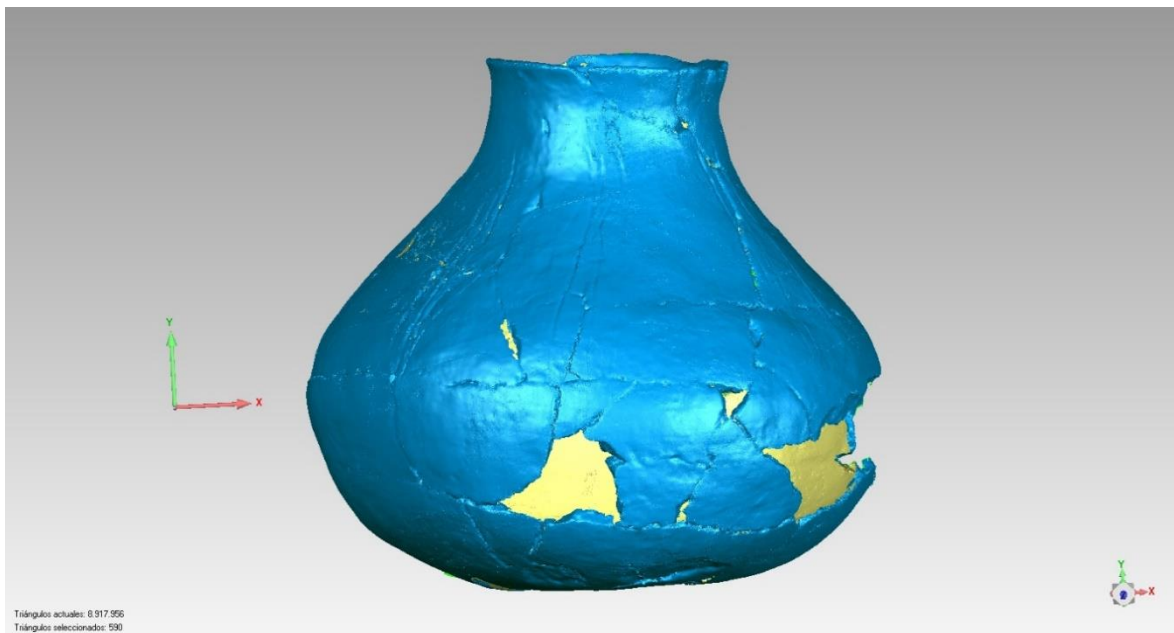


Figura 46. MDT de la vasija proveniente de la EA finalizado.

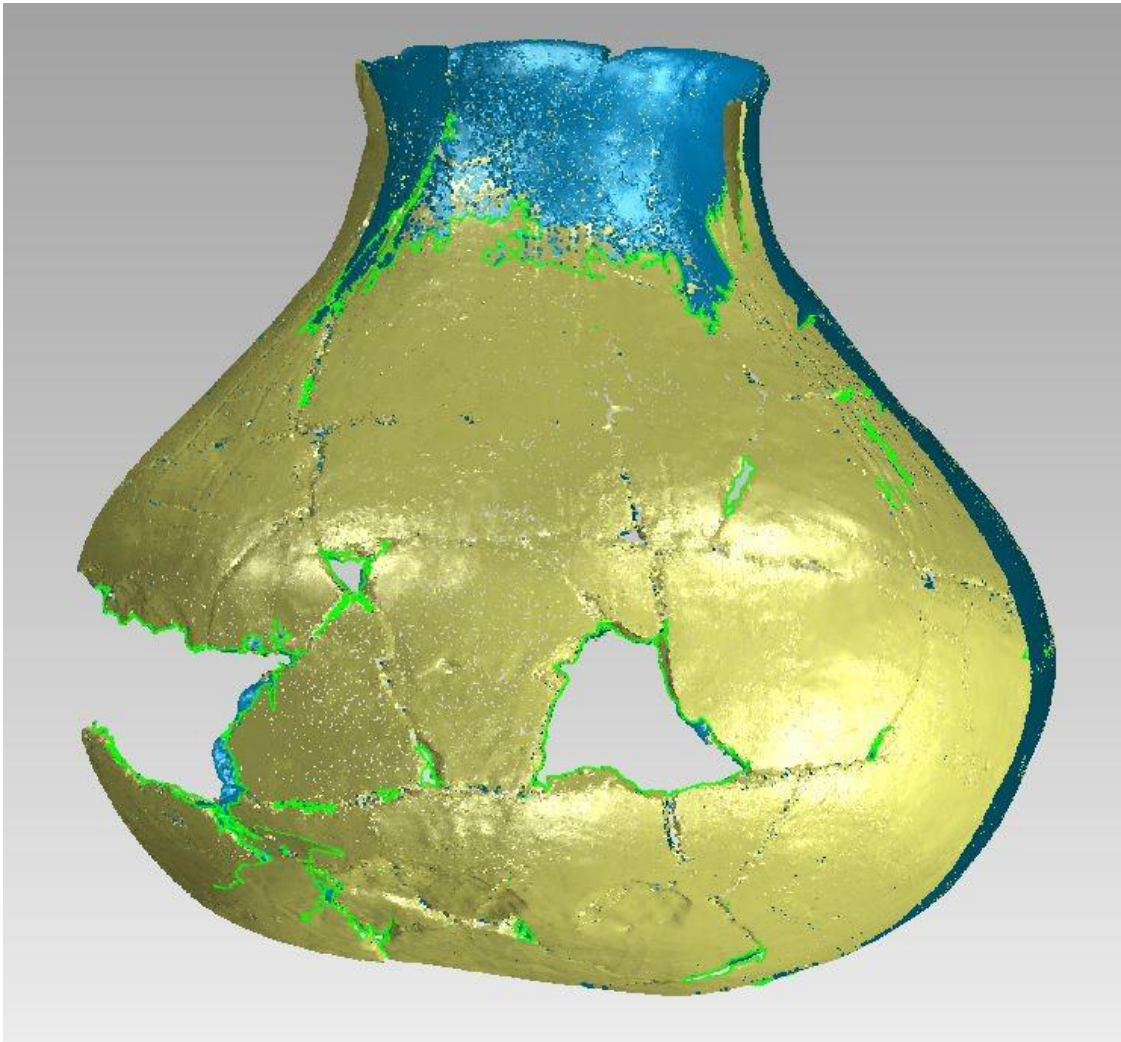


Figura 47. Vista de la superficie interna del MTD de la vasija. En azul se observan las partes que pudieron ser registradas. En amarillo las partes que quedaron sin registrar

Para la fotogrametría se utilizaron un total de 68 fotografías y se utilizó el servicio web gratuito Autodesk 123d catch. El procedimiento fue muy sencillo, tras subir las fotografías a internet el programa automáticamente reconoció la secuencia fotográfica y la orientación de cada fotografía tomada (Figura 48) y los puntos comunes entre cada fotograma. El resultado fue un MTD con textura de la vasija fotografiada. Este proceso debió realizarse para la parte superior e inferior por separado ya que al igual que con el escáner, la superficie de apoyo no puede ser registrada a no ser que se invierta la vasija. La Figura 49 muestra los modelos resultantes.

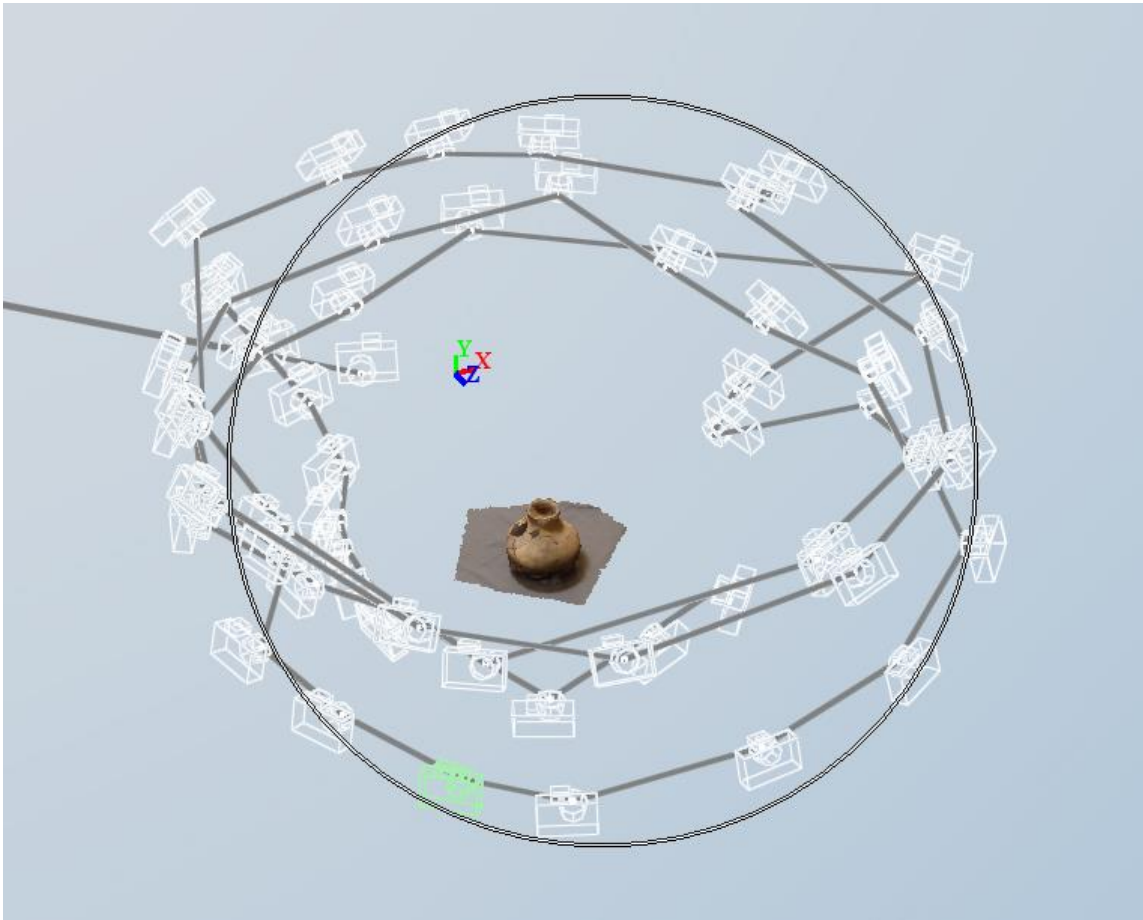


Figura 48. Reconstrucción de la orientación de la cámara fotográfica para las 86 fotografías utilizadas en la construcción del MTD de la vasija de la EA. El software utilizado fue el Autodesk 123d Catch.

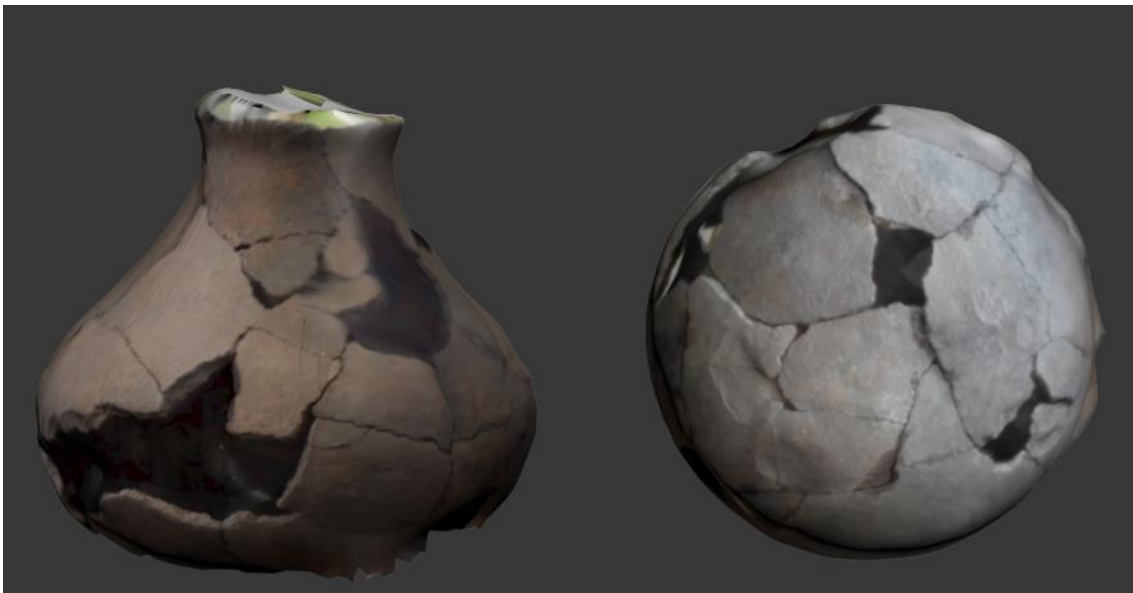


Figura 49. MTD resultante del proceso fotogramétrico de la vasija de la EA mediante 123d Catch.

Los dos MTD resultantes debieron ser registrados globalmente, al igual que con el escáner láser, a fin de generar un modelo único del recipiente. El procedimiento se

realizó mediante el programa Geomagic al igual que en los casos anteriores. La Figura 50 muestra el MTD resultante sin la textura fotográfica para poder apreciar mejor la geometría generada.



Figura 50. MTD realizado mediante fotogrametría de la vasija de la EA. La misma se presenta sin textura para apreciar mejor su geometría.

El MTD fotogramétrico mostró inconvenientes semejantes a los producidos por el escáner láser, junto a otros que son propios de la fotogrametría. El primer problema hallado fue la incapacidad de la fotogrametría de reconocer las áreas oscuras sombreadas de la fotografía como huecos, mostrándose en su lugar, superficies sólidas. Si observamos con detalle la Figura 50, donde se debería observar el agujero de la pieza faltante se encuentra una superficie cóncava sólida. Otro de los problemas es que dada la incapacidad para registrar las aberturas del objeto, como resultado se obtiene un cuerpo macizo desprovisto totalmente de superficie interna. Como se mencionó anteriormente, es necesario que se registren ambas superficies del recipiente para poder obtener las mediciones necesarias. Al igual que con el escáner láser, el MTD fotogramétrico no permitió la extracción del volumen.

El proceso de extracción del volumen de una pieza a partir de la revolución del perfil, consiste en hacer rotar 360 grados el perfil de la pieza sobre un eje de simetría, de manera que el contorno, a su paso, de forma a una superficie de revolución a la que se le pueden realizar mediciones. Este proceso se realizó íntegramente de manera digital. Se extrajo el perfil de la pieza de la EA y se lo dibujó en escala en el programa CAD 3d Max (Figura 51). Una vez obtenido fue posible construir el MTD de la vasija tras la aplicación del comando “torno” (Figura 52).

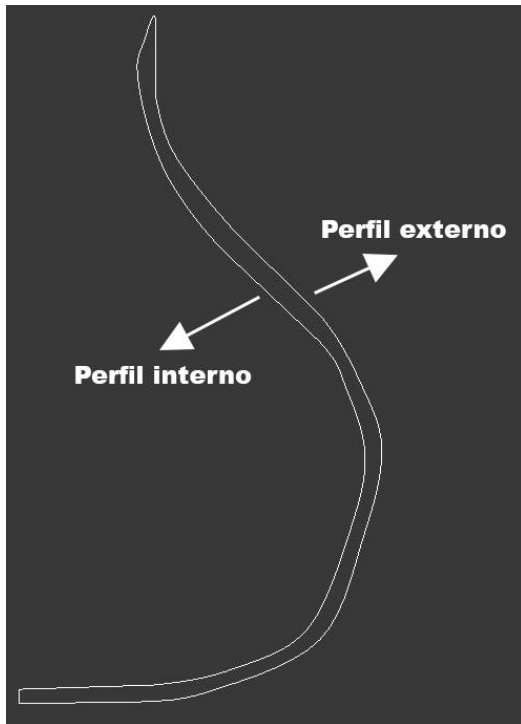


Figura 51. Perfil extraído de la vasija de la EA utilizado para la construcción de un MTD

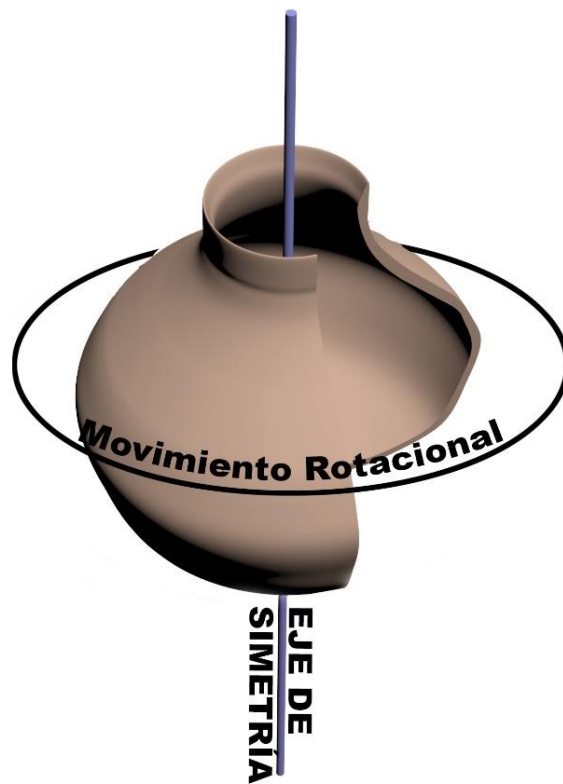


Figura 52. Figura que muestra el proceso de modelado del recipiente mediante la extracción del perfil.

