

APLICACIÓN DE SIG EN ARQUEOLOGÍA FUNERARIA: ESTUDIO DE CASO EN EL CLAUSTRO DE SAN FRANCISCO, CARTAGENA COLOMBIA

APPLICATION OF GIS IN FUNERARY ARCHAEOLOGY: A CASE STUDY AT THE SAN FRANCISCO CLOISTER, CARTAGENA, COLOMBIA

Andrea OCAMPO-LÓPEZ¹

Resumen

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son esenciales en la arqueología funeraria para gestionar y analizar datos espaciales. Estas herramientas permiten crear mapas digitales para visualizar la distribución de los entierros, identificar patrones y realizar análisis estadísticos, optimizando tanto el trabajo de campo como la interpretación de datos complejos sobre las sociedades antiguas. Este trabajo presenta una implementación preliminar del software QGIS en los espacios funerarios 5 y 6 del proyecto San Francisco, ubicado en Cartagena de Indias, Colombia. Su objetivo es explorar el potencial de QGIS en la arqueología funeraria, comparándolo con métodos tradicionales, y reflexionar sobre sus limitaciones. Además, se presentan los resultados preliminares obtenidos y consideraciones para la planificación del trabajo de campo y organización de datos.

Palabras clave

Sistemas de información geográfica (SIG), Arqueología Funeraria, QGIS, Análisis de datos espaciales, Cartagena de Indias.

Abstract

Geographic Information Systems (GIS) are essential in funeral archaeology for managing and analyzing spatial data. These tools allow the creation of digital maps to visualize the distribution of burials, identify patterns, and perform statistical analysis, optimizing both fieldwork and the interpretation of complex data about ancient societies. This work presents a preliminary implementation of QGIS software in funeral spaces 5 and 6 of the San Francisco project, located in Cartagena de Indias, Colombia. Its goal is to explore the potential of QGIS in funeral archaeology, comparing it with traditional methods, and reflecting on its limitations. Additionally, the preliminary results obtained are presented, along with considerations for fieldwork planning and data organization.

Keywords

Geographic Information Systems (GIS), Funerary archaeology, QGIS, Spatial data analysis, Cartagena de Indias.

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas fundamentales en arqueología funeraria, ya que permiten analizar datos geoespaciales como la ubicación de entierros, la topografía y las características ambiental. Facilitan la creación de mapas digitales, la identificación de patrones espaciales y el análisis estadístico, ayudando a entender cómo las sociedades antiguas interactuaban con su entorno y optimizando tanto el trabajo de campo como la interpretación de datos complejos (CASTRO 2006; KHOUMERI *et al.*, 2006).

Aunque el uso de SIG en arqueología es común en países como Estados Unidos, Reino Unido y Canadá, en Colombia su implementación es reciente, pero en aumento (ACEITUNO BOCANEGRA y URIARTE GONZÁLEZ 2019). Entre las opciones de software, QGIS destaca por ser de código abierto, accesible y flexible, con herramientas avanzadas que lo convierten en una elección ideal para la gestión de datos espaciales.

¹ andreaocampo@correo.ugr.es, <https://orcid.org/0009-0003-1222-7560>

Este estudio aplica QGIS para un análisis preliminar de los contextos funerarios en los espacios 5 y 6 del Claustro de San Francisco, en Getsemaní, Cartagena de Indias, donde se documentaron 28 fosas y 104 conjuntos óseos. Los hallazgos aportan información valiosa sobre la distribución de los entierros y las prácticas funerarias de la Cartagena colonial, reflejando aspectos de su estructura social.

El trabajo compara métodos tradicionales con el uso de SIG, evaluando cómo QGIS facilita la visualización y análisis de variables, además de identificar sus ventajas, limitaciones y aplicaciones prácticas. También ofrece recomendaciones para mejorar la recolección y procesamiento de datos durante las excavaciones. En un contexto como el colombiano, donde el uso de SIG en arqueología está en desarrollo, se resalta su potencial para avanzar hacia análisis más completos. Finalmente, se plantean reflexiones y buenas prácticas para optimizar su implementación en investigaciones futuras.

ESTADO DE LA CUESTIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas esenciales que han transformado la arqueología al permitir el análisis de datos espaciales y descriptivos, facilitando la catalogación de artefactos, patrones de asentamiento y restos culturales. Además, los SIG desarrollan modelos predictivos para proteger sitios arqueológicos, integrando tecnología y enfoques multidisciplinarios para comprender el pasado. Su implementación requiere hardware para digitalizar mapas y presentar resultados, software para gestionar datos y realizar análisis espaciales, y un entorno organizativo adecuado (PATIÑO 1998; VALENZUELA 1992).

La adopción de los SIG en arqueología comenzó en los años 80 en Norteamérica para gestionar recursos culturales y localizar asentamientos, mientras que en Europa se consolidaron en la arqueología espacial y la gestión del patrimonio con obras como el volumen de Hvar. En este trabajo, se detalló de manera clara la aplicación de los SIG en el contexto de la encuesta regional. Aunque muchos de los análisis eran de carácter introductorio, esta obra se ha mantenido como una de las introducciones más influyentes y accesibles al uso de los SIG en arqueología (GAFFNEY y STANCIC 1991). Las herramientas SIG permiten analizar la ubicación de sitios, rutas de movimiento y visibilidad, aunque enfrentan desafíos como la dependencia de datos precisos y la dificultad de integrar variables sociales y culturales (HERZOG 2013; VERHAGEN 2018). Limitaciones como la falta de integración 3D y temporal complican análisis más detallados en excavaciones modernas.

Aplicación de SIG en contextos funerarios

Uno de los campos en donde los SIG han demostrado ser particularmente valiosos es en la arqueología funeraria o arqueología de la muerte. Ejemplos como la necrópolis ibérica de El Cigarralejo en Murcia utilizaron SIG para mapear tumbas, analizar cronologías y revelar jerarquías sociales y diferencias de género en los rituales (QUESADA SANZ *et al.*, 1997). En Córdoba, el proyecto FUNUS y el SIGEAC² centralizaron datos arqueológicos y facilitaron el análisis de cementerios, tumbas y contextos históricos, destacando su valor para la gestión y estudio del patrimonio (VAQUERIZO *et al.*, 2005)

En el cementerio prehistórico de Holešov, República Checa, Šmejda (2004; 2014) utilizó SIG para mapear 430 tumbas, identificar continuidades culturales y analizar la evolución de los ritos funerarios desde la cultura del Vaso Campaniforme hasta la Edad del Bronce Temprano. Este enfoque combinó análisis espaciales y estadísticos para vincular datos mortuorios con aspectos sociales y culturales. De manera similar, Fernández (2016) aplicó

² ArqueoCordoba. (s.f): Sistema de Información Geográfica de Excavaciones Arqueológicas de Córdoba (SIGEAC). Recuperado de <https://acortar.link/N2M3MQ>

SIG para recrear el paisaje medieval en Madrid, explorando la relación entre necrópolis y centros de poder. Estos proyectos demuestran cómo los SIG han transformado el estudio de las prácticas funerarias, facilitando análisis espaciales avanzados y revelando relaciones entre los entierros, el entorno y las estructuras sociales.