Este modelo fue construido con el perfil externo y el interno de la vasija. Para obtener el valor de la capacidad de su contenido se debe reiterar el proceso exclusivamente con la sección interna del perfil, la que representa la superficie interna

del recipiente. Este valor, desde su base hasta el extremo de su boca, es de 2,4 litros. En cualquier caso, teniendo el perfil externo también es posible consultar el volumen ocupado por las paredes de la pieza, que fue de 0,351 litros. Este valor hace referencia al espesor del recipiente y no al volumen contenido por dichas paredes, es decir, el espacio vacío albergado por el recipiente. Conocer este volumen de las paredes permite, si fuera necesario, realizar cálculos de peso de las vasijas. La figura 53 muestra los dos volúmenes generados.

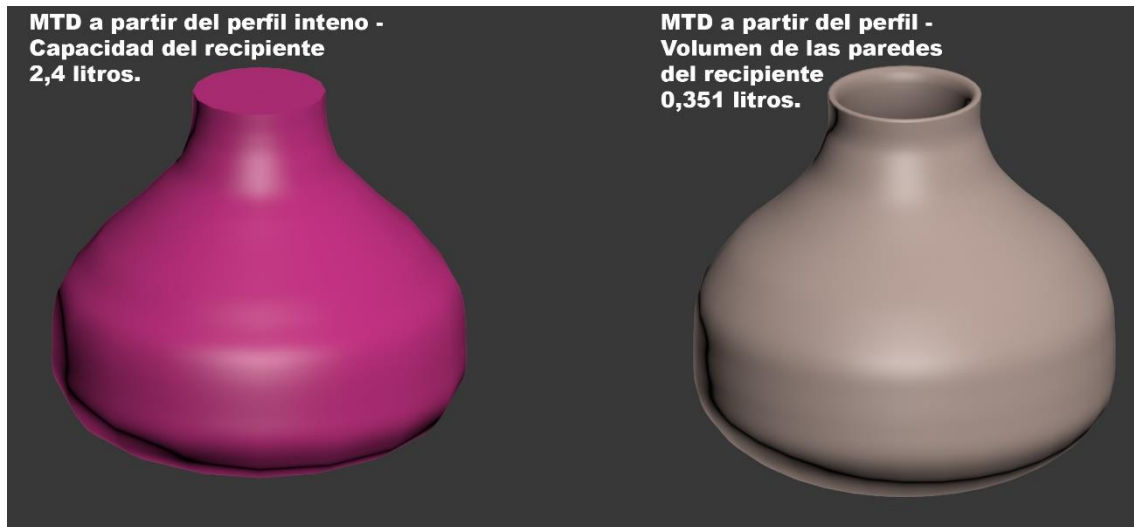


Figura 53. MTD de los dos volúmenes generados por el método de revolución del perfil.

Para generar un estimativo de cuán representativas son estas mediciones en relación al recipiente real se ha realizado un análisis estadístico que compara la posición de una muestra de los puntos de la vasija escaneada con la forma hipotética ideal que surge de la revolución del perfil. Dado que el MTD escaneado carecía de la superficie interna, para esta experiencia sólo se consideró la cara externa de la pieza y la cara interna de la zona aledaña al borde que como se indicó, logró ser registrada por el escáner láser. El perfil de la pieza para construir el MTD teórico se extrajo del modelo tridimensional escaneado (Figura 54)

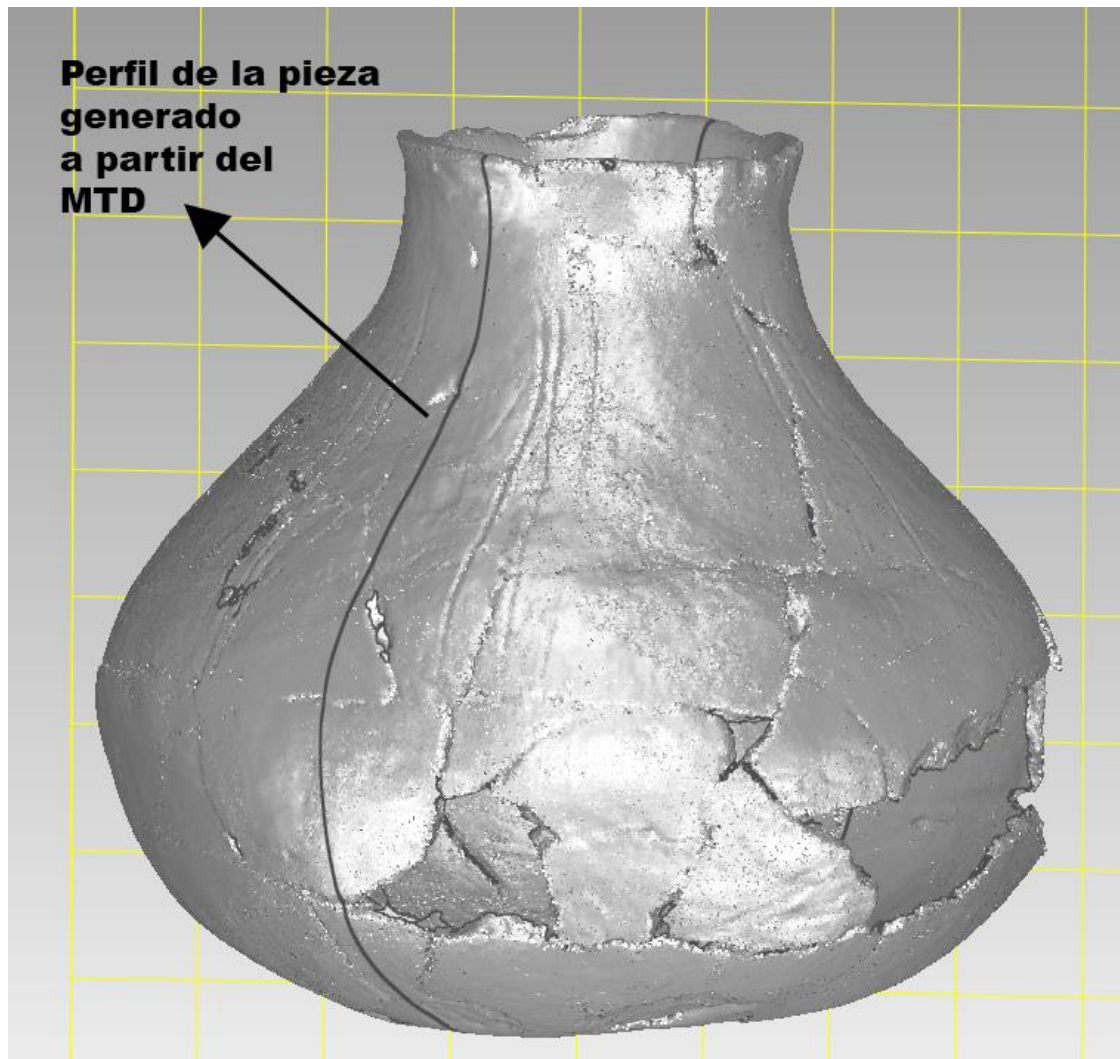


Figura 54. Extracción del perfil de la vasija de la EA para evaluar la representatividad el recipiente.

Por el mismo proceso indicado anteriormente se procedió a generar el MTD desde el perfil, generando una superficie similar a la escaneada factible de contrastación (Figura 55). Previo a la comparación, se le retiró al MTD de la pieza que fue construida por el método del perfil los puntos correspondientes a los fragmentos faltantes en la vasija original, a fin de no sesgar la estimación.

El estudio estadístico compara la posición de una muestra de puntos de un objeto de referencia con una muestra de puntos de otro objeto que se supone similar. En este caso $n=318.000$ puntos. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: la **desviación máxima** de los puntos fue de $\pm 9,33$ mm. Esto significa que algunos puntos se encontraban corridos hasta 9 mm de la posición que deberían ocupar si la forma fuese perfecta. La **media** de desviación de los puntos fue de 3,90 mm. El **desvío estándar** fue de 4,4504 mm. La Figura 56 expone estos resultados gráficamente, hacia la derecha del

gráfico se muestra el espectro de color que indica la variación de cada punto de la vasija de la EA en relación a su forma ideal.



Figura 55. MTD de la forma ideal de la vasija de la EA basada en la extracción del perfil del MTD escaneado. Representa como debería ser la vasija si sus paredes fuesen completamente homogéneas.

Un desvío estándar de 4,45 mm sería un indicador de un alto grado de homogeneidad en la forma, siempre y cuando se distribuyera de manera uniforme por todo el recipiente. No obstante, cuando se analiza la distribución de estos desvíos se observa que existe una gran disparidad entre el cuello y la base de la vasija, cuyos valores de desviación oscilan entre ± 1 mm y el cuerpo de la misma en donde oscilan ± 9 mm. Estos resultados son opuestos a los hallados por Kampel y Sablatnig (2001) en donde la zona con mayor variación fue la de la base y el borde, lo que posiblemente se deba a que las vasijas estudiadas en su caso eran resultado de la confección por torno. En el Noroeste Argentino prehispánico las vasijas no se manufacturaban con torno. La menor variación de la forma en la base y en el cuello de la vasija de la EA puede deberse a que son las zonas de menor diámetro y por lo tanto, es mucho más fácil mantener un control visual sobre la forma en dichas secciones.

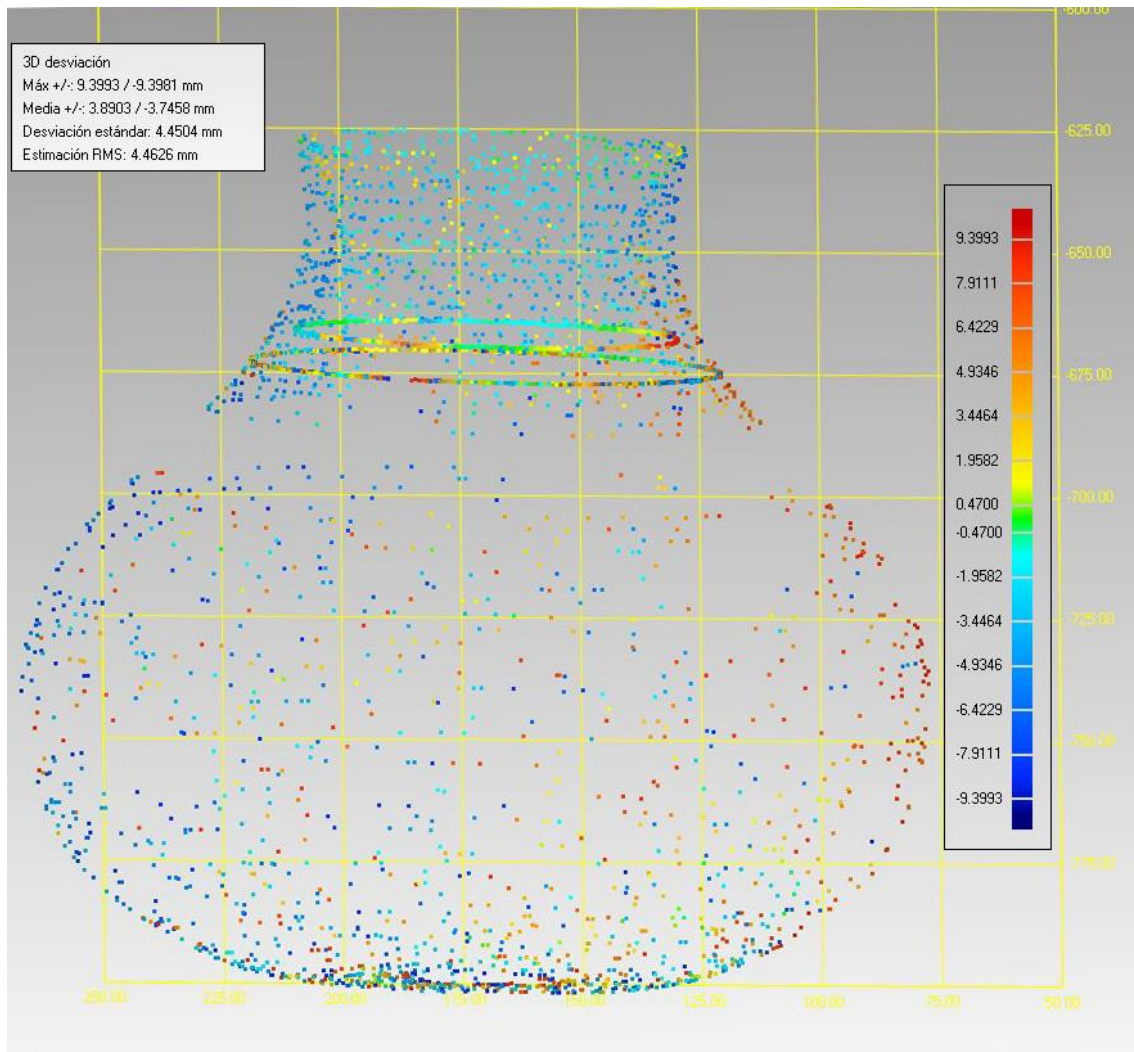


Figura 56. Representación gráfica del análisis estadístico que compara la posición espacial de los puntos de la vasija escaneada de la EA con su forma ideal.

Los resultados de estos análisis muestran que no hay homogeneidad en las paredes de los recipientes de la vasija recuperada de la EA. La Figura 57 contrasta un corte de la vasija en la que se aprecian el perfil utilizado para la reconstrucción del volumen, y el perfil opuesto, derivado también del escaneo láser. Como se observa, parte del contenido (entramado verde) invade la las paredes del recipiente, lo cual no debería suceder si la vasija tuviera simetría de revolución axial perfecta. Es de notar que la invasión del volumen sobre el recipiente se produce en la misma zona en la que el análisis estadístico había mostrado una mayor desviación de la superficie.

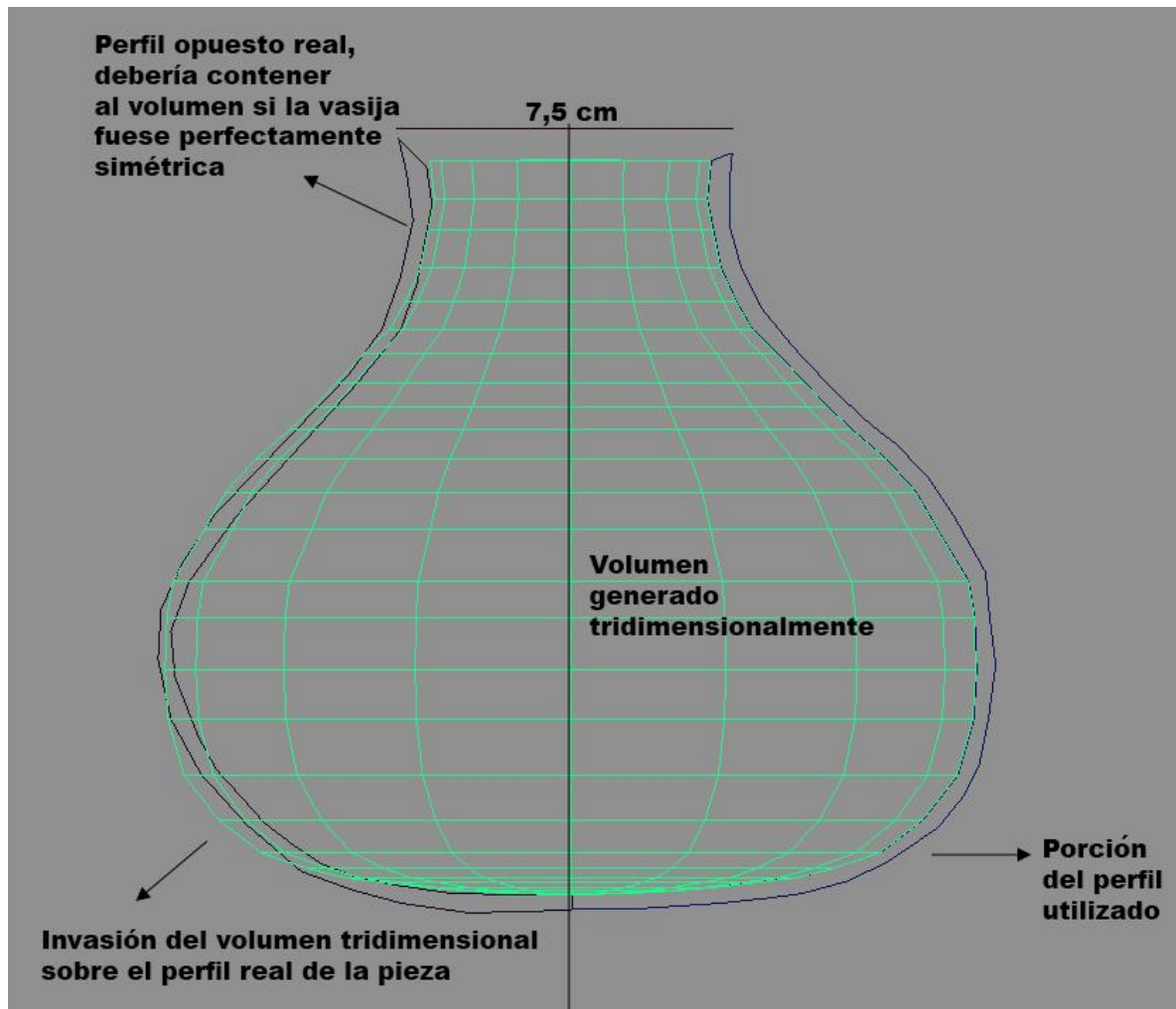


Figura 57. Superposición del volumen ideal derivado por el método del perfil, con el corte longitudinal de la pieza.

A fin de realizar una comprobación independiente, el verdadero volumen se calculó rellorando el recipiente con granos de arroz que luego se midieron en un vaso graduado, un método puesto en práctica por Rodríguez y Hastorf (2013) para calibrar sus propios resultados. Para completar las partes faltantes del recipiente, se colocó una delgada película de plástico entre la superficie de la olla y los granos. El volumen albergado por el recipiente fue de 2 litros, mientras que por el método del perfil se había obtenido un resultado de 2,4 litros. El error generado por el método del perfil fue de 0,4 litros. Si bien pueden darse casos en los que el error de estimación sea menor que el aquí presentado (el análisis sobreestimó su capacidad en un 16%), debe cotejarse en cada caso la homogeneidad de sus paredes a fin de asegurar que no existan desviaciones tan altas como las que aquí se exponen.

Ninguno de los tres métodos evaluados aquí logró generar con precisión estimaciones sobre el volumen del recipiente. El principal limitante de la fotogrametría y

el escáner láser fue la forma de la vasija. Su boca pequeña (7,16 cm) impidió registrar el interior. Si los recipientes registrados hubiesen sido formas abiertas en las que la superficie interna y externa sean ambas accesibles para su registro, hubiese sido factible generar los estimativos aquí planteados. ¿Pero con qué precisión lo hubieran logrado? Dado que aquí se busca determinar el mejor método para el registro de una amplia colección de recipientes hallados en las sucesivas excavaciones, el siguiente análisis comparativo entre la fotogrametría y el escáner láser buscará evaluar la eficiencia de los dos métodos, más allá de los cálculos de volumen, a fin de establecer las ventajas y desventajas de cada uno de ellos a la hora de ser aplicado en futuras investigaciones.

Si se toma en consideración el grado de detalle obtenido por ambas técnicas, el escáner láser es extremadamente superior. Esto puede observarse al comparar la cantidad de puntos registrados de la vasija. El escáner realizó 51.000.000 de mediciones mientras que la fotogrametría sólo 6.457. La Figura 58 muestra una comparación entre las nubes de puntos de ambos recipientes.

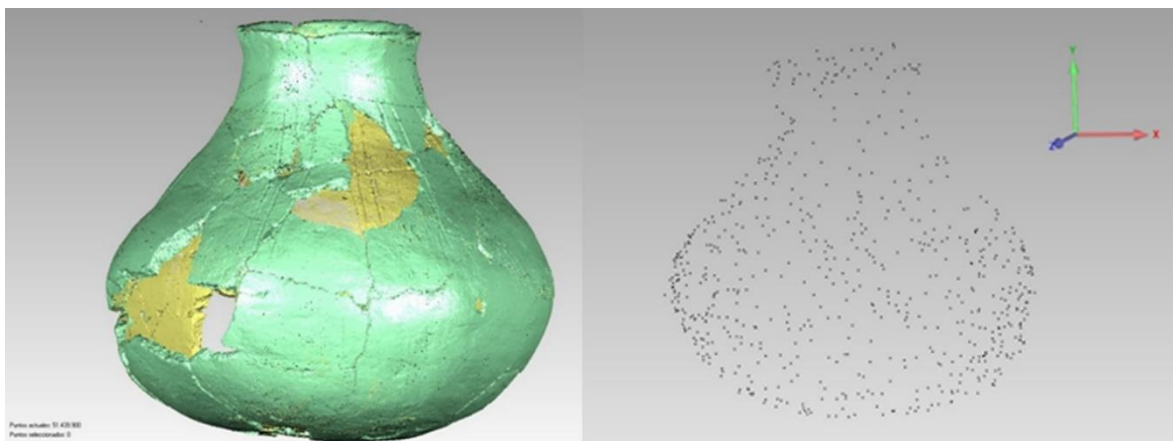


Figura 58. Comparación de la nube de puntos de la vasija. A la izquierda con escáner láser, a la derecha con fotogrametría. La apariencia sólida del MTD realizado con escáner láser se debe a la alta densidad de puntos que posee.

La densidad de la nube de puntos de la vasija escaneada por escáner láser es tal que genera la sensación de tratar con una superficie sólida. La diferencia en la densidad de puntos repercutió especialmente en lo que se denomina “microtopografía”, es decir, en las pequeñas variaciones sobre las superficies de los objetos. Una vez que los modelos fueron convertidos a mallas poligonales sólidas, ambos preservaron los rasgos originales del recipiente pero de manera diferente. La Figura 59 muestra la forma en la que las dos técnicas registraron los diseños incisos sobre la superficie de la vasija de la EA.



Figura 59. Registro de motivos incisos de la vasija de la EA: a la izquierda por medio de escáner láser, a la derecha mediante fotogrametría.

A simple vista, parece que ambos modelos registraron los motivos incisos de forma similar, no obstante, en el MTD fotogramétrico, los rasgos microtopográficos desaparecen cuando se retira la textura que lo cubre, como puede apreciarse en la Figura 60. Esto se debe a que la fotogrametría resuelve visualmente por la textura lo que no puede registrar por la geometría. En el MTD realizado por escáner láser es posible medir la profundidad (0,5 mm) y el ancho (1,8 mm promedio) de las incisiones. En el MTD realizado por fotogrametría resultó imposible hacer las mediciones porque las incisiones no fueron registradas a nivel de la geometría, sino únicamente a nivel de la textura.



Figura 60. Modelo fotogramétrico de las incisiones de la vasija de la EA, con y sin textura.

Para estimar la precisión de la fotogrametría en relación con el escáner láser se realizó el mismo estudio comparativo que se había realizado anteriormente con el método de la revolución del perfil. La Figura 61 muestra la representación gráfica de los resultados. En dicho gráfico la densidad de puntos es menor ya que el modelo fotogramétrico, como se indicó anteriormente, poseía sólo 6.457 puntos. La **desviación máxima** de los puntos registrada fue de $\pm 9,3$ mm, la **media** de desviación de los puntos fue de aproximadamente 2,5 mm y el **desvío estándar** fue de 3,3 mm. Cuando se observa la distribución en el gráfico de las desviaciones los mismos se distribuyen de manera homogénea, existiendo no obstante algunos valores extremos. En términos generales, el MTD fotogramétrico se aproxima más al modelo realizado mediante escáner láser que lo que se aproxima el modelo ideal que surge de la extracción y revolución del perfil de la

pieza. No obstante, continúa siendo una reconstrucción tridimensional imprecisa del recipiente real.

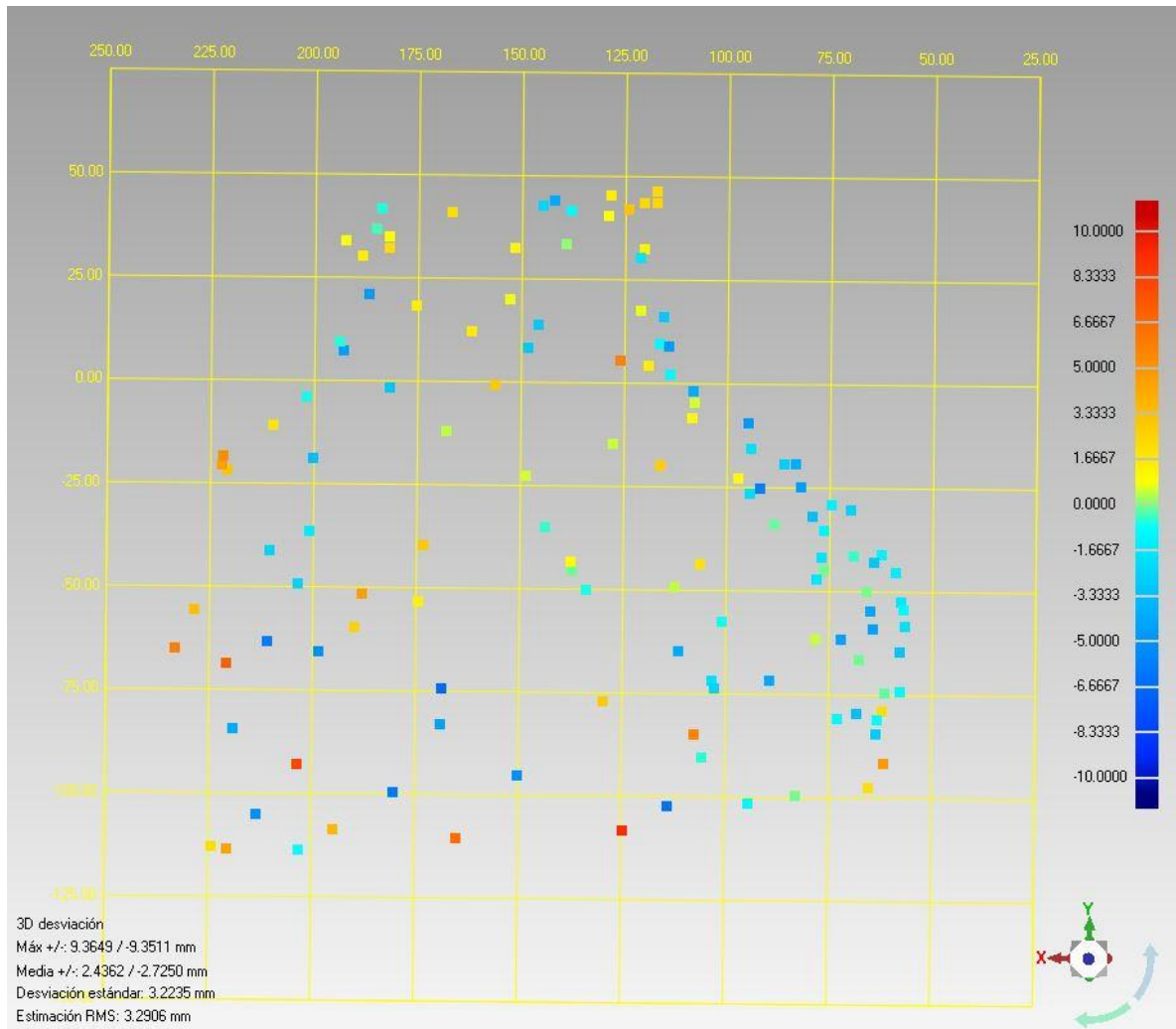


Figura 61. Representación gráfica del análisis estadístico que compara la posición espacial de los puntos de la vasija escaneada de la EA con su forma ideal.

Una punta de proyectil en E3

La obsidiana es otro de los materiales recuperados en la excavación del Núcleo 1 de Cardonal. A lo largo de las diferentes temporadas de excavación se han encontrado puntas de proyectil, desechos de talla y otros instrumentos realizados en este material. Para esta tesis se realizó una experiencia virtual que buscó remontar, con herramientas digitales, las formas base (núcleos, nódulos, lascas) a partir de las cuales se obtuvieron puntas de proyectil halladas en el sitio. El método aquí aplicado analiza la correspondencia de dos superficies para establecer la mejor adecuación entre ambas, de existir alguna.

Este método ha sido diseñado por la Ingeniería Inversa para analizar si los diferentes componentes de una maquinaria poseían el encastre perfecto que requieren. No hay antecedentes de aplicación al remontaje de núcleos. Una técnica similar se empleó para reconstruir el Plano Severano de Mármol de la ciudad de Roma, alojado en el *Museo de la Civiltà* (Koller 2008) y para la reconstrucción de formas cerámicas (Cohen et al. 2010). No obstante en ambos casos el método se aplicó sobre los motivos decorados de las piezas y no directamente sobre la geometría del material.

Para esta tesis sólo se creó el MTD de una punta de proyectil proveniente del nivel 2 de la E3 de Cardonal (Figura 62). Esto se debe a que al no haber sido nunca aplicado antes sobre este material se desconoce la viabilidad del método. Para probar su utilidad se extrajo mediante programas CAD una lasca de manera virtual del MTD de la punta de proyectil, y se utilizó la búsqueda de correspondencias para verificar si reconocía la superficie de la que fue extraída. Si el método resulta efectivo se registrará en un futuro próximo la totalidad de fragmentos de obsidiana recuperados durante la excavación. Por consiguiente, se realizó un estudio comparativo entre la fotogrametría y el escaneo láser para evaluar cuál de los dos métodos es más eficiente para el registro de este material.



Figura 62. Punta de proyectil de obsidiana proveniente de la E3 nivel 2 .del sitio Cardonal.

El escaneo láser de la punta de proyectil se realizó con el mismo escáner utilizado para registrar el recipiente de la EA. El proceso de escaneado se realizó en cuatro etapas sucesivas, las mismas fueron definidas arbitrariamente como Cara Superior, Cara Inferior, Cara Lateral Derecha y Cara Lateral Izquierda. Dado que la punta de proyectil registrada es muy pequeña (2 cm desde el talón hasta el ápice) fue necesario elevarla sobre un pedestal de plastilina a fin de hacerla accesible al brazo palpador. La Tabla 2 muestra el resultado de las sucesivas etapas de escaneado y las nubes de puntos generadas en cada fase de registro.

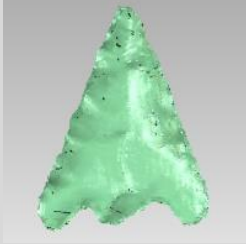
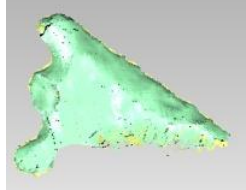
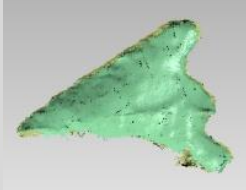
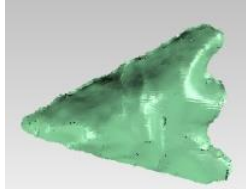
Pieza	posicionamiento	Cantidad de puntos medidos.	Imagen
Punta proyectil obsidiana	Cara Superior	421.788	
Punta proyectil obsidiana	Cara Lateral Izquierda	221.049	
Punta proyectil obsidiana	Cara Lateral derecha	384.746	
Punta proyectil obsidiana	Inferior	271.523	
Total		1.299.106	

Tabla 2. Nubes de puntos individuales resultantes del escaneado de la punta de obsidiana.

Por su pequeño tamaño, la cantidad total de puntos registrados en la pieza lítica fue mucho menor que la registrada en la vasija de la EA. Durante el proceso de escaneado surgieron varios inconvenientes derivados de las propiedades de la obsidiana. Al ser un material altamente reflexivo, el rebote de la luz sobre su superficie iluminó partículas presentes en el aire siendo estas registradas por el escáner láser, lo que generó un fenómeno denominado ruido. El mismo se caracteriza por la presencia de puntos en la pieza distantes de la superficie del objeto. La Figura 63 muestra un acercamiento sobre la nube de puntos en la que en rojo se indica el ruido generado durante el proceso de escaneado. Dado que estos puntos ajenos a la pieza se encuentran en el aire, para su eliminación fue necesario aplicar un filtro que selecciona aquellos puntos que se encuentren a una distancia mayor a dos desvíos estándar de la media de la muestra.