Avances y Aplicaciones de SIG en la Arqueología Colombiana

El uso de SIG en la arqueología colombiana ha avanzado notablemente, impulsado por iniciativas como el Atlas Arqueológico del El Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH), que desde 2009 busca georreferenciar y sistematizar sitios arqueológicos del país para preservar el patrimonio cultural. Aunque enfrenta desafíos como la falta de actualización y limitada accesibilidad para realizar análisis avanzados. En respuesta, han surgido iniciativas como el desarrollo de geoportales más accesibles, ejemplificados en el Bloque Cubarral en Meta (CORRALES SANTA 2019)³ y modelos predictivos que han demostrado su eficacia en investigaciones como las de Aceituno Bocanegra y Uriarte González (2019) en el Cauca medio y Buriticá Yaquive (2018)⁴ en Caldas. Con nuevas tecnologías como drones y escaneo láser, y lineamientos del ICANH que incluyen un modelo de datos estandarizado adoptado en 2021, se busca optimizar la gestión arqueológica mediante capas geográficas y metadatos georreferenciados con el sistema CTM 12. Estas herramientas prometen transformar la investigación arqueológica en Colombia, mejorando la precisión, eficiencia y colaboración entre instituciones para la preservación del patrimonio cultural.

Propuestas metodológicas y orientaciones futuras de los SIG

Estas buscan ampliar sus capacidades para responder a las necesidades de la arqueología moderna. Una de las principales propuestas es el desarrollo de SIG tridimensionales (3D-GIS), que permiten analizar datos espaciales y volumétricos con mayor precisión, y los SIG temporales (TGIS), que incorporan la dimensión temporal para estudiar cómo los espacios y su uso cambian a lo largo del tiempo. Además, los SIG orientados a objetos (OO-GIS) ofrecen una representación más dinámica y detallada de los sitios arqueológicos, modelando elementos con atributos complejos y relaciones contextuales (TSCHAN 1999).

Otra orientación destacada es la implementación de una metodología 4D que integre dimensiones espaciales y temporales, superando las limitaciones de los sistemas bidimensionales. Propuestas como las de De Roo *et al.*, (2014) enfatizan la necesidad de diseñar SIG basados en la orientación al usuario, a los datos y al análisis, para garantizar que las herramientas sean funcionales, adaptables y efectivas. Estas innovaciones, junto con tecnologías avanzadas como la fotogrametría digital, prometen revolucionar la arqueología, proporcionando análisis más completos y nuevas perspectivas sobre las interacciones humanas con su entorno a lo largo del tiempo.

METODOLOGÍA

Este proyecto se llevó a cabo gracias a los datos proporcionados por la Fundación Erigae y su equipo de arqueólogos, historiadores y arquitecto, además de la ayuda de los tutores y el profesional SIG. La metodología se estructuró en cuatro fases principales: preparación de los datos, creación del proyecto, preparación del análisis espacial y creación de mapas temáticos.

³ CORRALES SANTA, D. (2019): Herramientas SIG en la web para la visualización de sitios arqueológicos excavados en el Bloque Cubarral, departamento de Meta (Colombia).

⁴ BURITICÁ YAQUIVE, Y. (2018): Diseño metodológico para el diagnóstico de potencial arqueológico mediante Sistemas de Información Geográfica en Colombia.

Preparación de los datos

Inicialmente, se recolectaron los datos de campo proporcionados por la Fundación Erigae, responsables de la etapa de excavaciones. Estos incluyeron fichas de registro de unidades estratigráficas y contextos funerarios, dibujos, fotografías y mapas digitales, dibujos vectorizados e informes de campo. Estos fueron organizados en una base de datos en Excel con información espacial, cultural y bioantropológica. Posteriormente, la información fue exportada a QGIS en formato CSV, integrando coordenadas GPS y variables derivadas de las fichas de campo para su georreferenciación y análisis.

Creación del proyecto

Una vez creado el proyecto, se georreferenciaron en Qgis de los mapas generales del claustro y esquemas específicos de los cortes 5 y 6 (UM1S2C9) bajo la proyección MAGNA-SIRGAS_CTM12, estandarizada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) para el territorio colombiano, las imágenes se alinearon con puntos de control sobre la ortofoto de Google y se guardaron en formato GeoTIFF (Fig. 1). Se empleó una transformación polinomial de primer grado con nueve puntos de control y residuales menores a diez píxeles, ajustando mapas clave como los de cuadrantes, fosas y cortes. La georreferenciación garantiza que los datos espaciales se alineen con coordenadas reales, permitiendo la superposición precisa de imágenes satelitales, planos y archivos vectoriales en el SIG.



Fig. 1. Georreferenciación de mapas y esquemas

En segundo lugar, se importaron los datos y se generaron las capas vectoriales necesarias. Estas capas (Shapefile) permitieron representar unidades de monitoreo, espacios funerarios, cuadrantes y fosas mediante polígonos, mientras que la ubicación de los individuos enterrados se marcó con puntos. Cada elemento incorporó atributos específicos, como ID, área, profundidad, sexo y edad, extraídos de la base de datos. Para garantizar una visualización clara, las capas se ajustaron manualmente, evitando superposiciones y facilitando su interpretación. Se corrigieron geometrías y calcularon áreas, distancias y perímetros, optimizando la precisión del análisis. Además, se aplicó simbología con colores y etiquetas en QGIS para diferenciar elementos y mejorar la claridad de los mapas (Fig. 2 y 3).

Para optimizar la visualización de los individuos, estos fueron importados y vectorizados desde AutoCAD utilizando archivos DWG proporcionados por la Fundación Erigae y el arquitecto del proyecto. Los individuos faltantes se vectorizaron directamente en QGIS, ajustando su escala y posición mediante referencias gráficas de los dibujos originales y puntos del terreno. Las fosas, exportadas previamente como DXF, permitieron ubicar correctamente a cada individuo en AutoCAD. Finalmente, todos los individuos se integraron en una única capa en QGIS con atributos identificativos, asegurando la compatibilidad al guardar los archivos en la versión 2010. Como parte del ejercicio para representar la superposición de los cuerpos dentro de las fosas y sus distintas

profundidades, se digitalizó un individuo como polígono. Sin embargo, surgieron dificultades técnicas, ya que los huesos se fusionaron, distorsionando el modelo final. Para resolver este problema, se optó por trabajar con un Shapefile de tipo línea importado directamente desde AutoCAD.