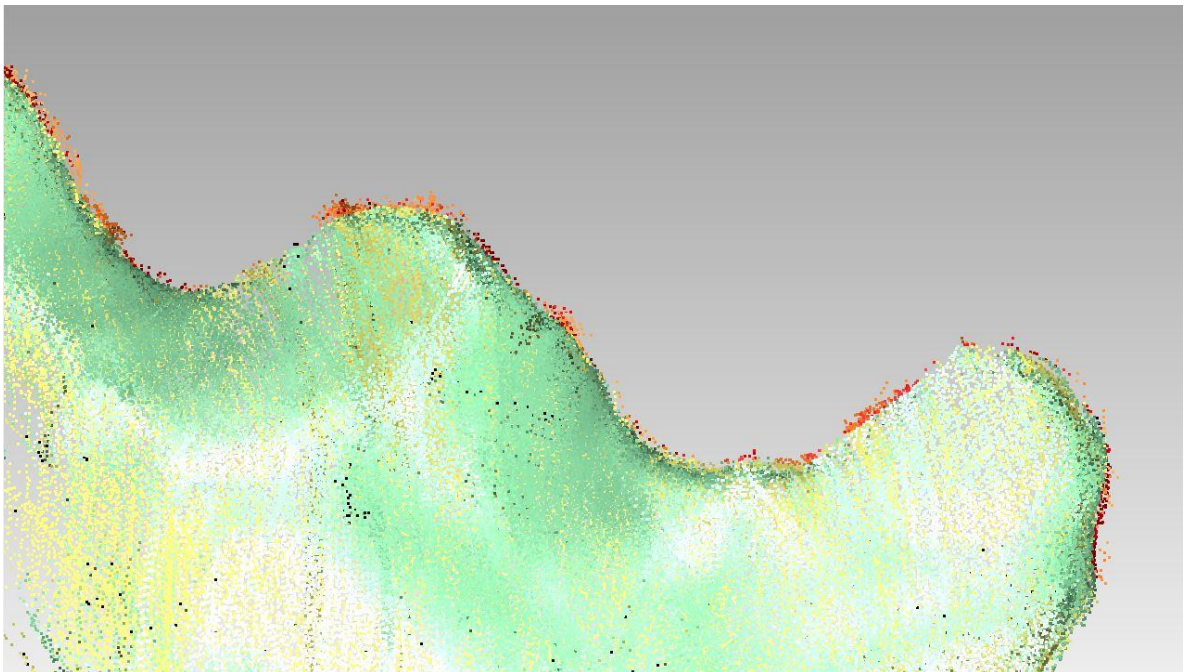


Figura 63. Nube de puntos de la Cara Frontal Superior en la que se aprecia en rojo el ruido generado durante el proceso de escaneado láser.

El registro global de la pieza se realizó de manera manual seleccionando puntos sobre los rasgos comunes en las diferentes nubes de puntos. Para generar una alineación de alta precisión se utilizaron más de diez puntos en cada cara. La Figura 64 ilustra el proceso.

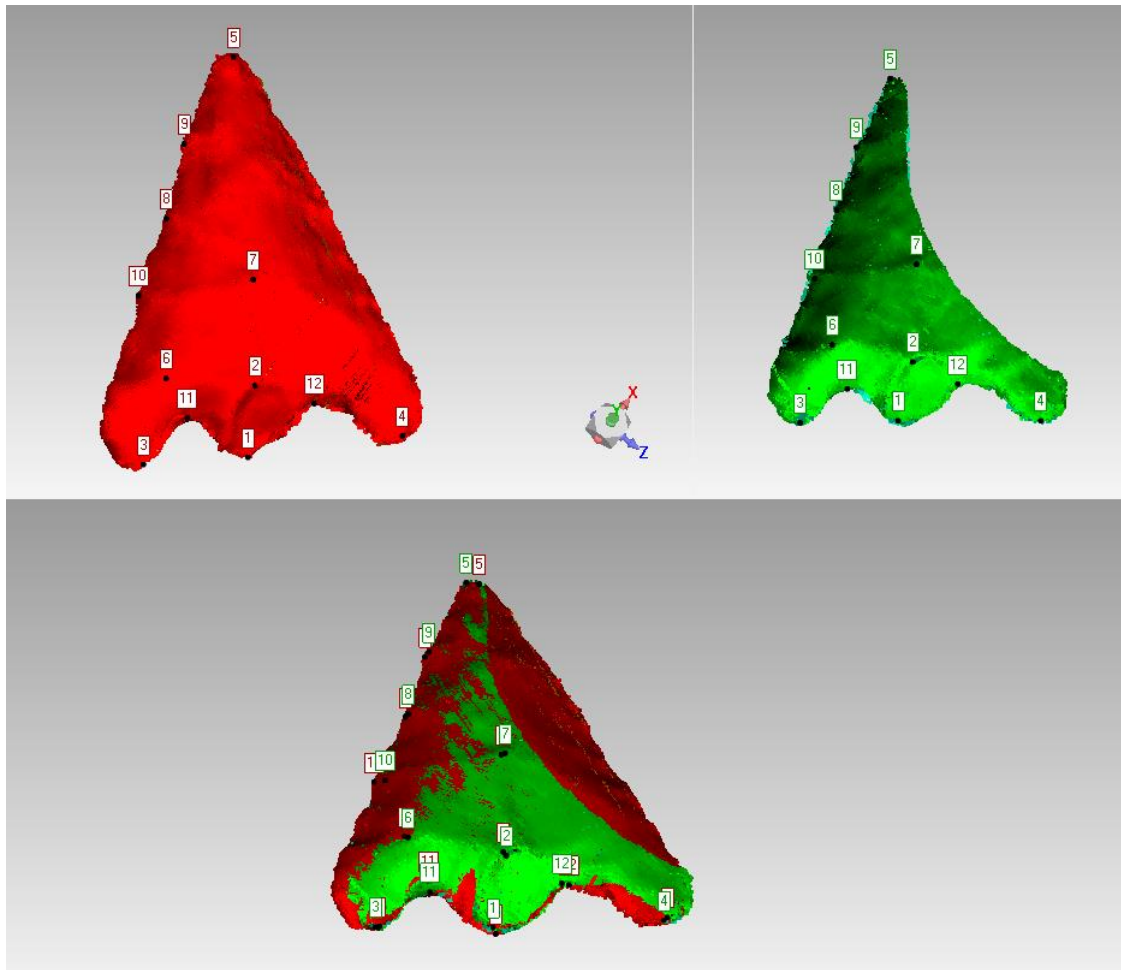


Figura 64. Alineación manual de las diferentes nubes de puntos de la punta de obsidiana de la E3 de Cardonal.

Una vez unificados los diferentes archivos en una nube de puntos única, ésta fue convertida en una malla poligonal sólida. Al igual que con el escaneo de la vasija en el caso de estudio anterior, se reconocieron aquí una serie de patologías que surgen de la triangulación por la cual se constituye un modelo sólido. La Figura 65 muestra la malla poligonal con daños en su geometría, en la misma se indican las patologías frecuentes. Los agujeros tendieron a agruparse en los filos de la pieza y se los reconoce por estar delimitados por vectores verdes rellenos de un color amarillo. Los picos tendieron a agruparse principalmente sobre el cuerpo de la punta de proyectil y se los reconoce por su forma característica de protuberancia. Dichas patologías fueron reparadas mediante el Geomagic Qualify 2012, el mismo programa que fue utilizado para la generación del MTD. La Figura 66 muestra el modelo final de la pieza.

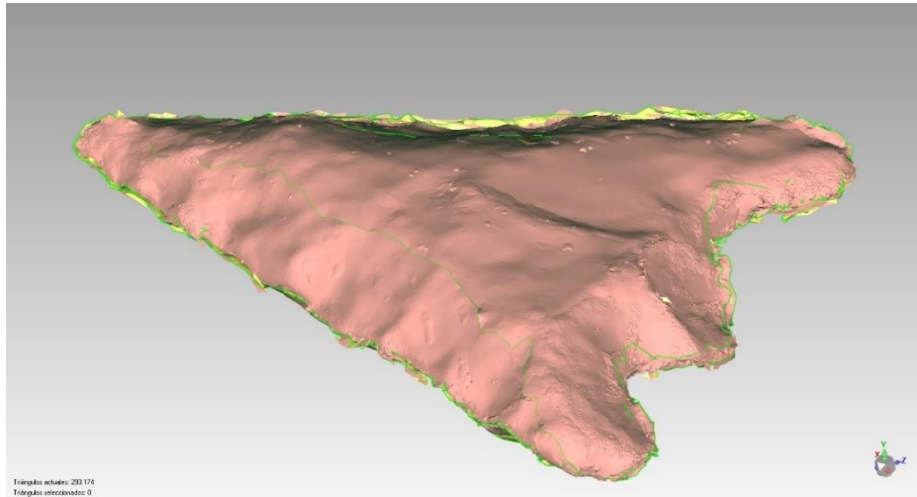


Figura 65. Malla poligonal de la punta de proyectil de la E3 de Cardonal, en la que se aprecian daños en su geometría. Los agujeros se encuentran representados en color verde y amarillos agujeros, mientras que los picos se muestran como protuberancias sobre la superficie de la pieza.

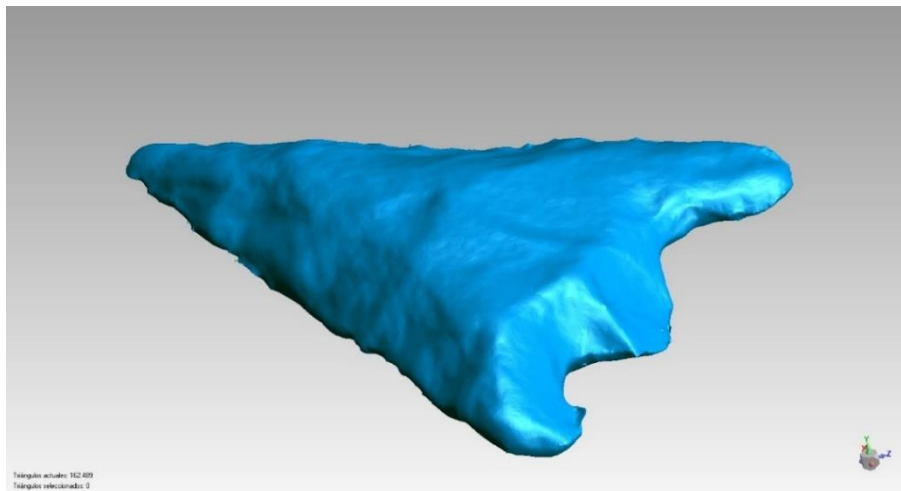


Figura 66. MTD final de la punta de proyectil de la E3 del sitio Cardonal.

Para la fotogrametría se utilizaron un total de 48 fotografías que fueron cargadas en el sitio web de Autodesk 123D catch. Debido a la reflexión de la obsidiana, las variaciones en la luz registradas sobre la superficie generaron un modelo defectuoso (Figura 67). El programa fue incapaz de reconocer la información común entre los fotogramas sucesivos que son necesarios para la construcción de superficies coherentes. Se desprende de esta experiencia que la fotogrametría tradicional, en el nivel de desarrollo actual, no es una buena técnica para realizar los trabajos de registro de las piezas de obsidiana.

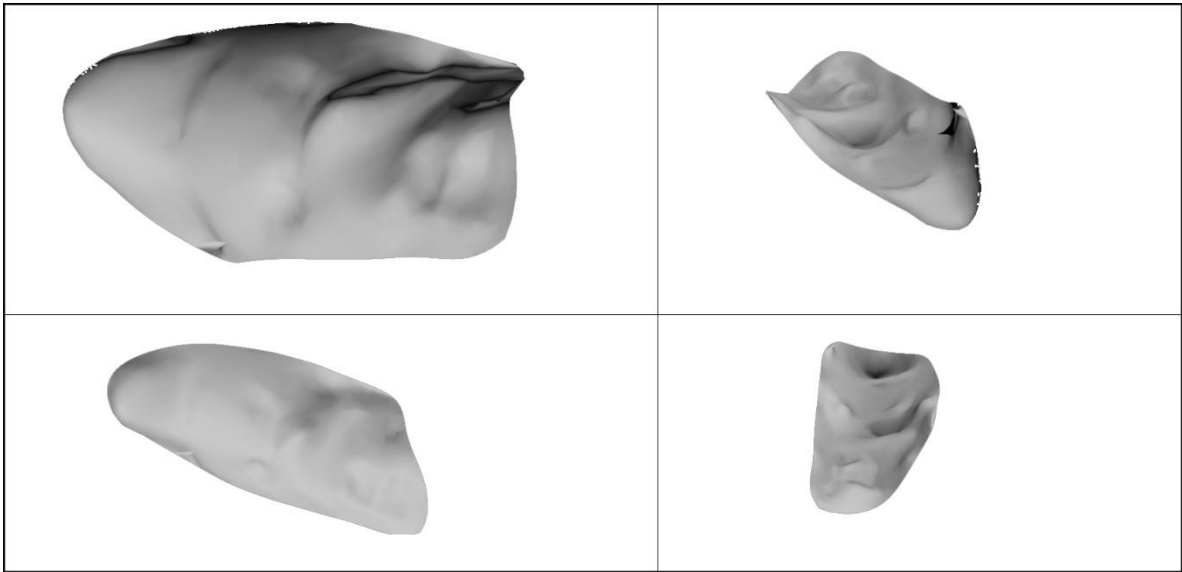


Figura 67. Modelo de la punta de proyectil realizado mediante fotogrametría. El programa utilizado no logró registrar con éxito la superficie de la obsidiana generando un MTD defectuoso.

Para la prueba de correspondencia se extrajo en 3d Studio Max un fragmento de la punta de proyectil simulando un lascado transversal (Figura 68). Tanto la punta como la lasca resultantes fueron guardadas en archivos separados e importados en el software Geomagic Qualify 2012. Dicho programa fue utilizado anteriormente para el escaneo de la pieza y tiene una batería de herramientas que permite establecer pruebas sobre los materiales, entre ellos, los análisis de correspondencia.

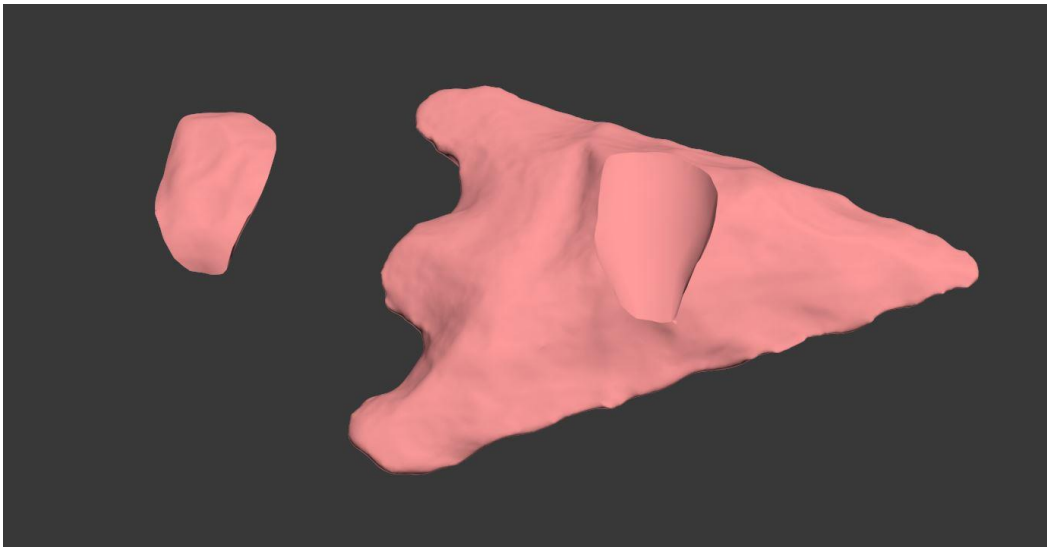


Figura 68. MTD de la punta de proyectil de obsidiana y de un fragmento de la misma extraído para simular un lascado transversal.

Durante el proceso, el programa contrasta la superficie de ambos objetos buscando la zona de mejor correspondencia. La Figura 69 es una captura del proceso, mientras que la Figura 70 muestra el resultado final del procedimiento.

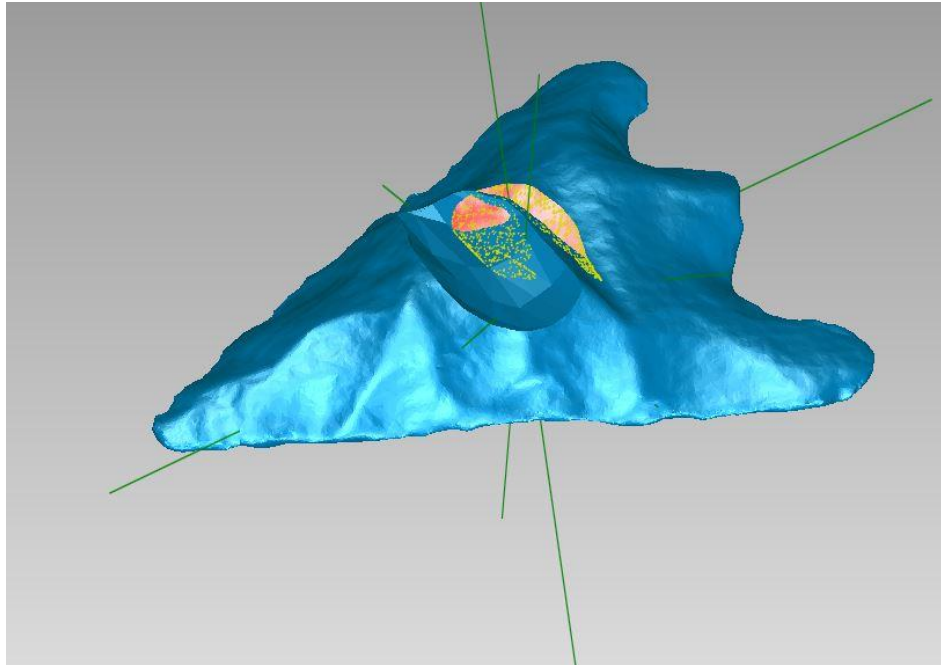


Figura 69. Captura durante el proceso de búsqueda de correspondencias entre el fragmento extraído y la punta de proyectil de la E3.

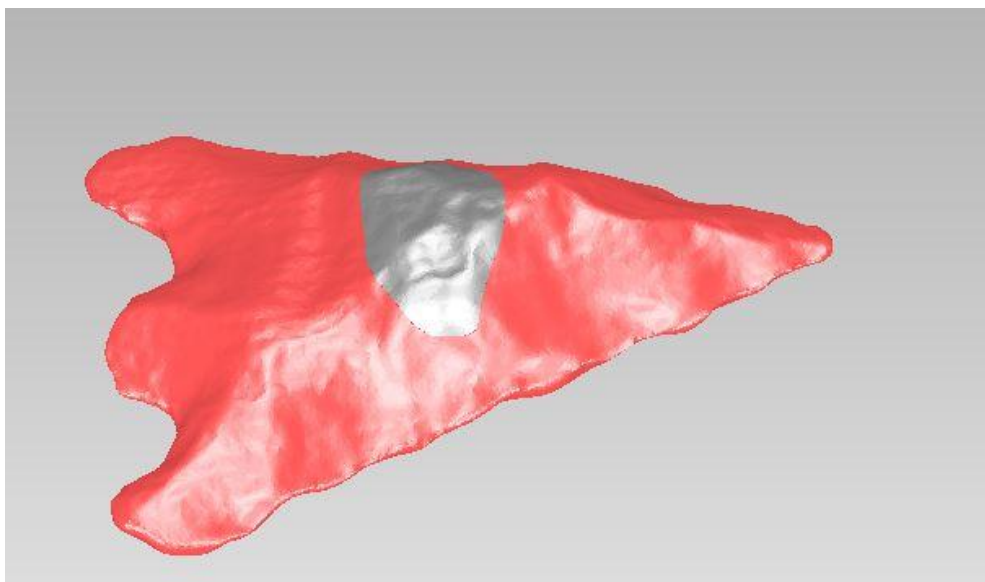


Figura 70. Resultado del análisis de correspondencia. El fragmento extraído virtualmente pudo ser reubicado en su posición original de manera automática.

El procedimiento demoró cerca de 5 minutos. Dada la efectividad del método, el mismo será probado en futuras investigaciones con una muestra mayor de materiales escaneados, esperando que se repitan los mismos resultados satisfactorios.

CAPÍTULO 6

Conclusiones

A lo largo de esta tesis se ha evaluado el potencial de los MTD como herramientas que permiten la resolución de problemas. Los casos planteados en el capítulo 5, son una pequeña muestra del potencial heurístico de los MTD. De los tres casos planteados, el primero de todos reviste de principal interés en la medida en que el modelo generado permitió sostener una de las dos hipótesis planteadas al principio de esta tesis: qué la E4 posiblemente forme parte de la E3.

El muro que separa E3-E4 posee características propias que lo distinguen del resto de los muros del sitio. Al estar las estructuras excavadas sobre la roca base, la mayoría de los muros del sitio presentan como patrón el estar elevados por un escalón de roca por encima del nivel del suelo. Esto no parece cumplirse para el muro mencionado, que es simple, de baja altura, y no se apoya sobre ningún escalón. Esta diferencia constructiva hace posible plantear una nueva hipótesis por la cual se considera que el muro que separa ambas estructuras fue construido en un momento posterior, distinguiéndose dos fases constructivas. Postulamos entonces que la primera fase (Figura 71) consistió en la excavación de la roca base. Se construyeron las paredes delimitantes sobre la parte no excavada, quedando los muros elevados por encima del nivel del piso de ocupación. El área ocupada por esta estructura incluía el espacio delimitado por la actual E3 y E4. Probablemente esta estructura se encontrase techada en su totalidad como lo indica la posición del hoyo de poste actualmente presente en la E3. La Figura 72 muestra un MTD en perspectiva que reconstruye la apariencia de la primera fase constructiva.

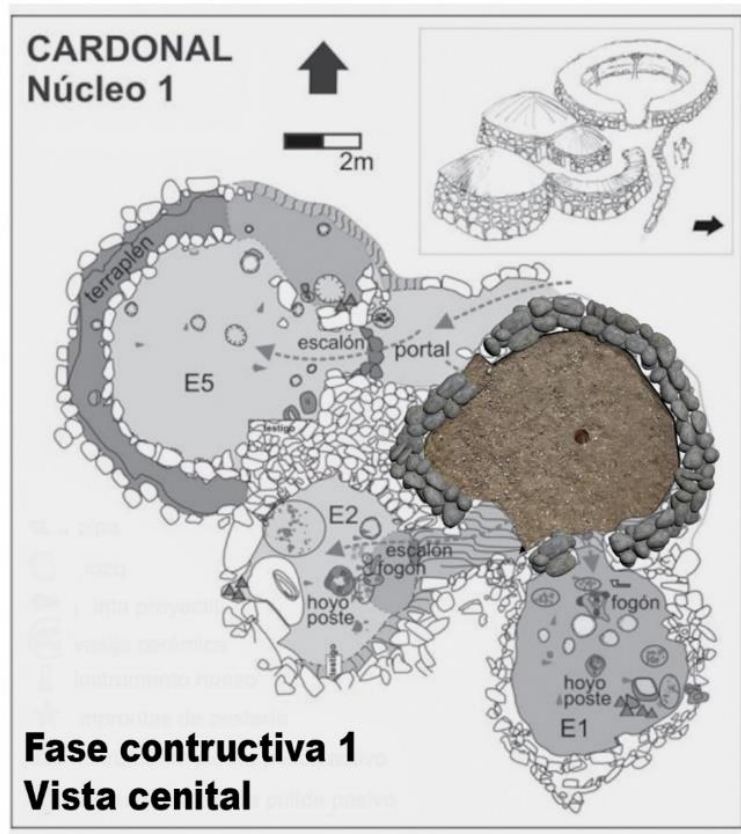


Figura 71. Vista cenital de un MTD que muestra la fase constructiva 1 propuesta para las E 3 y 4.



Figura 72. MTD que reconstruye la apariencia de la E4 durante la fase constructiva 1.

En un segundo momento, se construyó la pared baja que separaba al pequeño habitáculo, actualmente la E4. Dicha pared se construyó directamente sobre la roca base de la estructura previa. Es probable que ambas queden bajo el mismo techo sostenido desde un poste perteneciente a la actual E3. Las Figuras 73 y 74 ilustran esta segunda fase constructiva.

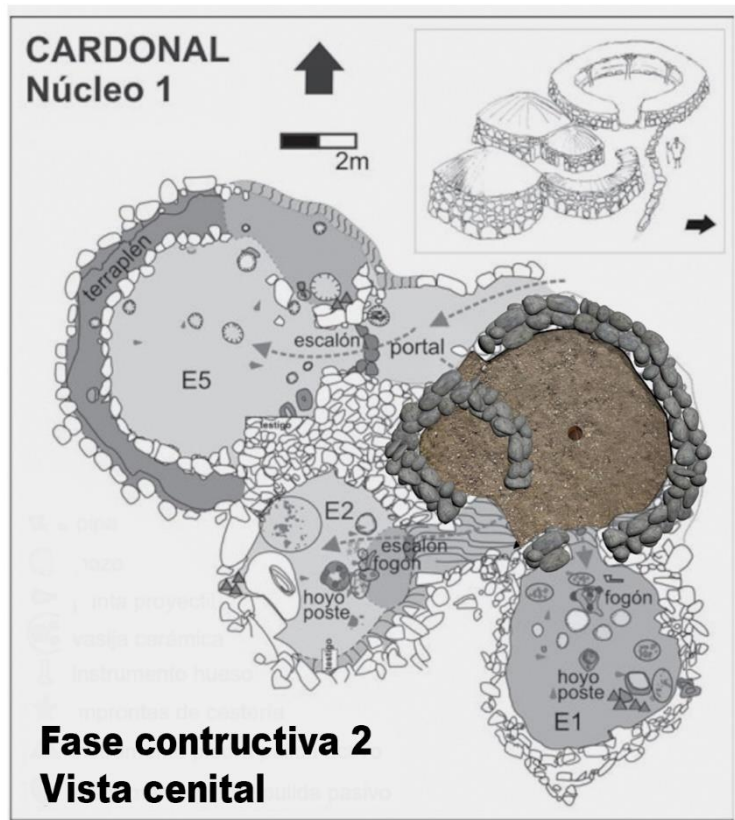


Figura 73. MTD de vista cenital que muestra la fase constructiva 2 en donde se genera el espacio de la E4.

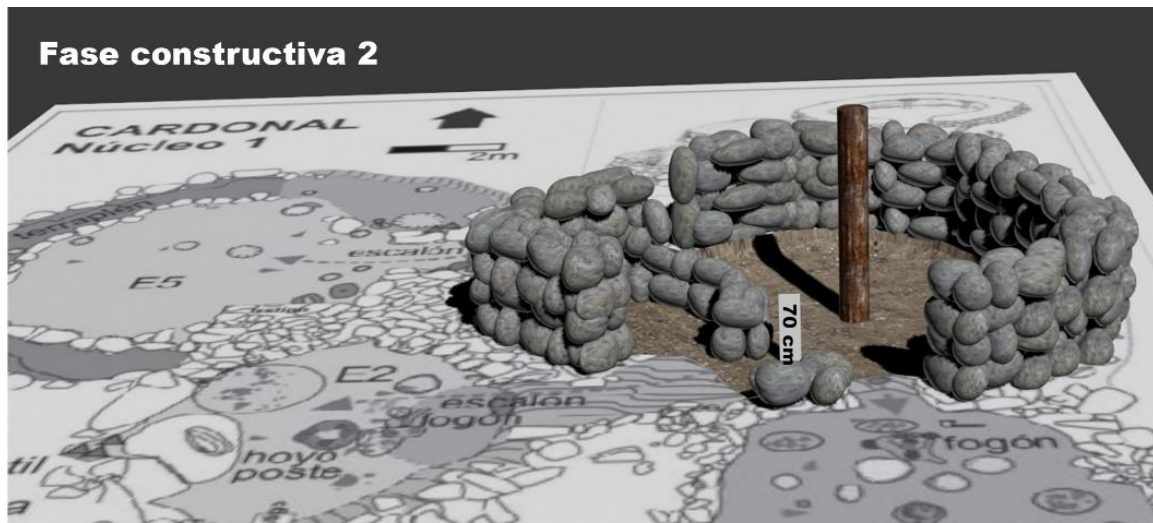


Figura 74. MTD en perspectiva en el que se aprecia la fase constructiva 2 en la que se yergue el muro que separa la actual E3 y E4.

El caso de estudio 2 evaluaba la posibilidad de extraer el volumen de un recipiente cerámico hallado durante la excavación de Cardonal. Para este fin se evaluaron tres métodos diferentes: escáner láser, fotogrametría, y extracción de forma a partir de la revolución del perfil. De los tres métodos, sólo la extracción de forma a partir del perfil permitió generar un estimativo de volumen. No obstante, el valor obtenido sobrestima la

capacidad del recipiente en un 16 %, por lo que no se aconseja emplear ese procedimiento sin tener en cuenta la falta de uniformidad de los recipientes arqueológicos en contraste con las formas ideales generadas por el método.

Debido a que las tres técnicas han mostrado serias limitaciones, es válido proponer que no son de utilidad para los estimativos de volumen sobre recipientes cerrados, con aberturas estrechas. Futuros trabajos en este ámbito, buscarán evaluar si la tecnología de Rayos X (tomografías computadas) permite la generación de MTD que posibiliten del volumen en este tipo de recipientes.

El caso de estudio 3 también puso a prueba las diversas técnicas. Dadas las características de la obsidiana, su alta refracción y reflexión, fue imposible construir un modelo fotogramétrico de ella. Sólo el escáner láser permitió generar un MTD de la pieza.

A continuación se exponen las principales ventajas y desventajas de cada método en función de lo evaluado en los casos de Estudio 2 y 3.

El procedimiento con escáner láser fue la técnica más precisa de registro. No obstante, falló al intentar registrar la cara interna del recipiente. De haberse logrado hubiese sido posible estimar el volumen capaz de albergar. De las tres técnicas, es la que registra con más precisión la superficie permitiendo establecer mediciones sobre los MTD de orden micrométrico. Su uso requiere un equipo costoso, aunque es posible acceder a ellos mediante acuerdos entre instituciones con fines de investigación. Una de sus principales ventajas es que no requiere un alto grado de conocimiento en el manejo del equipo. Su principal debilidad es que la densidad tan alta de información procesada por estos dispositivos hace que trabajar con estos MTD demore mucho más tiempo que con el MTD producto de otras técnicas. Su uso es ideal para registrar superficies complejas con rasgos microtopográficos que requieran un alto grado de detalle. Es también útil para superficies complejas como la obsidiana que no pueden ser registradas mediante otras técnicas.

La Fotogrametría fue la segunda técnica más precisa. Al igual que el escáner láser falló al registrar la cara interna de la vasija, en razón de la incapacidad de tomar fotografías del interior del recipiente. Por su parte, no logró registrar geoméricamente superficies complejas como las incisiones del recipiente o la obsidiana. Tiende a generar superficies sólidas de zonas oscuras o sombreadas, por lo que requiere mucha atención a

elementos como la luz ambiental al momento de la toma de fotografías y a los reflejos generados sobre la pieza. Su principal desventaja es que el modelo resultante no es un modelo exacto del objeto real, sino uno visualmente similar. Entre sus ventajas se encuentra la gran variedad de programas fotogramétricos gratuitos disponibles, sus bajos requisitos (requiere de una cámara fotográfica digital para realizar las fotografías), sus bajos costos y la factibilidad de transportar los equipos al campo. Su uso requiere no obstante el conocimiento de algunas nociones básicas, siendo su aplicación ideal para aquellos casos en los que se debe registrar objetos como cuencos abiertos y platos, en el caso de la cerámica y otros artefactos cuya superficie no posea rasgos microtopográficos complejos y elaborados en su estructura.

El tercer y último caso planteado en esta tesis fue el de la búsqueda de correspondencias entre superficies para generar remontajes automatizados de núcleos. El método, si bien eficaz, fue probado a partir de una lasca desprendida de manera virtual. Futuros trabajos buscarán probar el método con materiales exclusivamente generados por escáner láser para finalmente ser aplicado a la totalidad de la muestra.