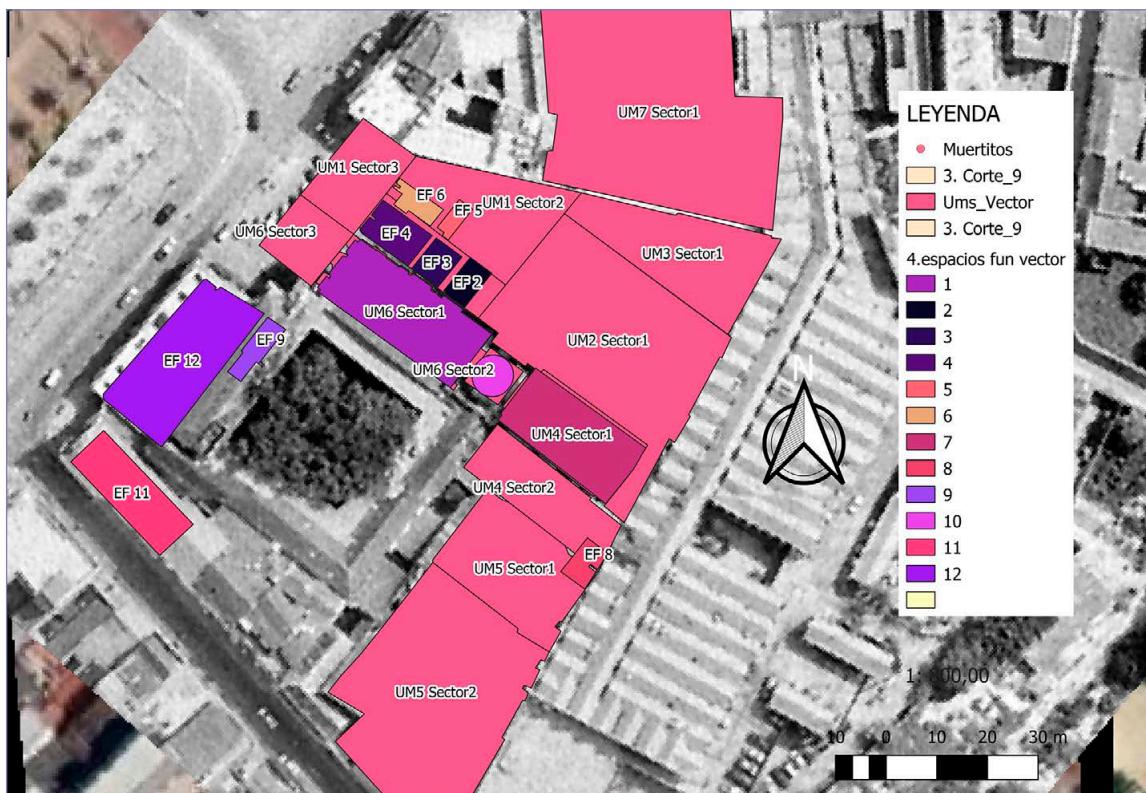


Fig. 2. Georreferenciación del proyecto San Francisco.



Fig. 3. Creación de capas vectoriales en Qgis, detalle de corte 9

Finalmente, se integró la información de la base de datos de Excel a la tabla de atributos en QGIS. Para ello, se crearon campos que vincularon ambos conjuntos de datos, utilizando el campo “Serie” para identificar a cada individuo. El archivo de Excel se guardó en formato CSV para su compatibilidad con QGIS. Luego, se cargó

mediante el administrador de fuentes vectoriales, y se estableció una unión entre la tabla de atributos y la tabla de Excel en la pestaña “Uniones”. QGIS vinculó automáticamente los datos coincidentes entre ambas tablas. Por último, los datos se integraron de manera permanente utilizando la calculadora de campo para actualizar los campos deseados.

Análisis Espacial

Para representar atributos específicos de los individuos, como profundidad de enterramiento, grupo etario, sexo, ajuar funerario y características osteológicas, se crearon capas temáticas cuya simbología fue ajustada para diferenciar las fosas, mediante el uso de diferentes colores y símbolos. (Fig. 4).

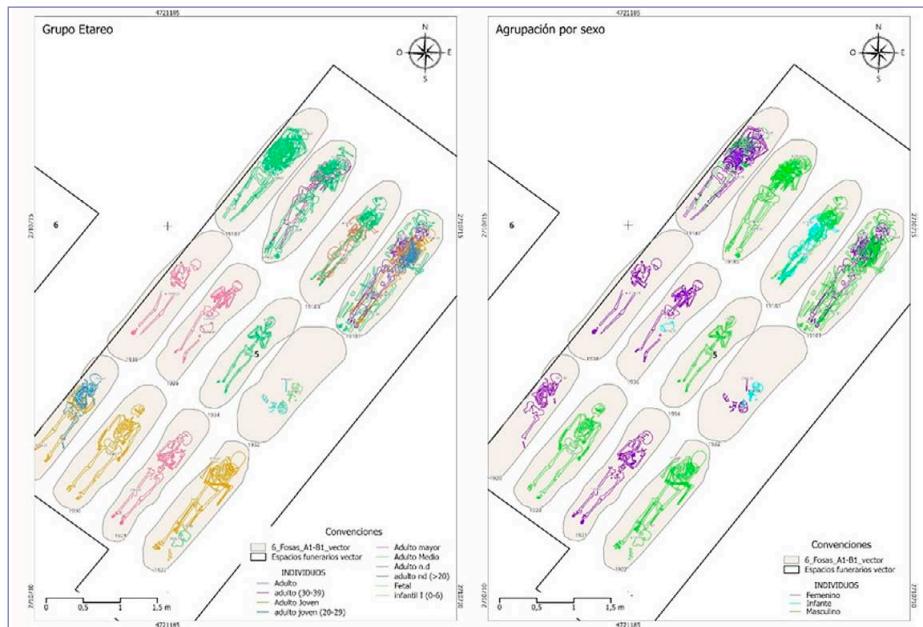


Fig. 4. Visualización de capas temáticas según grupo etario (izquierda) y sexo (derecha).

Una vez asignados los atributos a cada individuo, estos fueron organizados y clasificación mediante la aplicación de filtros para seleccionar subconjuntos específicos de datos. En este paso fue esencial mantener la uniformidad en la escritura de las variables para garantizar una visualización correcta. Para filtrar y visualizar las variables, se utilizó la opción “Categorizado” en QGIS, lo que permitió clasificar y visualizar las categorías de datos, como el sexo, de manera clara en el mapa.

Además, se realizaron análisis combinando variables, como sexo y presencia de ajuar, utilizando la calculadora de expresiones en el software. Esto permitió explorar relaciones entre diferentes atributos, como grupo etario y patologías, para obtener un análisis más completo.

Por otro lado, se realizó un análisis de distribución espacial extrayendo los centroides de los individuos excavados, asignando puntos representativos para los individuos no vectorizados. Usando la herramienta “Mapa de Calor” con un radio de 0,7 metros, se generó un archivo ráster que permitió identificar áreas de mayor densidad funeraria esto se hizo dando clic derecho sobre el ráster, y seleccionando la opción “Pseudocelo Monobanda” y en la “Rampa de Color” se aplicó el esquema de colores que más convenía a la muestra.

Finalmente se realizó un análisis de clústeres también con los centroides de los individuos. Usando los centroides de los individuos, se configuró una distancia de 0,6 metros. Y en la simbología se eligió “Grupo de Puntos”.

Como resultado, se visualizó la cantidad de individuos por fosa, lo que permitió identificar agrupaciones significativas y analizar la distribución espacial de las fosas en función de los atributos estudiados.

Generación de Mapas

Para la fase final del proyecto, se generaron mapas temáticos a partir de las capas más relevantes, configurando su simbología. Se añadieron títulos, leyendas y escalas gráficas a los mapas, ajustando el diseño para asegurar claridad y legibilidad, y finalmente se exportaron en formatos PDF y PNG.

CONTEXTUALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Marco histórico y arqueológico general

Cuando los españoles llegaron al Nuevo Mundo, nombraron la bahía en la isla de Calamarí como Cartagena, resaltando su semejanza con la ciudad española y reflejando la hispanización del territorio (SEGAS 2012). Desde entonces, Cartagena se convirtió en un punto estratégico clave del imperio español, destacando como uno de los principales puertos comerciales y fortalezas militares del período colonial (ASENSIO 1921). En 1550, en la isla de San Francisco, hoy el barrio de Getsemaní. Se construyó el primer convento franciscano, impulsando la expansión urbana hacia las afueras de la ciudad. Durante el siglo XVII, Cartagena vivió su era dorada, creciendo demográficamente y reforzando sus defensas con estructuras como el Baluarte del Reducto (DORTA 1960).

En el siglo XVIII, enfrentó ataques constantes de piratas y filibusteros, lo que llevó a la consolidación de sus fortificaciones y una guarnición de más de 800 hombres (MARCHENA-FERNÁNDEZ, 1982). La independencia, proclamada en 1811, trajo devastación tras el asedio español de 1815, marcando el declive de su importancia estratégica y económica (SEGOVIA-SALAS 2011). En los siglos XX y XXI, Cartagena se modernizó con una economía basada en la industria y el turismo, mientras que su patrimonio histórico, incluido Getsemaní, se adaptó a las demandas contemporáneas.

Arqueología histórica en Cartagena de Indias

Las investigaciones arqueológicas en Cartagena han explorado tanto la era prehispánica como la colonial, combinando documentos escritos y hallazgos materiales. Proyectos destacados incluyen el monitoreo del claustro de Santo Domingo por Díaz Pardo y su equipo (2003)⁵, que reveló un espacio funerario infantil y hallazgos como mayólicas y botijas, reflejando costumbres funerarias y consumo de élite (RIVERA-SANDOVAL 2004)⁶.

Asimismo, Uprimny & Guerrero (2007) excavaron cerca de la plaza de San Agustín, hallando materiales indígenas y europeos de los siglos XVI y XVII que aportaron información sobre urbanización y salud pública. Recientemente, Suescún et al. (2021) investigaron la casa del capitán Matute, encontrando una letrina con restos coloniales y un desaguadero con cerámica indígena y herramientas líticas, indicando un asentamiento prehispánico.

⁵ DÍAZ PARDO, C., RAMÓN, C., y VIDAL ORTEGA, A. (2003): Informe Final de Monitoreo en el Claustro de Santo Domingo de Cartagena de Indias. Grupo de Historia y Arqueología del Caribe Colombiano, Universidad del Norte. Arquidiócesis de Cartagena. Agencia Española para la Cooperación Internacional. Escuela Taller de Cartagena, Barranquilla. (Documento inédito).

⁶ RIVERA-SANDOVAL, J. (2004): Costumbres funerarias en la Cartagena colonial, siglos XVI-XVIII. Estudio en el Claustro de Santo Domingo. Trabajo de grado. Departamento de Antropología, Universidad Nacional de Colombia.

Cartagena sigue ofreciendo un potencial arqueológico único. Si bien los estudios realizados han enriquecido el conocimiento de su herencia cultural, aún quedan muchas oportunidades para futuras investigaciones que contribuyan a comprender y preservar su rico patrimonio.

El claustro de San Francisco

El claustro de San Francisco en Getsemaní (Fig. 5) evolucionó gradualmente desde su construcción inicial en madera y paja, destruida en 1559 por piratas franceses, hasta ser reconstruido en cal y canto durante el siglo XVI, con limitaciones económicas que retrasaron su desarrollo (ARCILA ROBLEDO 1950). A finales de ese siglo, el convento ya contaba con áreas habitacionales, una iglesia de tres naves con columnas de madera, y calles principales trazadas en la isla. En el siglo XVII, se añadieron huertas, aljibes y la capilla de la Veracruz, usada como cementerio militar y escuela, destacándose como una de las edificaciones más hermosas de la ciudad, con vistas a la bahía (BORREGO 1983).

En el siglo XVIII, se construyó la iglesia de la Orden Tercera, que no fue inaugurada hasta 1757, y se cerraron los atrios de las iglesias de San Francisco y la Veracruz. Sin embargo, tras la independencia, el claustro enfrentó un declive económico que culminó con su expropiación en 1868 bajo el gobierno de Tomás Cipriano de Mosquera. Posteriormente, fue subastado y sometido a diversos usos, lo que contribuyó a su deterioro (ALEJOS-GRAU 2002).

Durante el siglo XX, la modernización transformó el claustro y sus alrededores. El Teatro Cartagena reemplazó la antigua capilla de la Veracruz, mientras que otros espacios del claustro se convirtieron en teatros y áreas comerciales, como el centro comercial Getsemaní. En 2000, el claustro y la iglesia de San Francisco fueron declarados bienes de interés cultural, consolidando su relevancia histórica y arquitectónica.

Antecedentes arqueológicos del yacimiento

En el marco del proyecto hotelero San Francisco, se llevaron a cabo investigaciones arqueológicas en un área de 26.000 m² en Getsemaní, dividida en siete unidades de monitoreo (UM). La prospección arqueológica de 2016 evaluó el potencial de las áreas del claustro de San Francisco y Club Cartagena (DEL CAIRO HURTADO 2016)⁷. Tras la aprobación del Instituto Colombiano de Antropología (ICANH), se llevó a cabo la fase de monitoreo y rescate arqueológico entre julio de 2018 y diciembre de 2020 en donde se identificaron 12 espacios funerarios, incluyendo un cementerio infantil con más de 25 entierros y áreas que reflejan la estratificación social post mortem (THERRIEN *et al.*, 2019)⁸. El área del SIG se enfocó en la UM1, sector 2, corte 9, que comprende los espacios funerarios 5 y 6.

El espacio 5 incluyó 12 fosas con 50 conjuntos óseos: 14 femeninos, 26 masculinos y 10 indeterminados, distribuidos en un área de 6.80 m x 4.90 m. Los entierros presentaron posiciones en decúbito supino, extremidades extendidas o flexionadas, y en algunos casos manos atadas, lo que sugiere posibles ejecuciones. El espacio



Fig. 5. Fachada Antigua iglesia de San Francisco, capilla de la Veracruz (Teatro Variedades) y Pasaje Porto Ca. 1900. Fuente: Fototeca Histórica de Cartagena. Ca. 1900 tomado de (Ulloa, 2013).

⁷ DEL CAIRO HURTADO, C. (2016). Prospección arqueológica y plan de manejo arqueológico en los predios del convento de San Francisco, capilla de Veracruz y antiguos teatros barrio Getsemaní, Cartagena de Indias / Carlos Del Cairo Hurtado.

⁸ THERRIEN, M., RIVERA, J., HOYOS, M., & ARRIETA, E. (2019). Informe de Avance 10-11. Plan de Manejo Arqueológico Fase Excavación Complementaria y Monitoreo y Adendo Rescate Bioarqueología. Convento de San Francisco, Capilla de Veracruz y antiguos teatros, Casa Ambrad y Club Cartagena barrio Getsemaní, Cartagena de Indias.

funerario 6, de 7.40 m x 4 m, contenía 16 fosas con 54 unidades funerarias, distribuidas en tres niveles de enterramiento. La mayoría de los cuerpos estaban amortajados sin ataúdes y con escaso ajuar, consistente principalmente en botones de hueso y un rosario.

La muestra incluyó 56 individuos: 18 masculinos, 14 femeninos, 16 indeterminados y 8 indeterminables. La mayoría eran adultos (35) y subadultos (20). La cerámica hallada data de los siglos XVIII y XIX, con piezas de tradición indígena tipo Crespo y europeas como la loza Azul Diluido, reflejando la compleja interacción cultural en Cartagena. La distribución ordenada de las fosas sugiere una planificación previa, destacando el contraste con otros espacios funerarios menos organizados.