Retomando la hipótesis general de partida, los MTD desarrollados para esta tesis buscaron exponer como su uso puede ser ventajoso si se los considera herramientas heurísticas orientadas a la resolución de problemas. El potencial de los mismos, queda en evidencia especialmente en el primer caso de estudio, en el cual fue posible reformular hipótesis previas y plantear nuevas hipótesis sobre la composición arquitectónica del sitio Cardonal. Los casos segundo y tercero, construidos bajo la misma orientación, abren la puerta a futuras investigaciones en las que de cumplirse lo esperado, reforzaran el carácter heurístico de los MTD. Estos casos planteados son sólo tres ejemplos del amplio espectro de posibilidades factibles de encarar mediante el uso de MTD en Arqueología, son una muestra de su potencial real, que ya está siendo explorado por diferentes investigadores en el ámbito internacional.

La diversidad términos que se utilizan para hacer mención a lo que aquí denominamos como MTD, junto con la diversificación en subdisciplinas arqueológicas que reclaman para sí su uso, caracterizan el panorama internacional. A lo largo de esta tesis se sostuvo la idea de que los MTD son herramientas disponibles para cualquier investigación arqueológica, no siendo exclusivos de ninguna subdisciplina. El

vocablo aquí esbozado, MTD, es solo uno de los posibles términos que pueden hacer referencia a la totalidad de las producciones dentro de este ámbito.

En síntesis, hemos realizado experiencias metodológicas que, además de mostrar los límites de ciertos procedimientos con modelos digitales aplicados a la Arqueología, nos permitieron adquirir entrenamiento y destrezas en el uso y manejo de herramientas de programación y de instrumental de vanguardia aplicable a problemas arqueológicos concretos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acien Martínez, F., Estefanía Barrios Aragón, Alberto Ruiz Aguilar y José L. Vázquez Fernández-Baca
2009 Mirador basado en la tecnología Realidad Aumentada para su ubicación en yacimientos arqueológicos. *I congreso internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación: 377-379*, Sevilla.
- Acuto, Félix y Chad Gifford
2007 Lugar, arquitectura y narrativas de poder: relaciones sociales y experiencia en los centros Inkas del Valle Calchaquí Norte. *Arqueología Sul-Americana 3:135-161*.
- Adler, Kristina., Martin Kampel, Raimund Kastler, Martin Penz, Robert Sablatnig, Katerina H. Schindler y Sdran Tosovic
2001 Computer Aided Classification of Ceramics: Achievements and Problems. *Proceedings of 6th international Workshop on Archaeology and Computers: 3-12*, Viena.
- Agugiaro, Giorgio., Fabio Remondino, Gabrio Girardi, Jennifer V. Schwerin, Heather Richards-Risseto y Raffaele de Amicis
2011 Querying and visualizing 3D models of a Maya archaeological site in a web-based interface. *Geoinformatics Journal 6:10-17*.
- Alegre Paricio, Eusebio y Daniel Campos López
2004 Realidad virtual y reconstrucción 3D: ¿Arqueología o Ciencia Ficción? *Actas del Congreso Internacional de Informática aplicada a la investigación y a la gestión arqueológica*. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Córdoba, España
- Allen, Josh
2012 20th Century Archaeology in the 21st: 3D modeling techniques in Historical Archaeology. Presentado en *Society for Historical Archaeology 2012: By the dawn's early Light: Forging Identity, Securing Freedom, & Overcoming Conflict*, Baltimore.
- Allen, Peter K., Steven K. Feiner, Alejandro Troccoli, Hrvoje Benko, Edward W. Ishak y Benjamin Smith
2004 Seeing into the Past: Creating a 3D Modeling Pipeline for Archaeological Visualization. *Proceedings of the 2nd international symposium of 3D Data Processing, Visualization and Transmission: 751-758*, Thessaloniki.
- Andreeto, Marco., Nicola Brusco y Guido M. Cortelazzo
2010 Automatic Modeling of archaeological objects. Presentado en *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision in Archaeology*, Wisconsin.
- Arrambarri Basáñez, Jon y Unai Baeza Santamaría
2011 Museos Virtuales. Un caso práctico: Museo Nacional de Arqueología Subacuática (Arqua). *III Internacional de Arqueología, Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación: 300-302*, Sevilla.
- ArtSense
2013 ARtSense Project. Página Web del Proyecto, <http://www.artsense.eu/>, accesado agosto 07, 2013.
- Aujolat, Norbert
s.f. *La cueva de Lascaux*. Recorrido virtual interactivo, http://www.lascaux.culture.fr/?lng=es#/fr/02_00.xml, accesado septiembre 15, 2013.
- Autodesk[®]
2013 Autodesk 123D. Servicio WEB de fotogrametría, <http://www.123Dapp.com/>, accesado septiembre 15, 2013.

Balbona, Guillermo

2013 La arqueología sale a la luz. *El Diario Montés*. Periódico electrónico, <http://www.eldiariomontanes.es/20130228/local/cantabria-general/arqueologia-sale-201302281807.html>, accesado febrero 2, 2013.

Baldini, Marta., Jorge Carbonari, Gervasio Cieza, María E. de Feo., María F. del Castillo, Aníbal Figini, Alberto Rex González, Roberto Huarte y José Togo

2002 Primer análisis de la cronología obtenida en el sitio Choya 68 (Depto. De Capayán, Provincia de Catamarca, Argentina). *Estudios Atacameños* 24: 71-82. Versión electrónica, http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-10432002002400006&lng=es&tlng=es.10.4067/S0718-10432002002400006, accesado mayo 17, 2014.

Barceló, Juan A.

2001 Virtual reality for archaeological explanation. Beyond “picturesque” reconstruction. *Archeologia e calcolatori* 12: 221-244.

Barceló, Juan A. y Oriol Vicente Campos

2004 Some Problems in Archaeological Excavation 3D Modeling. En *Enter the Past. The e-way into the four Dimensions of Cultural Heritage*. Editado por Magistrat der Stadt Wien-Referat Kulturles Erbe-Stadtarchäologie, Archeopress, Oxford.

Barceló, Juan A., Oscar de Castro, David Travet y Oriol Vicente Campos

2003 A 3D Model of an Archaeological Excavation. En *The Digital Heritage of Archaeology. Computer applications and quantitative methods in Archaeology*. Editado por M. Doerr y A. Sarris, Hellenic Ministry of Culture, Archive of Monuments and Publications.

Barceló, Juan A., Alfredo Maximiano Castellejo y Oriol Vicente Campos

2006 La Multidimensionalidad del Espacio Arqueológico. Teoría, Matemáticas y Visualización. En *La aplicación de los SIG en la Arqueología del Paisaje*. Editado por Ignacio Grau Mira, pp. 29-40.

Barneche Naya, Viviana., Luis A. Hernández Ibáñez y Belén Torrente Torrente

2009 Patrimonio histórico y metaversos. Estudio de caso de la recreación interactiva de la Torre de Hércules en Second Life. *I congreso internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación: 373-377*, Sevilla.

Barrera Vera, José A., Daniel Hernández Macías y José Harráez Boquera

2005 Nuevas Tecnologías en Levantamientos Aplicadas a la Arqueología y la Restauración: La muralla Almohade de Sevilla. *Congreso Internacional Conjunto XVII INGEGRAF – XV ADM*, Sevilla.

Baudrillard, Jean

1988 *Jean Baudrillard, Selected Writings*. Stanford University press, California.

Beacham, Richard C.

2011 Concerning the Paradox of Paradata. Or, “I don’t want realism; I want magic!”. *Virtual Archaeology Review* 2(4): 49-52.

Benítez de Lugo Enrich, Luis., José L. Merino, Primitiva Bueno Ramírez, Rosa Barroso Bermejo y Rodrigo Balbín Behrmann

2009 Aplicaciones infográficas en yacimientos neolíticos y calcolíticos: Huecas (Toledo). *I congreso internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación: 399-403*, Sevilla.

Borge Cordovilla, Francisco J.

2009 La Anastilosis virtual como herramienta didáctica en la enseñanza de la Historia. Ejemplos y propuestas de trabajo. *I congreso internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación: 437-441*, Sevilla.

Bugliani, M. Fabiana

2008 *Consumo y representación en el sur de los valles Calchaquíes (Noroeste argentino). Los conjuntos cerámicos de las aldeas del primer milenio A.D.* BAR Series 1774, Oxford.

Bugliani, M. Fabiana y M. Cristina Scattolin

2011 *Construyendo el pasado entre todos*. Proyecto de extensión universitaria acreditado por la UNLP, La Plata.

Calo, Cristina M.

2010 *Plantas útiles y prácticas cotidianas entre los aldeanos al sur de los valles Calchaquíes*. Tesis Doctoral Inedita, FCNyM, UNLP.

Cantarelli, Violeta

2010 *La ocupación prehispánica de la Sierra del Cajón: Arquitectura, funcionalidad y cronología del sitio Pichanal 4*. Informe final de Beca Estímulo presentado ante la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

Carosio, Sebastián A., Juan P. Aguilar y J. Roberto Bárcena

2013 Reconstrucción 3D y cálculo volumétrico de recipientes cerámicos. Alcances y limitaciones para el estudio y conservación cerámica de la Tambería de Guandacol (Provincia de la Rioja). *La Zaranda de Ideas* 9(2):57-76.

Carta de Londres

2009. *La carta de Londres para la visualización computarizada del patrimonio cultural*. Documento electrónico.
http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_es.pdf,
accesado agosto 8, 2013

Chandler, Jim H. y John G. Fryer

2005 Recording Aboriginal Rock Art Using Cheap Digital Cameras and Digital Photogrammetry. *CIPA XX International Symposium: 193-198*, Torino.

Chase, Arlen F., Diane Z. Chase y John F. Weishampel

2013 The use of LiDAR at the Maya Site of Caracol, Belize. En *Mapping Archaeological Landscapes from Space*, pp: 187-197. Editado por Douglas C. Corner y Michael J. Harrower.

Clarke, David L.

1972 Models and paradigms in contemporary archaeology. En *Models in Archaeology*, pp. 1-60, Londres.

Cohen, Fernand., Ezgi Taslidere, Zexi Liu y Glen Muschio

2010 Virtual Reconstruction of Archaeological Vessels using Expert Priors & Surface Markings. *Advancing Computer Vision with Humans in the Loop: 7-14*, San Francisco.

Constantino, D., M. G. Angelini y G. Caprino

2010 Laser Scanner Survey of an Archaeological Site - Scala Di Furno (Lecce, Italy). *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol XXXVIII: 178-183*, Calgary.

Cortés, Leticia I.

2012 Bajo Los Medanos: paisaje funerario y tradiciones compartidas al sur de los Valles Calchaquíes, primer milenio de la Era. *Estudios Sociales del NOA* 12:59-80.

Cripps, Paul

2007 Pathways, Perception and the development of Place. *Computational approaches to movement and perception of landscape in prehistory, The World is in your Eyes - Proceedings of XXXIII Computer Applications in Archaeology: 323-326*, Portugal.

Daniels, Robert

1996 The need for the solid modelling of structure in the archaeology of buildings. *Internet archaeology* 2. Documento electrónico, http://intarch.ac.uk/journal/issue2/daniels_toc.html, accesado febrero 2, 2013.

de Felice, Giuliano y M. Giuseppina Sibilano

2009 Strategie di documentazione per la ricerca e la comunicazione archeologica. Il caso di Faragola (Foggia, Italia). *I congreso internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación*: 411-415, Sevilla

English Heritage

2012 *3D Láser Scanning for Heritage. Advice and guidance to users on lasser scanning in archaeology and architecture*. Documento electrónico, http://www.english-heritage.org.uk/publications/3d-laser-scanning-heritage2/3D_Laser_Scanning_final_low-res.pdf, accesado agosto 8, 2013.

Farjas Abadía, Mercedes

2009 Digital Photogrammetry: 3D Representation of Archaeological Sites. En *Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría*. Versión electrónica, http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/3d-scanning-and-modeling/Contenidos/Lectura_obligatoria/photogrammetry1 , accesado agosto 7, 2013.

Ferrari, Alejandro A.

2012 *Espacialidad local e Inka: aportes a partir de un caso de estudio en el Valle Calchaquí Norte (Salta, Argentina)*. Tesis de licenciatura Inedita, FFyL, UBA.

Flores Gutierrez, Mariano y Carlos M. López Martínez

2009 Del hallazgo arqueológico al Ciberespacio. *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación*: 451-456. Sevilla.

Flores Gutierrez, Mariano. Tomás Rufete Martínez, José Macanás Vidal, Juan Martínez García, Carlos M. López Martínez y Francisco Ramos Martínez

2011 Visor de realidad aumentada en Museos (RAM) para exposiciones situadas en entornos cerrados. *Virtual Archaeology Review* 3 (2): 87-91.

Forte, Maurizio

1996 *Virtual Archaeology: Great Discoveries Brought to Life Through Virtual Reality*. Thames and Hudson.

2008 Virtual Archaeology: Communication in 3D and Ecological Thinking. En *Beyond Illustration: 2d and 3D Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology*, pp 20-34. Editado por Bernard Frischer y Anastasia Dakouri-Hild, Archeopress.

2009 Cyber Archaeology: Notes on the simulation of the Past. *Virtual Archaeology Review* 4 (2): 7-18.

FraunHofer IOSB

2011 *iSTAR - Bidirectional OLED- Microdisplay*. Página web, <http://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/16190/>, accesado septiembre 8, 2013.

Frischer, Bernard

2005 New Directions for cultural virtual reality: A global strategy, seeing and exhibiting 3D computer models of cultural heritage sites. *Virtual Retrospect* 2005: 168-175.

2008 Introduction. From Digital Illustration to Digital Heuristics. En *Beyond Illustration: 2D and 3D Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology*, pp V-XII. Editado por Bernard Frischer y Anastasia Dakouri-Hild, Archeopress.

2009 Art and Science in the age of digital reproduction: From mimesis to interactive virtual reality. *I Congreso internacional de Arqueología e informática gráfica, patrimonio e innovación*:35-48, Sevilla.

Fryer, John G., Jim H. Chandler y Sabry F. El-Hakim

2005. Spatial Modelling an Aboriginal Cave Painting: Easy with Modern Technology?. *Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre: 27-36*. New Zeland.

Gallo, G., F. Milanese, E. Sangregorio, F. Stanco, D. Tanasi y L. Trupia

2009 Il modello virtuale della statua romana di Asclepio del Museo di Siracusa (Italia). *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación: 417-421*, Sevilla.

Gillings, Mark

1997 Engaging Place: a Framework for the Integration and realization of Virtual-Reality Approaches in Archaeology. En: *Archaeology in the age of internet*, pp. 247-254. Editado por L. Dingwall, S. Exon, V. Gafnney, S. Laflin y M. Van Leusen, British Archaeological Reports.

Ginés Picó Vicente, Sebastián

2005 *Integración de máquinas medidoras por coordenadas en entornos CAD/CAM*. Tesis de Maestría para la Titulación de Ingeniero Industrial, Cartagena.

Gómez Robles, Lucía y M. Victoria Quirosa García

2009 Nuevas tecnologías para difundir el Patrimonio Cultural: las reconstrucciones virtuales en España. *E-Rph* 4. *Revista Digital*, http://www.revistadepatrimonio.es/descarga.php?nombre_documento=revistas/numero4/estudios_generales/estudios/_pdf/estudiosgenerales-estudios.pdf, accesado mayo 06, 2014.

González, Alberto R.

1963 Cultural development in NW Argentina. En *Aboriginal development in Latin America: An interpretative review*. Vol. 1, pp. 103-117. Editado por B. Meggers y C. Evans.

Gordillo, Inés

2004 Arquitectos del Rito. La construcción del Espacio Público en La Rinconada, Catamarca. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXIX:111-136*.

Gosálbez, José., Ana Cabrera, Jorge Moraguesi, Sascha Voth, Damala Areti, Stephen Fairclough, Kiel Gilleade y Nenad Stojanovic

2011 Adaptive Augmented Reality and Cultural Heritage: the European ARTSENSE project. *III Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación: 103-107*, Sevilla.

Habber, Alejandro F.

1995 Supuestos teórico-metodológicos de la etapa formativa de la arqueología de Catamarca (1875-1900). *Publicaciones del Ciffyh Arqueología* 47:31-54

Hermon, Sorin y Loukas Kalisperis

2009 Between the Real and the Virtual: 3D visualization in the archaeological research expectations and prospects. *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica: 99-104*, Sevilla.

Hernández-Barahona, Ángeles y Escacena Carrasco, José L.

2009 A propósito de la anastylosis infográfica del Carambolo. Diálogo teórico y metodológico sobre la Arqueología Virtual. *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación:423-427*, Sevilla.