RESULTADOS

Este apartado se estructuró en dos partes, en la primera se reflexiona sobre la integración y visualización de los datos, mientras que, la segunda presenta los resultados preliminares del uso de QGIS en el corte 9 del Claustro de San Francisco, incluyendo la integración de datos y la triangulación de variables con mapas temáticos. Aunque se intentó un análisis espacial más profundo, la falta de variables históricas y arqueológicas necesarias limitó el alcance, dejando estos resultados como un punto de partida para futuros estudios.

Respecto a la calidad y consistencia de los datos integrados, se encontraron varios problemas, como dificultades en el procesamiento de variables o la ausencia de información en los atributos, especialmente en individuos que no pasaron por análisis de laboratorio. La mala preservación de los restos dificultó observaciones importantes, como la posible identificación de patologías óseas. También hubo errores en las coordenadas y la duplicación de datos complicaron la localización precisa de los individuos, lo que fue corregido manualmente en QGIS.

El procesamiento de datos fue complejo porque se basó en fichas manuales, lo que demandó mucho tiempo. La falta de una base de datos inicial integrada complicó aún más el trabajo. Además, errores en las coordenadas, como la ausencia de comas o duplicados, provocaron desplazamientos de los individuos a fosas incorrectas, lo que se corrigió manualmente en QGIS, demandando a su vez un esfuerzo adicional.

Se exportaron individuos vectorizados en AutoCAD del Espacio Funerario 6 para demostrar el potencial de QGIS como herramienta visual. Esto permitió analizar la distribución, posiciones de enterramiento, y reutilización de fosas. Sin embargo, no todos los individuos estaban vectorizados, y realizar este proceso en QGIS resultó laborioso, por lo que se optó por trabajar con los centroides de los individuos, ajustándolos manualmente para diferenciar a un individuo de otro dentro de cada fosa, ya que el programa superponía automáticamente los centroides según la ID del individuo, agrupándolos visualmente en un solo punto. Así, se filtraron y representaron con símbolos y/o colores según la triangulación de variables que se deseaba demostrar.

Aunque se lograron avances, la integración de variables arquitectónicas quedó pendiente debido al esfuerzo y tiempo que requería su preparación. Finalmente, se realizaron representaciones visuales con categorías como sexo, grupo etario, patologías y ajuares para responder preguntas sobre la distribución de los individuos y sus características en el espacio funerario.

Patrones de Distribución Espacial y análisis de densidad

En cuanto al análisis espacial, en cuanto a la distribución de las fosas y los cuerpos, El corte 9 muestra una notable uniformidad en la excavación de las fosas de los espacios 5 y 6, estas se distribuyen alineadas longitudinalmente y paralelas entre sí, evidenciando una posible planeación y optimización del espacio desde su

inicio, al igual que la disposición de los cuerpos, los cuales siguen una disposición y orientación homogéneas, alineados con las fosas y no responden a características como el sexo o la edad.

Se realizó un análisis de densidad mediante la aplicación de clústeres en el espacio 5, identificándose una alta concentración de cuerpos en la fosa 1932, que contenía un total de 8 individuos. En contraste, las demás fosas presentaron un máximo de 5 individuos distribuidos en tres niveles de enterramiento (Fig. 6). El análisis de clúster, que agrupa elementos con características similares, permite identificar patrones espaciales y explorar variables como la concentración de individuos con ajuar, los diferentes niveles de preservación relacionados con factores ambientales y la reutilización del espacio. Asimismo, permite analizar la concentración de individuos según sexo, edad o patologías, lo que facilita la detección de patrones específicos.

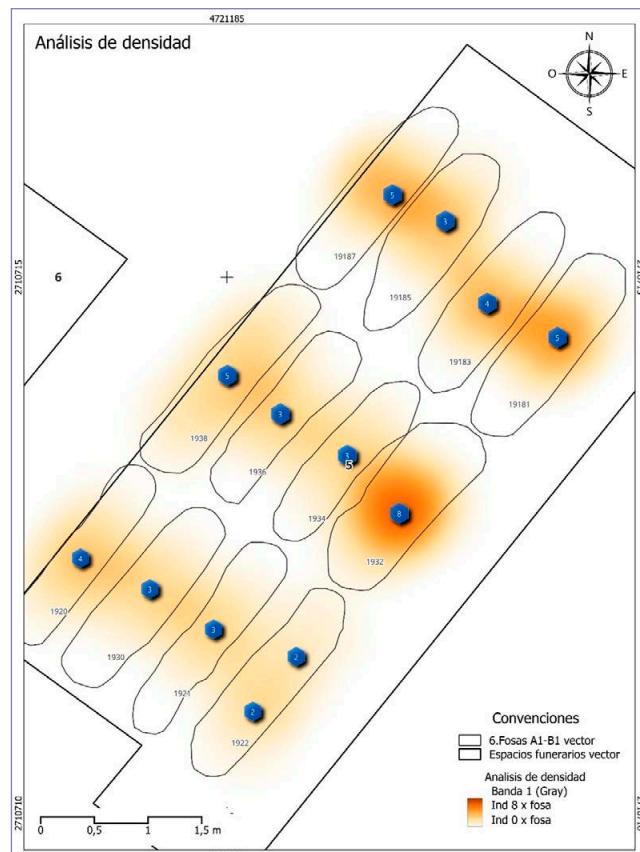


Fig. 6. Análisis clúster en el espacio 5

Triangulación de variables

En primer lugar, se elaboraron mapas de distribución de sexo y edad en el espacio 5 utilizando individuos vectorizados. Esta forma de representación resultó especialmente útil, ya que permitió identificar de manera inmediata aspectos como la cantidad de huesos preservados, la posición corporal y de las extremidades, además de su relación con otros individuos. Sin embargo, al no contar con la totalidad de la muestra vectorizada se trabajó bajo la simbología de puntos y así poder aplicar filtros con las diferentes variables (Fig. 7).

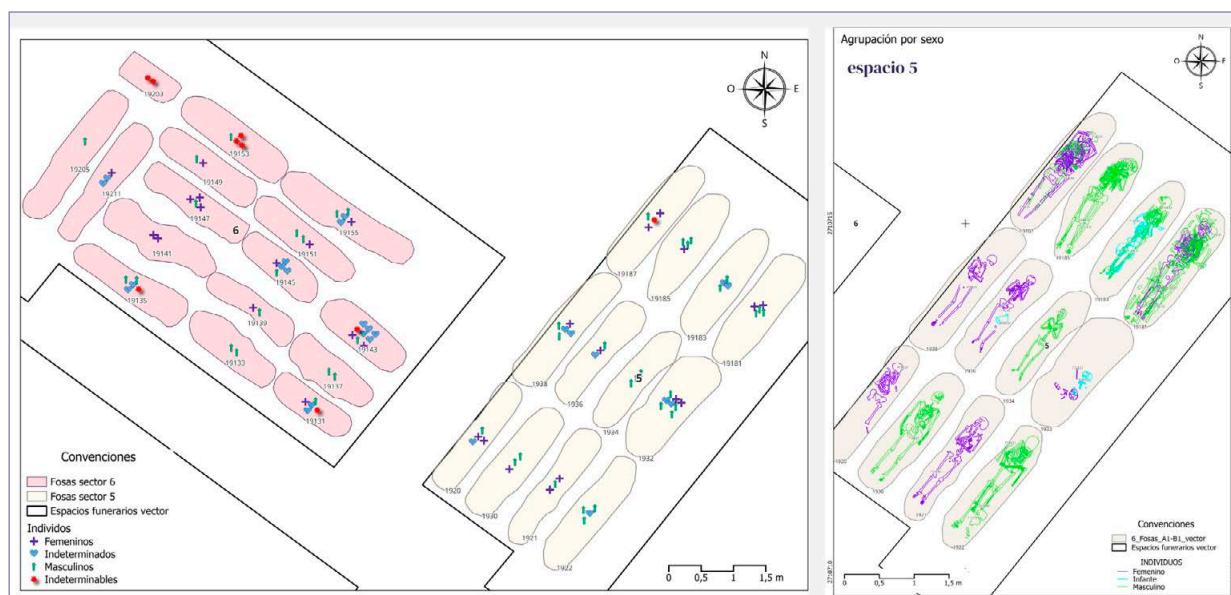


Fig. 7. Distribución de la muestra según el Sexo izq (corte 9, simbología de puntos) der (espacio 5 con individuos vectorizados)

Por otro lado, se generaron mapas temáticos combinando una o dos variables, lo que permitió responder preguntas específicas y plantear nuevas líneas de investigación. Por ejemplo, no se identificó una segregación espacial basada en el sexo, como áreas donde predominan individuos masculinos o femeninos. De forma similar, los grupos etarios no mostraron una disposición particular: los subadultos, que incluyen fetales, infantiles que incluyen tanto fetales, infantiles (0-6 años) y menores de 20 años (0-6 años) y menores de 20 años, compartían fosas con adultos (Fig. 8). Tampoco se observó que los espacios 5 o 6 estuvieran destinados exclusivamente a un grupo etario, aunque se encontraron fosas con solo adultos, sin seguir un patrón claro. Una posible dirección futura sería analizar los niveles de enterramiento para determinar si revelan alguna clasificación.

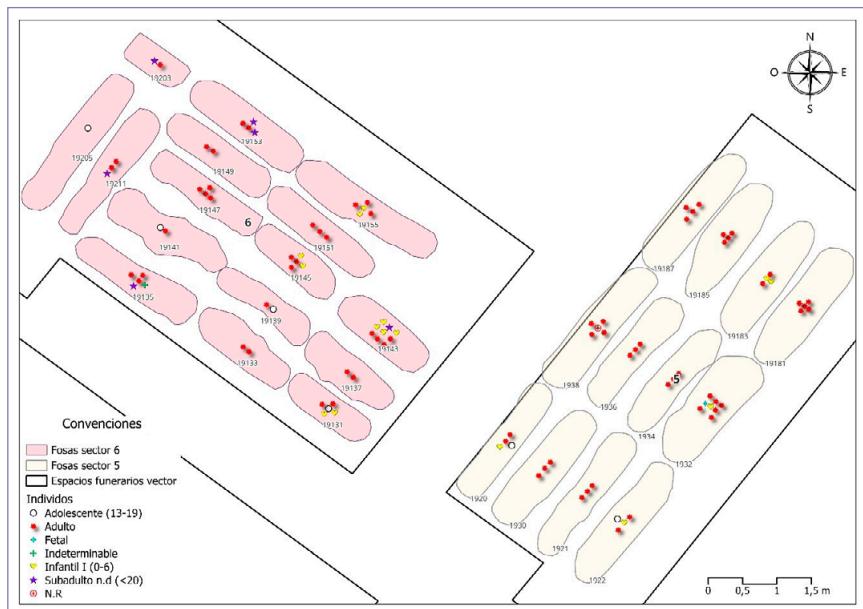


Fig. 8. Distribución de la muestra según la edad.

Asimismo, en cuanto a las patologías, no se identificaron afecciones visibles en la fase de campo entre los subadultos, mientras que en los adultos del espacio 5 se observaron más evidencias de enfermedades respecto al espacio 6. Esto pone de manifiesto la importancia de integrar variables como la preservación ósea y los resultados de laboratorio para evaluar si ciertos espacios están asociados a individuos con patologías específicas. Por último, se detectó una mayor presencia de ajuar en el espacio 5, lo que también podría estar relacionado con cuestiones de preservación. Aunque los hallazgos preliminares sugieren que estas evidencias materiales podrían reflejar diferencias de estatus o clase social, este tema excede el alcance de este análisis inicial y requeriría una exploración más profunda de la evidencia arqueológica.

Finalmente, es importante destacar que los mapas temáticos deben complementarse con análisis estadísticos que respalden las observaciones realizadas. Los datos obtenidos a partir de estos mapas tienen el potencial de revelar patrones significativos, y la integración de la información en un Sistema de Información Geográfica (SIG) ha demostrado ser una herramienta clave para comprender mejor los patrones de enterramiento. Este proceso ha implicado una curva de aprendizaje considerable que sigue en desarrollo.

Los resultados preliminares de este proyecto concluyen en la preparación del camino para un análisis espacial integral del Claustro de San Francisco que implique análisis estadísticos, llevando a un análisis más completo de las prácticas funerarias y las estructuras sociales.

DISCUSIÓN

Eficiencia y efectividad

La implementación de QGIS en el Espacio Funerario 5 del Claustro de San Francisco ha demostrado ser una herramienta efectiva para gestionar y analizar datos arqueológicos de forma precisa y rápida. A diferencia de los métodos tradicionales, QGIS facilita la identificación de patrones espaciales y relaciones entre variables mejorando significativamente la comprensión del sitio (MERICO y SAMMARCO 2014).

Este software libre destaca por integrar datos alfanuméricos y gráficos en una sola plataforma, lo que enriquece el análisis arqueológico y permite visualizar interacciones complejas de manera clara. Además, ofrece beneficios en la divulgación arqueológica mediante mapas personalizados y adaptados a distintos niveles de detalle.

En comparación con los métodos tradicionales, que a menudo dependen de mapas en papel y registros manuales, QGIS ofreció una mayor precisión y rapidez en la gestión de datos. La triangulación de variables como el sexo y la presencia de ajuares, o el grupo etario y las patologías, realizada con la calculadora de expresiones de QGIS, permitió identificar correlaciones significativas que hubieran sido difíciles de detectar manualmente.

Aunque esta aplicación es preliminar, QGIS queda preparado para formular nuevas preguntas y emplear métodos avanzados como filtros espaciales y análisis factoriales, abriendo caminos hacia un estudio más profundo de los aspectos cronológicos y sociales del sitio (ŠMEJDA 2004).

Limitaciones del estudio

La implementación del software enfrentó retos técnicos y metodológicos, el primero de ellos es más un requerimiento, y se trata de la curva de aprendizaje o capacitación del personal, ya que no todos los equipos cuentan con miembros especializados en SIG, lo que limita su uso para análisis profundos. En nuestro caso, la curva de aprendizaje fue significativa, pero con el apoyo del tutor y un especialista en SIG se adquirieron los conocimientos necesarios para alcanzar un nivel básico de análisis, aportando herramientas teóricas y técnicas que enriquecieron el proyecto.

Otra limitación importante fue la falta de integración del SIG desde la recolección inicial de datos, lo que generó inconsistencias en fichas bioantropológicas y coordenadas, corregidas manualmente con esfuerzo adicional. Esto subraya la necesidad de estandarizar datos desde el trabajo de campo, como lo propone el modelo del ICANH, para facilitar análisis más eficientes en el futuro.