Hwang, Wu Yui., Jia Han Su yueh Min Huang y Jian Jie Dong

2009 A Study of Multi-Representation of Geometry Problem Solving with Virtual Manipulatives and Whiteboard System. *Education Technology & Society* 12 (3): 229-247.

Husillos García, M. Luz

2009 La Arqueología Virtual y su uso en el aula. *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación:451-456*, Sevilla.

ICOMOS

1994 *Documento de Nara sobre la Autenticidad*. Documento electrónico, http://www.esicomos.org/Nueva_carpeta/info_DOC_NARAesp.htm, accesado agosto 8, 2013.

Irujo-Ruiz, Diego J. y M. Pilar Prieto Martínez.

2005 Aplicaciones del 3D en cerámica prehistórica de contextos arqueológicos gallegos: Un estudio sobre percepción visual. *Archeoweb* 7 (2). Documento electrónico, <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/arqueoweb/pdf/7-2/irujoruiz.pdf>, accesado agosto 8, 2013.

Izaguirre, Joaquín Ignacio

2009 Resolución de problemas arqueológicos mediante la construcción de modelos tridimensionales de datos. 3 casos concretos. Presentado en *Jornadas de Jóvenes Investigadores en Ciencias Antropológicas del INAPL*, Buenos Aires.

2011 Una máscara formativa de 3000 años de antigüedad. Medio audiovisual en internet, <http://www.youtube.com/watch?v=D71OUkzdzj-A>, accesado agosto 14, 2013.

Izeta, Andres D.

2007 *Zooarqueología del sur de los valles Calchaquíes (Provincias e Catamarca y Tucumán, República Argentina): Análisis de conjuntos faunísticos del primer milenio A.D.* B.A.R. International Series S1612, Oxford.

Johanson, Chris y Bernard Frischer

2008 A Digital model of The Inca Sanctuary of the Sun. En *Beyond Illustration: 2d and 3D Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology*, pp. 98-102. Editado por Bernard Frischer y Anastasia Dakouri-Hild.

Kampel, Martin y F. Javier Melero

2003 Virtual Vessel Reconstruction from a Fragment's Profile. En *4th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage*, pp. 79-88. Editado por D. Arnold, A. Chalmers y F. Niccolucci.

Kampel, Martin y Robert Sablatnig

2001 Automated 3D recording of archaeological pottery. *Proceedings of intl. Conference on cultural heritage and technologies in the third millenium. Vol 1*: 169-182, Milán.

2003 Virtual Reconstruction of broken and unbroken Pottery. *Proceedings of the Fourth International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling*: 238-2.. Los Alamitos.

Karasik, Avshalom

2008 Applications of 3D technology as a research tool in archaeological ceramic analysis. En *Beyond Illustration: 2d and 3D Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology*, pp. 103-116. Editado por Bernard D. Frischer y Anastasia Dakouri Hild.

Karasik, Avshalom y Uzy Smilansky

2006 Computation of the capacity of pottery vessels based on drawn profiles. En *Excavations at Tel Beth Shean 1989-1996 Vol 1*, pp. 392-394. Editado por Israel Exploration Society y Hebrew University.

Karasik, Avshalom., Liora Bitton, Ayelet Gilboa, Ilan Sharon y Uzy Smilansky

2004 Quantitative Measures of the Uniformity of Ceramics. En *Beyond the Artifact. Digital Interpretation of the Past. Proceedings of CAA2004*, pp. 407-410. Editado por Franco Niccolucci y Sorin Hermon, Budapest.

Katsianis, Markos., Spyros Tsipidis, Kostas Kotsakis y Alexandra Kousoulakou

2008 A 3D Digital Workflow for Archaeological Intra-site Research Using GIS. *Journal of Archaeological Science* 35: 665-667.

Koller, David R.

2008 Virtual Archaeology and Computer-Aided Reconstruction of the Severan Marble Plan. En *Beyond Illustration: 2d and 3D Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology*, pp 117-125. Editado por Bernard Frischer y Anastasia Dakouri-Hild.

Lagunes, Andrés

2004 Arqueología de la diferenciación social en el Valle de Ambato, Catamarca, Argentina (S.II-VI d.C.): El actualismo como metodología de Analisis. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXIX*:137-161.

Liberani, Inocencio y Rafael Hernández

1950[1877] *Excursión arqueológica en los Valles de Santa María, Catamarca*. UNT, Tucumán.

Lerma García, José L., Miriam Cabrelles López, Santiago Navarro Tarín y Sergio Galcerá Ustero

2009 Documentación 3D y visualización multimedia de la Cova del Parpalló (Gandia). *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación*: 391-395, Sevilla.

Lewin, Jeniffer S. y Mark D. Gross

1996 Resolving rchaeological Site Data With 3D Computer Modeling: The Case of Ceren. *Proceedings of Associaciaton For Computer Aided Design in Architecture*: 255-266, Tucson.

Lloret Marín, Tomás

1999. Una nueva forma de ver la Arqueología: Arqueología Audiovisual. *Arqueoweb 1*(3). Documento electrónico, <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/arqueoweb/pdf/1-3/lloret.pdf>, accesado agosto 8, 2013.

Lo Brutto, Mauro y Paola Meli

2012 Computer Vision Tools For 3D Modelling In Archaeology. En *Progress In Cultural Heritage Preservation*, pp. 1-6. Editado por L. Marinos, F. Dieter, J. Leissner, F. Remondino y R Caffo.

Loponte, Daniel y A. Acosta

2011 Informe de avance de investigación del sitio El Cazador sitio 3. Presentado ante la Secretaría de Cultura de la Nación, INAPL.

Lorrio, Alberto J., M. Dolores Sánchez de Prado, Francesca Selles Mariano. José R. Ortega Pérez y M. Aurelio Esquembe Bebia

2009 El Molón, su Historia a través del Tiempo. *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación*: 381-384, Sevilla.

Mara, Hubert., Robert Sablatnig, Avshalom Karasik y Uzy Smilansky

2004 The Uniformity of Wheel Produced Pottery Deduced from 3D-Image Processing and Scanning. *Digital Imaging in Media and Education. Proceedings of the 28yh Workhop of the Austrian Association for Pattern Recognition (OAGM)*: 197-204, Austria.

Martínez Carrillo, Ana., M. Ángel Rubio Paramio y José I. Navas Lara

2008 3D Data Capture and Visualization of Archaeological Pottery. *Conference on Virtual Systems and MultiMedia dedicated to Digital Heritage:11-14*, Limassol.

Martínez Carrillo, Ana., Arturo Ruiz Rodríguez y M. Ángel Rubio Paramio

2009 Digitalización y visualización 3D de cerámica arqueológica. *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación*:357-360, Sevilla.

Marquez Miranda, Fernando Y Eduardo Cigliano

1957-1959 Ensayo de una clasificación tipológica cronológica de la cerámica santamariana. *Notas del Museo de La Plata* 19:1-27.

McKinley, Roger y Damala Areti

2013 *ARtSENSE and Manifest.ar: Revisiting Museums in the Public Realm through Emerging Art Practices*. Documento electrónico, <http://Mw2013.museumsandtheweb.com/paper/arsense-and-manifest-ar-revisiting-museums-in-the-public-realm-through-emerging-art-practices/>, accesado febrero 23, 2014.

Melero, F. Javier., Alejandro León y J. Carlos Torres

2009 Digitalización y reconstrucción de elementos cerámicos arqueológicos de torno. *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación:365-369*, Sevilla.

Minolta

s.f. *3D DIGitizing. Altamira II - High-tech Cave Reconstruction*. Documento electrónico, http://elracimo.net/almacen/docs/CaseStudy_Altamira.pdf, accesado agosto 09, 2013.

Miranda Duarte, Ana A., y Priscila von Altrock

2005 The Close Range Photogrammetry in the Documentation of the Rocks Art. Study of Case. Archaeological Site Santinho Norte I - SC/ Brazil. *CIPA 2005. XX International Symposium*, Torino.

Moitinho, Vera y Juan A. Barceló

2011 Understanding Virtual Objects through Reverse-Engineering. *III Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación: 211-214*. Sevilla.

Moser, Michael., Simon Hye, Gert Goldenberg, Klaus Hanke y Kristóf Kovács

2009 Digital documentation and visualization of archaeological excavations and finds using 3D scanning technology» *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación:351-356*, Sevilla.

Müller, Pascal., Tijl Vereenoghe, Peter Wonka, Iken Paap y Luc Van Gool

2006a Procedural 3d Reconstruction of Puuc Buildings in Xk'piché. *Virtual Archaeology. Proceedings of the VAST 2006: 139-146*.

Müller, Pascal., Peter Wonka, Simon Haegler, Andreas Ulmer y Luc Van Gool

2006b Procedural Modeling of Buildings. *CM Transactions on Graphics (TOG) 25:614-623*.

MuseumSheffield

s.f. *Objects in 3D*. Documento electrónico, <http://collections.museums-sheffield.org.uk/view/objects/aslist/367?t:state:flow=b48aabb3-1196-41fb-808c-8f50e3429bfb>, accesado julio 15, 2013.

Ozmen, Can y Selim Balcisoy

2008 A software system to work with 3D Models in Cultural Heritage Research. En *Beyond Illustration: 2d and 3D digital technologies as tools for Discovery in Archaeology*, pp. 87-97. Editado por Bernard Frischer y Anastasia Dakouri-Hild.

Palombini, Augusto y Sofia Pescarín

2009 Virtual Archaeology and museums, an italian perspective. *Arqueologica 2.0: II. II Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación: 129-132*, Sevilla.

Parker Pearson, Mike

1999 Architecture and Order. Spacial Representation and Archaeology. En *Architecture & Order. Approaches to Social Space*, pp. 38-72. Editado por Mike Parker Pearson y Collin Richards, Routledge.

Perazo, Cintia

2012 Los arqueólogos y antropólogos del siglo XXI. *Diario La Nación* 17 de Agosto.

Pereyra Domingorena, Lucas

2012 Manufacturas alfareras al sur de los valles Calchaquíes entre el siglo primero al quinto DC. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXXVII (2): 387-412.*

Pérez Gollán, José A.

2000 El Jaguar en Llamas. En: *Nueva Historia Argentina* Vol 1, pp. 229-256. Editado por Miriam Tarrago, Sudamericana.

Pinto Puerto, Francisco., José M. Guerrero Vega y Roque Angulo Fornos

2011 Anastilosis de la Scanae Frons del Teatro Romano de Itálica. *III congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación: 276-280*, Sevilla.

Pletnickx, Daniel

2009 Virtual Archaeology as Integrated Preservation Method. *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación:51-56*, Sevilla.

Pollefeys, Marc., Luc Van Gool, Maarten Vergauwen, Kurt Cornelis, Frank Verbiest y Jan Tops

2003 3D Capture of Archaeology and Architecture with a Hand-Held Camera. *ISPRS Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - Vol XXXIV-5*, Ancona.

Popper, Karl R.

1978 *La lógica de las ciencias sociales*. Traducción de Jacobo Muñoz, Mexico.

Principios de Sevilla

2001 *Principios de Sevilla*. Documento electrónico, <http://www.arqueologiavirtual.com/carta/wp-content/uploads/2012/03/BORRADOR-FINAL-FINAL-DRAFT.pdf>, accesado agosto 16, 2013.

Rascón Marqués, Sebastián y Lucía Sánchez Montes

2008 Las nuevas tecnologías aplicadas a la didáctica del patrimonio. *Pulso 31:67-92*.

Redman, Charles L.

1987 Surface collection, sampling, and research design: a retrospective. *American Antiquity 52: 249-265*.

Reilly, Paul

1988 Computer Analysis of an Archaeological Landscape: Medieval Land Divisions on the Isle of Man. En *British Archaeological Report (British Series 190)*. Editado por: K. Lockyear y S. Rahtz, Oxford University.

1989 Applying Solid Modeling and Animated Three-Dimensional Graphics to Archaeological Problems. En *Computer Applications in Archaeology. British Archaeological Reports (Int. Series 548)*, pp. 157-166. Editado por S. Rahtz y J. Richards, Oxford University.

1990 Towards a Virtual Archaeology. En *Computer Applications in Archaeology. British Archaeological Reports (int. Series 565)*, pp. 133-139, Oxford University.

Reilly, Paul y Stephen Shennan

1989 Applying solid modeling and animated three-dimensional graphics to Archaeological problems. En *Computer Applications in Archaeology*, pp. 157-166. Editado por S. Rahtz y J. Richards, Oxford University.

Remondino, Fabio y Sabry F. El-Hakim

2006 Image-Based 3D Modelling: A review. En *The Photogrammetric Record 21: 269-291*.

Remondino, Fabio y Alessandro Rizzi

2009 Reality-based 3D documentation of world heritage sites: methodologies, problems and examples. Presentado en *22nd CIPA Symposium*, Kyoto.

reo-tek.

2012 *Simulation, Interactive presentation and Exhibition design*. Documento electrónico, <http://www.reo-tek.com/en/projects/eskisehir-eti-archaeology-museum>, accesado agosto 14, 2013.

Rodriguez, Erin C. y Christine A. Hastorf

2013 Calculating ceramic vessel volume: an assessment of methods. *American Antiquity* 87: 1182-1190.

Rome Reborn Project.

2013 Documento electrónico, <http://romereborn.frischerconsulting.com>, accesado agosto 15, 2013.

Rovira i Juan, J. María

2009 Web didáctica: “Cabrera de Mar, arqueología i patrimoni”. Un ejemplo de la reconstrucción o anastilosis virtual de yacimientos y paisajes arqueológicos íberos, romanos y medievales. La infografía al servicio de la arqueología, del patrimonio y de la educación. *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación:431-436*, Sevilla.

Rubio Gil, Daniel., José Martínez Rubio, Javier Baena Preysler, Juan J. Fernández Martín y Javier Finat Codes

2009 Nuevos métodos para viejas tecnologías: análisis y documentación de los materiales arqueológicos mediante la aplicación de sistemas Laser-scanner 3D. *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación: 345-349*, Sevilla.

Sablatnig, Robert., Srdan Tosovic y Martin Kampel

2001 Volume computation of archaeological vessels. *Acts of the XIVth UISPP Congress: Only Three-dimensional imaging in paleoantropology and prehistoric Archaeology*, Lieja.

Sanders, Donald H.

1997 Virtual Worlds for Archaeological Research and Education. *Archaeology in the Age of the Internet: proceedings of the 25th anniversary Conference of CAA*, Birmingham.

Scattolin María Cristina

2004 Categorías indígenas y clasificaciones arqueológicas en el Noroeste Argentino. En *Hacia una arqueología de las arqueologías sudamericanas*, pp. 53-81. Compilado por A. Haber.

2006a De las comunidades aldeanas a los curacazgos. *Boletín de Arqueología PUCP* 10:357-398.

2006b Contornos y confines del universo iconográfico precalchaqui del valle de Santa María. *Estudios Atacameños* 32: 119-139.

Scattolin, M. Cristina, Leticia I. Cortes, C. Marilin Calo, Lucas Pereyra Domingorena y Joaquin I. Izaguirre

2007-2008 Una Máscara metálica del valle del Cajón, Catamarca, Argentina. *Arqueología* 14:229-237.

Scattolin, M. Cristina., M. Fabiana Bugliani, Leticia I. Cortés, C. Marilin Calo, Lucas Pereyra Domingorena y Andrés D. Izeta

2009a Pequeños mundos: Hábitat, maneras de hacer y afinidades en aldeas del valle del Cajón, Catamarca. *Relaciones de la sociedad Argentina de Antropología XXXIV:251-274*.

Scattolin, M. Cristina., Leticia I. Cortés, M. Fabiana Bugliani, C. Marilin Calo, Lucas Pereyra Domingorena y Andrés D. Izeta

2009b Built landscapes of everyday life: a house in an early agricultural village of north-western Argentina. *World Archaeology* 41(3): 396-414.

- Scattolin, M. Cristina., M. Fabiana Bugliani, Leticia I. Cortés, Lucas Pereyra Domingorena y Marilyn Calo
2010 Una máscara de cobre de tres mil años. Estudios arqueometalúrgicos y comparaciones regionales. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 15(1): 25-46.
- Senior, Louise M. y Dunbar P. Birnie
1995 Accurately Estimation Vessel Volume from Profile Illustrations. *American Antiquity* 60(2): 319-334.
- Smithsonian National Museum of Natural History
2013 *What does it mean to be human? 3D Collection*. Documento electrónico, <http://humanorigins.si.edu/evidence/3D-collection>, accesado agosto 15, 2013.
- Sonnermann, Till., Martín Sauerbier, Fabio Remondino y Gerhard Schrotter
2006 Reality-based 3D modeling of the Angkorian temples using aerial images. *Proceedings of 2nd International Conference on "Remote Sensing in Archaeology"*: 573-579, Roma.
- Srur, María Gabriela., Andres D. Izetta y M. Cristina Scattolin
2012 Alimentación de camélidos sudamericanos en los sitios formativos de Cardonal y Bordo Marcial (Catamarca, Argentina): Una aproximación isotópica. *Archaeobios* 6(1): 5-18.
- Tarragó, Myriam N.
2000 Chacras y Pukara. Desarrollos sociales tardíos. En *Nueva Historia Argentina Vol. 1*, pp. 257-300. Editado por Miriam N. Tarragó, Editorial Sudamericana.
- Tejado Sebastián, José M.
2005 Escaneado en 3D y prototipado de piezas arqueológicas: las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del patrimonio arqueológico. *Iberia* 8: 135-158.
- Thomas, Julian
1993 The Politics of Vision and the Archaeologies of Landscape. En *Landscape, Politics and Perspectives*, pp. 19-48. Editado por B. Bender, Berg Publishers.
- UNESCO
2003 Carta sobre la preservación del patrimonio digital. Documento electrónico, <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001300/130071s.pdf>, accesado agosto 11, 2013.
- Universidad de Colima
2013 *Introducción a los sistemas informáticos*. Documento electrónico, <http://www.ucol.mx/docencia/facultades/fcatecoman/pdfs/propedeutico/2-Introduccionalosistemasinformaticos.pdf>, accesado agosto 07, 2013.
- Van Gool, Luc., Marc Pollefeys y Alexey Zaslensky
2000 The MURALE project: Image-based 3D modeling for archaeology. *Virtual Archaeology. Proceedings of the VAST2000, Arezzo*.
- Vicedo, Jordi y Jordi Linares
2010 Escaneado de objetos tridimensionales en el ITI. *Revista del instituto tecnológico de informática* 2010: 05-07.
- Vitores, Marcelo y Daniela Avido
2013 Modelado Tridimensional de Hallazgos Mediante Software Fotogramétrico. Presentado en *XVIII Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, Buenos Aires.
- Waters, Michael R.
1997 The post burial disturbance of archaeological site contexts. En *Principles of Geoarchaeology: A north American perspective*, pp. 291-31. Editado por Michael R. Waters, Arizona University Press.

Winterhalder, Bruce

2002 Models. En *Darwin and Archaeology: A Handbook of Key Concepts*, pp. 202-223. Editado por John P. Hart y John E. Terrel, Praeger.

Wulff, Robert

2010 Image-Based 3D Documentation in Archaeology. Presentado en *32nd Annual Symposium of the German Association for Pattern Recognition*, Darmstadt.

Wolfhousefilms

2007 *Uturunco*. Medio audiovisual en internet, <https://www.youtube.com/watch?v=uqWF-63eq1Y>, accesado agosto 13, 2013.

Yamaguchi, Yuji y Takehiko Matsugi

2009 Experimental practice using 3D scanning for understanding the structure of a stone chamber from the Kofun period, Japan – A case study of the Shobuzako Kofun, Okayama prefecture -. *Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación*:361-364, Sevilla.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ilustración del área Valliserrana en el que se ve la localización de los principales valles y el sitio Cardonal (dibujo de Diana I. Betti).....	9
Figura 2. Planta del Núcleo 1 de Cardonal y de los principales hallazgos.....	11
Figura 3. Reconstrucción tentativa de La Rinconada de Ambato o Iglesia de los Indios mediante el uso de MTD (tomado de Gordillo 2004).....	13
Figura 4. Visión hacia el este desde una estructura habitada por población local del sitio arqueológico Cortaderas, Salta, en la cual se ve de fondo las ruinas de la fortaleza preinkaica destruida tras la conquista del Inka (tomado de Acuto y Gifford 2007).....	14
Figura 5. Visión hacia el oeste desde el mismo poblado local en donde se ve de fondo la imponente fortaleza incaica construida tras la conquista del poblado (tomado de Acuto y Gifford 2007).	14
Figura 6. Simulación Visual del sitio arqueológico Guitián (tomado de Ferrari 2012).	14
Figura 7. Comparación de diferentes modelos de curvas bidimensionales y modelos tridimensionales digitales del sitio Loma l'Ántigo en los cuales se aprecia la forma en la que la cantidad de información repercute sobre el tipo de representación generada.....	17
Figura 8. Comparación de un modelo de curvas de nivel de Loma l'Ántigo y un MTD del mismo sitio generado con intervalos altimétricos de 1 cm.	18
Figura 9. Registro tradicional utilizado para construir el MTD de la E4 de Cardonal.	20
Figura 10. Diagrama de flujo de trabajo propuesto para el proceso de modelado tridimensional digital.....	23
Figura 11. Relación entre la precisión, el tamaño de los objetos modelados y las técnicas de adquisición de datos para la construcción de modelos tridimensionales digitales (Modificado de English Heritage 2012).	26
Figura 12. Diagrama de flujo propuesto para orientar la selección de técnicas de registro en función de nuestras necesidades, recursos y limitaciones.	27
Figura 13. Sistemas de adquisición de puntos que pueden ser utilizados para la confección de modelos tridimensionales digitales (modificado de Remondino y El-Hakim 2006).	28
Figura 14. Una de las nubes de puntos generada a través de las mediciones realizadas por un escáner láser sobre un arpón óseo arqueológico.	30
Figura 15. Flujo de procesos necesarios para el modelamiento de los datos generados por las técnicas más comunes de adquisición de datos.	30
Figura 16. Las 4 nubes de puntos registradas por el escáner láser.	31
Figura 17. Nube de puntos tras el registro global de las diferentes nubes de puntos expuestas en la Figura 16.	32
Figura 18. Malla sólida resultante de una nube de puntos en la que se pueden apreciar algunas de las patologías frecuentes.	32
Figura 19. Superficie poligonal sólida tras la reparación de las patologías.	33
Figura 20. Arpón con una textura de referencia que simula el hueso.....	33
Figura 21. Fines para los cuales es frecuente el uso de MTD	36
Figura 22. Comparación de los registros de excavación de Cardonal (izquierda) y de Cerén (derecha, tomado de Lewin y Gross 1996).	42
Figura 23. Fotografía del muro que separa la E3 de la E4.	43

Figura 24. Superposición de foto aérea sobre Google Earth en la que se puede apreciar la localización de la explanada sobre la que se erigió el sitio Cardonal.	46
Figura 25. El Núcleo 1 en el contexto de la planimetría de Cardonal.....	47
Figura 26. Planta del Nivel de ocupación del Núcleo 1 de Cardonal donde se muestran los principales hallazgos.	48
Figura 27. Reconstrucción del Núcleo 1 de Cardonal presentada en el 2009. Dibujo de M. Cristina Scattolin (Tomado de Scattolin 2009a: 255).....	48
Figura 28. Render de dos MTD que reconstruyen visualmente las dos hipótesis planteadas. ..	49
Figura 29. Foto de la excavación de la E4 nivel 4 en el que se observa el derrumbe de la pared que separa E3 de E4.	50
Figura 30. Planta de excavación a mano alzada realizada en hoja milimetrada que fue escaneada para obtener información sobre la profundidad de la roca base y generar un MTD de la E4.	51
Figura 31. Nube de puntos generada a partir de la tabla de puntos de la roca base en el programa Topocal.	52
Figura 32. Modelo bidimensional de curvas de nivel en el programa Topocal.	53
Figura 33. MTD de la roca base a partir de las curvas de nivel generadas en Topocal, mediante el uso del 3D Max.	54
Figura 34. MTD de la roca base con la planta de excavación aplicada como textura. Este procedimiento permitió corregir el desfasaje de los hoyos.	54
Figura 35. Mapa de vectores de las rocas de E 4. Cada color corresponde a un nivel.	55
Figura 36. Proceso de modelado de rocas a partir de una esfera. El proceso se reiteró con cada una de las rocas.....	55
Figura 37. Derrumbe y muro de E4. Los colores de la roca indican la profundidad a la que fueron extraídas durante la excavación.....	56
Figura 38. MTD de E4 donde fueron removidas las rocas del derrumbe.	57
Figura 39. Reconstrucción del muro que divide la E3 de la E4.	57
Figura 40. MTD y Fotografías de la E4 que muestran las distintas superficies sobre las que se construyeron los muros.	58
Figura 41. Vasija empleada en el Caso de Estudio 2. Cumple con el requisito de que su forma surja de la revolución axial de su perfil y fue sometida a diferentes técnicas de registro tridimensional.	60
Figura 42. Fotografía del final de excavación de la EA (izquierda) y fotografía de la vasija en el contexto de su hallazgo (derecha).	61
Figura 43. Registro de compensación resultante de la calibración del escáner láser.	62
Figura 44. Registro global de las diferentes nubes de puntos generadas a través del proceso de escaneado de la vasija proveniente de la EA.	64
Figura 45. Patologías que surgen de la transformación de la nube de puntos en una malla poligonal mediante la triangulación. En rojo se observan los picos, mientras que las líneas verde fluorescente indican la presencia de agujeros.....	65
Figura 46. MDT de la vasija proveniente de la EA finalizado.	65
Figura 47. Vista de la superficie interna del MTD de la vasija. En azul se observan las partes que pudieron ser registradas. En amarillo las partes que quedaron sin registrar	66

Figura 48. Reconstrucción de la orientación de la cámara fotográfica para las 86 fotografías utilizadas en la construcción del MTD de la vasija de la EA. El software utilizado fue el Autodesk 123d Catch.	67
Figura 49. MTD resultante del proceso fotogramétrico de la vasija de la EA mediante 123d Catch.....	67
Figura 50. MTD realizado mediante fotogrametría de la vasija de la EA. La misma se presenta sin textura para apreciar mejor su geometría.	68
Figura 51. Perfil extraído de la vasija de la EA utilizado para la construcción de un MTD	69
Figura 52. Figura que muestra el proceso de modelado del recipiente mediante la extracción del perfil.	69
Figura 53. MTD de los dos volúmenes generados por el método de revolución del perfil.	70
Figura 54. Extracción del perfil de la vasija de la EA para evaluar la representatividad el recipiente.	71
Figura 55. MTD de la forma ideal de la vasija de la EA basada en la extracción del perfil del MTD escaneado. Representa como debería ser la vasija si sus paredes fuesen completamente homogéneas.....	72
Figura 56. Representación gráfica del análisis estadístico que compara la posición espacial de los puntos de la vasija escaneada de la EA con su forma ideal.....	73
Figura 57. Superposición del volumen ideal derivado por el método del perfil, con el corte longitudinal de la pieza.	74
Figura 58. Comparación de la nube de puntos de la vasija. A la izquierda con escáner láser, a la derecha con fotogrametría. La apariencia sólida del MTD realizado con escáner láser se debe a la alta densidad de puntos que posee.	75
Figura 59. Registro de motivos incisos de la vasija de la EA: a la izquierda por medio de escáner láser, a la derecha mediante fotogrametría.	76
Figura 60. Modelo fotogramétrico de las incisiones de la vasija de la EA, con y sin textura.	77
Figura 61. Representación gráfica del análisis estadístico que compara la posición espacial de los puntos de la vasija escaneada de la EA con su forma ideal.....	78
Figura 62. Punta de proyectil de obsidiana proveniente de la E3 nivel 2 .del sitio Cardonal.....	79
Figura 63. Nube de puntos de la Cara Frontal Superior en la que se aprecia en rojo el ruido generado durante el proceso de escaneado láser.	81
Figura 64. Alineación manual de las diferentes nubes de puntos de la punta de obsidiana de la E3 de Cardonal.	82
Figura 65. Malla poligonal de la punta de proyectil de la E3 de Cardonal, en la que se aprecian daños en su geometría. Los agujeros se encuentran representados en color verde y amarillos agujeros, mientras que los picos se muestran como protuberancias sobre la superficie de la pieza.	83
Figura 66. MTD final de la punta de proyectil de la E3 del sitio Cardonal.....	83
Figura 67. Modelo de la punta de proyectil realizado mediante fotogrametría. El programa utilizado no logró registrar con éxito la superficie de la obsidiana generando un MTD defectuoso.....	84
Figura 68. MTD de la punta de proyectil de obsidiana y de un fragmento de la misma extraído para simular un lascado transversal.....	84
Figura 69. Captura durante el proceso de búsqueda de correspondencias entre el fragmento extraído y la punta de proyectil de la E3.....	85

Figura 70. Resultado del análisis de correspondencia. El fragmento extraído virtualmente pudo ser reubicado en su posición original de manera automática.	85
Figura 71. Vista cenital de un MTD que muestra la fase constructiva 1 propuesta para las E 3 y 4.....	87
Figura 72. MTD que reconstruye la apariencia de la E4 durante la fase constructiva 1.....	87
Figura 73. MTD de vista cenital que muestra la fase constructiva 2 en donde se genera el espacio de la E4.....	88
Figura 74. MTD en perspectiva en el que se aprecia la fase constructiva 2 en la que se yergue el muro que separa la actual E3 y E4.	88

ANEXO 1

Tabla de puntos espaciales de la roca base generada a partir de los registros de la excavación de Cardonal, la misma fue utilizada en el caso de Estudio 1 para la construcción del MTD.

Número	Posición X	Posición Y	Posición Z	Código
1	-7	135,6	-66	RmA
2	-12,45	134	-67	RmA
3	-13,6	130	-63	RmA
4	-55	116	-55	RmA
5	-43	107,5	-60	RmA
6	-16	100	-63	RmA
7	-39	105	-72	Pozo
8	-35	112	-61	RmA
9	-78	100	-53	RmA
10	-8	83	-65	RmA
11	-12	62	-66	RmA
12	-40	85	-65	RmA
13	0	23	-68	RmA
14	-21	0	-68	RmA
15	0	0	-68	RmA
16	-24	83,5	-72	pozo
17	-50	51	-66	RmA
18	-51	0	-67	RmA
19	-89	0	-60	RmA
20	-100	0	-54	RmA
21	-130	0	-50	RmA
22	-88	26	-60	RmA
23	-115	45	-55	RmA
24	-80	54	-60	RmA
25	-100	59	-56	RmA
26	-132	69	-50	RmA
27	-100	84	-50	RmA
28	-62	75	-60	RmA
29	-49	96	-60	RmA
30	28	13	-66	RmB
31	51	100	-66	RmB
32	40	100	-68	pozo
33	5	128	-68	pozo
34	22	111	-68	pozo
35	11	100	-65	RmB
36	9	84	-75	pozo
37	30	89	-67	RmB
38	18	58	-67	RmB

39	60	80	-71	RmB
40	85	58	-70	RmB
41	53	48	-69	RmB
42	38	43	-69	RmB
43	29	37	-77	Pozo
44	31	23	-69	RmB
45	20	19	-77	pozo
46	28	5	-77	Pozo
47	46	3	-69	RmB
48	95	24	-67	RmB
49	21	-16	-68	RmC
50	45	-11	-77	pozo
51	77	-37	-68,5	RmC
52	35	-55	-68	RmC
53	97	-61	-72	RmC
54	76	-80	-70	RmC
55	47	-100	-67	RmC
56	-112	-26	-52	RmD
57	-81	-47	-53	RmD
58	-29	-55	-63	RmD
59	-45	-80	-66	RmD
60	-25	-104	-65	RmD
61	-9	-17	-67	RmD
62	-13	25	-67	RmA
63	-10	-3	-75	Pozo
64	-50	140	-30	RmA
65	-25	138	-30	RmA
66	-40	138	-30	RmA
67	-60	126	-30	RmA
68	-86	128	-30	RmA
69	-92	120	-30	RmA
70	-117	111	-30	RmA
71	-132	83	-30	RmA
72	-142	59	-30	RmA
73	-140	30	-30	RmA
74	-133	2	-30	RmA
75	-125	-13	-30	RmD
76	-116	-29	-30	RmD
77	-105	-40	-30	RmD
78	-65	130	-50	RmA
79	-75	129	-50	RmA
80	-85	125	-50	RmA
81	-125	98	-50	RmA
82	-140	78	-50	RmA
83	-145	56	-50	RmA

84	-130	15	-50	RmA
85	-129	-7	-50	RmD
86	-116	-36	-50	RmD
87	-61	130	-60	RmA
88	-85	120	-60	RmA
89	-106	108	-60	RmA
90	-115	88	-60	RmA
91	-140	64	-60	RmA
92	-142	47	-60	RmA
93	-135	30	-60	RmA
94	-131	13	-60	RmA
95	-126	-5	-60	RmD
96	-108	-42	-60	RmD
97	-79	-64	-60	RmD
98	-57	-87	-60	RmD