QGIS tuvo un buen desempeño, aunque resultó limitado frente a herramientas como AutoCAD para datos vectorizados. Programas como Global Mapper mejoran la compatibilidad de formatos, y softwares como R o SPSS complementan los análisis estadísticos avanzados. Finalmente, para proyectos con grandes volúmenes de datos, es crucial contar con hardware y software adecuados (VERHAGEN 2018). La integración del SIG desde el inicio, junto con capacitación y estandarización de datos, es esencial para optimizar su implementación en arqueología.

Perspectivas y trabajos futuros

El futuro de los SIG en arqueología, especialmente en contextos funerarios, es muy prometedor gracias al avance de tecnologías como drones y escáneres láser. Estas herramientas mejoran la precisión y eficiencia en la recolección y análisis de datos, permitiendo la creación de mapas detallados mediante fotogrametría aérea, algo

inalcanzable con métodos tradicionales (DE ROO *et al.*, 2014). Asimismo, la propuesta de un SIG arqueológico 4D, centrado en el usuario y en la integración de dimensiones temporales y espaciales, promete revolucionar la manera de estudiar y visualizar sitios funerarios, haciéndolo más intuitivo y accesible para los investigadores.

Por otro lado, aplicar SIG en todos los espacios funerarios del Claustro de San Francisco podría permitir triangulaciones complejas entre variables como temporalidad, niveles de enterramiento y ajuar, enriqueciendo el análisis. Además, expandir su uso a otros contextos arqueológicos de Cartagena de Indias facilitaría la validación y comparación de hallazgos, identificando diferencias en prácticas funerarias y condiciones de vida tanto en contextos históricos como prehispánicos.

En términos de divulgación, los SIG son herramientas ideales para crear mapas temáticos personalizados, mejorando la experiencia del usuario al superponer capas de información. Usar software libre como QGIS también reduce costos, haciéndolo accesible para más proyectos. El éxito futuro de estas tecnologías dependerá de su continua adaptación y desarrollo, superando limitaciones actuales y maximizando su potencial en la arqueología.

Decálogo de Buenas Prácticas para la Implementación de QGIS en Arqueología

Como hemos visto a lo largo de estas páginas, la implementación de un SIG exige un enfoque meticuloso desde la planificación hasta la mejora continua. A partir de las reflexiones sobre la implementación práctica del SIG, se han establecido estas buenas prácticas para maximizar su potencial. Estas consideraciones buscan optimizar el uso del SIG, minimizar tiempos adicionales en la gestión de información, corregir errores y elevar la calidad de las investigaciones, permitiendo un análisis más eficiente y profundo (Fig. 9).



Fig. 9. Decálogo de buenas prácticas para la implementación de SIG en Arqueología

1. Planificación Meticulosa del Proyecto

Es fundamental planificar cada etapa del proyecto, definiendo objetivos claros, recursos necesarios y roles del equipo. Una planificación detallada, que abarque desde la recolección de datos hasta la presentación de resultados, asegura que los esfuerzos estén alineados con las metas establecidas.

2. Recolección y Estandarización de Datos

La recolección de datos precisos es esencial para análisis confiables. Utilizar herramientas como GPS de alta precisión y formularios digitales asegura la uniformidad de los registros. La digitalización en plataformas en la nube, como KoBoToolbox, permite recolectar y vincular datos rápidamente, mientras que fichas estandarizadas minimizan errores y facilitan la integración de información visual y espacial.

3. Georreferenciación de Mapas y Esquemas

Asignar coordenadas geográficas a mapas históricos y planos arqueológicos permite una integración precisa de datos en el SIG. Puntos de control bien distribuidos y la verificación de errores son pasos clave para garantizar la alineación de capas y comparar distribuciones espaciales a lo largo del tiempo.

4. Importación y Creación de Capas Vectoriales

Una vez recolectados y estandarizados los datos, se importan al SIG y se organizan en capas vectoriales para gestionar eficientemente información arqueológica, como la ubicación de tumbas, ajuares y características bioantropológicas. Es fundamental diseñar una simbología adecuada que refleje las preguntas de investigación. Es recomendable usar puntos para representar ubicaciones específicas, como tumbas individuales o artefactos; líneas para delinear estructuras lineales, como caminos o límites de áreas excavadas; y polígonos para áreas más grandes, como sectores de excavación o perímetros de entierros colectivos. Cada capa debe ser claramente etiquetada y documentada para facilitar su uso y análisis.

5. Procesamiento y Análisis Espacial

El análisis espacial en QGIS es clave en arqueología para identificar patrones y tendencias en los datos. Este software ofrece herramientas como *Least Cost Path* para modelar rutas de menor costo, útil en el estudio de movilidad; *Visibility Analysis* para evaluar áreas visibles desde puntos estratégicos; y *Hotspot Analysis* para detectar concentraciones de asentamientos. Además, herramientas como PAT - Precision Agriculture Tools permiten analizar el uso del suelo en prácticas agrícolas antiguas.

Para complementar los análisis en QGIS, se sugiere usar R o Python para gráficos avanzados y pruebas estadísticas, lo que amplía las posibilidades en la interpretación de datos. Por ejemplo, triangular variables como sexo y ajuar puede revelar patrones culturales en prácticas funerarias, mientras que el análisis de clúster identifica concentraciones de tumbas y su relación con el paisaje. Estos enfoques integran múltiples perspectivas, enriqueciendo la comprensión de contextos arqueológicos.

6. Visualización de Resultados

Diseñar mapas y gráficos claros mejora la comunicación de los hallazgos. QGIS permite crear visualizaciones efectivas que integran leyendas, escalas y anotaciones. Mapas interactivos pueden ampliar el alcance de los resultados al compartirlos con un público más amplio.

7. Documentación y Revisión del Proceso

Registrar cada paso del proyecto, desde la recolección hasta el análisis, facilita la revisión y replicación. Documentar coordenadas, métodos y decisiones asegura transparencia y permite identificar mejoras en futuras aplicaciones.

8. Capacitación Continua del Equipo

La formación constante en el uso del SIG mantiene al equipo actualizado con herramientas y técnicas avanzadas. Esto garantiza la resolución efectiva de problemas y maximiza el aprovechamiento de las capacidades del software.

9. Evaluación y Mejora Continua

Revisar regularmente los métodos y resultados permite identificar áreas de mejora y ajustar enfoques según sea necesario. Evaluaciones periódicas pueden revelar la necesidad de datos adicionales o nuevas técnicas de análisis.

10. Innovación y Nuevas Tecnologías

Incorporar tecnologías emergentes como drones y escáneres láser complementa el uso del SIG, ofreciendo datos de alta resolución para análisis más precisos. La exploración de enfoques avanzados, como el análisis 4D, abre nuevas posibilidades en la investigación arqueológica.

CONCLUSIONES

La implementación de QGIS en el Espacio Funerario 5 del Claustro de San Francisco demostró ser una herramienta útil para gestionar y visualizar datos arqueológicos, permitiendo identificar patrones y formular nuevas preguntas sobre prácticas funerarias. Aunque los resultados son preliminares, este trabajo sienta las bases para análisis espaciales más detallados y resalta el potencial del SIG en la arqueología.

El uso de SIG mejora la precisión y eficiencia en el análisis de datos al integrar diversas fuentes en una plataforma unificada. Avances tecnológicos como drones y escaneos láser pueden optimizar aún más la captura de información, mientras que un SIG arqueológico 4D centrado en el usuario abre nuevas posibilidades de análisis. El estudio enfrentó limitaciones en la calidad de los datos originales, recolectados sin prever el uso de SIG, lo que exigió procesos manuales para su integración. Esto subraya la necesidad de capacitación y estandarización en la recolección y normalización de datos para facilitar futuros análisis.

Se recomienda aplicar SIG en otros contextos arqueológicos de Cartagena de Indias para validar hallazgos y comparar resultados. Además, el desarrollo de estas tecnologías, combinado con herramientas estadísticas, permitirá superar desafíos actuales y enriquecer investigaciones futuras.

BIBLIOGRAFÍA

ACEITUNO BOCANEGRA, F. J., URIARTE GONZÁLEZ, A. (2019): Conectando un territorio: simulación de rutas de movilidad entre cazadores-recolectores y primeros cultivadores. El caso del Cauca medio (Macizo Volcánico, Colombia). *Trabajos de Prehistoria* 76 (2): 219-235. <https://doi.org/10.3989/tp.2019.12234>

ALEJOS-GRAU, C. J. (2002): Luis Carlos Mantilla, Los franciscanos en Colombia, Tomo III (1700-1830), Departamento de Publicaciones de la Universidad de San Buenaventura, Bogotá 2000, 2 vols., 858-770 pp. *Anuario De Historia De La Iglesia* 11: 543-544. <https://doi.org/10.15581/007.11.23974>

ARCILA ROBLEDO, G. (1950): *Provincia franciscana de Colombia: las cuatro fuentes de su historia*. Bogotá: Editorial Renovación.

ASENSIO, E. (1921): *Memorial de la fundación de la provincia de Santa Fe: del Nuevo Reino de Granada del orden de San Francisco 1550-1585* (Vol. 1). Librería General de Victoriano Suárez.

BORREGO, M. (1983): *Cartagena de Indias en el siglo XVI*. Editorial CSIC-CSIC Press.

CASTRO, P. J. S. (2006): Propuestas metodológicas en informática para la investigación arqueológica funeraria. *Anales de Arquelogía Cordobesa* 47-66.

- DE ROO, B., OOMS, K., BOURGEOIS, J., DE MAEYER, P. (2014): *Bridging Archaeology and GIS: Influencing Factors for a 4D Archaeological GIS*. En Ioannides, M., Magnenat-Thalmann, N., Fink, E., Žarnić, R., Yen, A., y Quak, E. (eds.): *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage. Documentation, Preservation, and Protection. 5th International Conference, EuroMed 2014, Limassol, Cyprus, November 3-8, 2014. Proceedings*: 3-8. Berlín: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-13695-0>.
- DORTA, E. M. (1960): *Puerto y plaza fuerte*. Cartagena de Indias: Alfonso Amadó Editor.
- FERNÁNDEZ, M. C. (2016): Aplicación de los sistemas de información geográfica (SIG) para el estudio del territorio en el suroeste de la Comunidad de Madrid: necrópolis y poblamiento medieval. En *Jóvenes investigadores de la Comunidad de Madrid [Recurso electrónico]*: Actas de las V Jornadas de Investigación del Departamento de Prehistoria y Arqueología de la UAM, celebradas los días 6, 7 y 8 de abril de 2011 en la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Autónoma de Madrid: 439-449. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- GAFFNEY, V., & STANCIC, Z. (1991): *GIS approaches to regional analysis: a case study of the island of Hvar*. Ljubljana: Filozofska fakulteta.
- HERZOG, I. (2013): *Theory and practice of cost functions*. En Contreras, F., Farjas, M., y Melero, F. J. (eds.): *Fusion of cultures. Proceedings of the 38th Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (Granada, España, abril de 2010)*: 375-382. Oxford: Archaeopress.
- KHOUMERI, E. H., SANTUCCI, J. F., IEEE (2006): *GIS in archaeology*. En *2006 First International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area*, Vols. 1 y 2: 390.
- MARCHENA-FERNÁNDEZ, J. (1982): *La institución militar en Cartagena de Indias 1700-1810*. Sevilla: Escuela de Estudios Hispano-Americanos.
- MERICÓ, A., SAMMARCO, M. (2014): Archaeological Landscapes of Southern Apulia: Integration and Interpretation of GIS-Based Data in a Multi-Methodological Research. En CLUE+ (eds.): *Proceedings of the 3rd International Landscape Archaeology Conference, LAC 2014. Rome: Royal Netherlands Institute and Swedish Institute*: 1-8. <https://doi.org/10.5463/lac.2014.45>
- PATIÑO, D. (1998): Sistemas de información geográfica y su aplicación en la Arqueología. *Revista Colombiana de Antropología* 34: 194-205. <https://doi.org/10.22380/2539472X.1334>
- SEGAS, L. (2012): Cartagena de Indias en la obra de Juan de Castellanos: de la fundación a la destrucción de la ciudad. *Aguaita* 24: 28-47. Cartagena: Observatorio del Caribe Colombiano.
- SEGOVIA-SALAS, R. (2011): El sitio de Cartagena por el general Pablo Morillo en 1815. Capítulo 10. En Calvo-Stevenson, H., y Meisel-Roca, A. (eds.): *Cartagena de Indias en la independencia*: 405-467. Bogotá: Banco de la República
- ŠMEJDA, L. (2004): Potential of GIS for analysis of funerary areas: prehistoric cemetery at Holešov, distr. Kroměříž, Czech Republic. En Šmejda, L. y Turek, J. (eds.): *Spatial Analysis of Funerary Areas. Pilsen: University of West Bohemia, Department of Archaeology*.
- ŠMEJDA, L. (2014): *GIS Visualisations of Mortuary Data from Holešov, Czech Republic. Internet Archaeology* 36. <https://doi.org/10.1111/ia.36.4>
- SUESCÚN, F., THERRIEN, M., NIÑO, L. (2021): En búsqueda de la historia de la casa del Capitán Matute, Cartagena de Indias, Colombia. *Urbania* 10: 137-142.
- TSCHAN, A. P. (1999): *An introduction to object-oriented GIS in archaeology*. En Barceló, J.A., Briz, I., y Vila, A. (eds.): *New techniques for old times: CAA98 computer applications and quantitative methods in archaeology*: 303-316. BAR International Series 757.
- UPRIMNY, E., GUERRERO, J. L. (2007): Arqueología vemos, de otras cosas no sabemos. Resultados recientes en arqueología histórica en la ciudad de Cartagena de Indias. *Memorias. Revista Digital de Historia y Arqueología desde el Caribe*, Año 4, Núm. 7, mayo, 2007. Barranquilla: Universidad del Norte. ISSN 1784-8886.

VALENZUELA, C. (1992): *Introduction to Geographic Information Systems*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.

VAQUERIZO, D., GARRIGUET, J. A., y VARGAS, S. (2005): *La Constancia. Una contribución al conocimiento de la topografía y los usos funerarios en la Colonia Patricia de los siglos iniciales del Imperio*. Serie Arqueología Cordobesa 11. Córdoba: Universidad de Córdoba.

VERHAGEN, P. (2018): Spatial Analysis in Archaeology: Moving into New Territories. En Siart, C., Forbriger, M., y Bubenzer, O. (eds.): *Digital Geoarchaeology: New Techniques for Interdisciplinary Human-Environmental Research*: 11-25. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25316-9_2.