CONSEJO DE FACULTAD, FACULTAD DEL MEDIOAMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

DETERMINACION DE LA ORIENTACION CARDINAL DEL TEMPLO DEL SOL MEDIANTE ANALISIS GEOMETRICO Y TOPOGRAFICO

Autor
Annette Nicole Ramírez Parra

Tutor

ING Edilberto Niño Niño

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales Proyecto Curricular
Bogotá, Colombia
Noviembre 2025

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

Contenido

Contenido de Figuras y Tablas 4

1. INTRODUCCIÓN 5

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 6

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 7

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 8

2.2 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA 8
2.2.1. Modelo digital tridimensional 8
2.2.2. Orientación Cardinal 8
2.2.3. Orientación y trayectoria solar 8

3. OBJETIVOS 9

3.1 OBJETIVO GENERAL 9

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 9
3.2.1. Generar modelo digital 9
3.2.2. Análisis solar 9
3.2.3 Orientación y cardinalidad 9

4. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN, SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN 10
4.1. Métodos empíricos 10
4.2. Métodos Hipotético-deductivos 10
4.3 Métodos de modelación 11

5. MARCO DE REFERENCIA 12

5.1 MARCO TEORICO 13
5.1.1. Topografía 13
5.1.2. Arqueoastronomía 13
5.1.3. Equinoccio 13
5.1.4. Alineamiento solar 14

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

6. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO CON EL AVANCE DEL CONOCIMIENTO EN RELACIÓN CON EL PROBLEMA 15

PROPUESTO 15
6.1. Estudios culturales y arqueológicos del Templo del Sol 15
6.2. Exploración geofísica en el Templo del Sol de Sogamoso 15
6.3. Uso de la fotogrametría digital en arqueología 16
6.4. Aplicación de la fotogrametría digital en contextos arqueológicos en Colombia 16

7. ANALISIS Y DISCUSIÓN EN FUNCIÓN DEL PROBLEMA 17

PROPUESTO 17

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 28

Generación y utilidad del modelo 3D 28

Verificación del paso del Sol en el equinoccio 28

Confirmación geométrica de la orientación de las puertas 28

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 29

10. ANEXOS 30

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

Contenido de Figuras y Tablas

Tabla 1....17
Coordenadas de Puntos de Control Fuente Elaboración Propia 17
Figura. 1....18
Puntos de control 1 Fuente: Elaboración Propia....18
Figura. 2....18
Puntos de control 2 Fuente: Elaboración Propia....18
Figura. 3....19
Puntos de control 3 Fuente: Elaboración Propia....19
Figura. 4....20
Calidad usada en agisoft metashape para la creación del modelo Fuente. Edición Propia 20
Figura. 5....21
Modelo completo subido a cloud compare Fuente. Edición Propia 21
Figura. 6....22
Modelo 3d del templo del sol Fuente. Edición Propia 22
Tabla 2....23
Tabla de coordenadas tomada de sun path Fuente. Edición Propia 23
Figura. 7....24
Modelo digital desde sun path Fuente. Edición Propia....24
Tabla 3....25
Datos organizados para el cálculo del templo del sol Fuente. Edición Propia 25
Tabla 4....26
Datos de la ascensión recta y declinación para el 21 de marzo de 2025 Fuente. Edición propia 26
Ecuación 1 26
Ecuación Azimut Solar 26
Tabla 5....27
Calculo del azimut del astro Fuente. Edición propia 27

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

1. INTRODUCCIÓN

La topografía es la ciencia encargada de medir, describir y representar gráficamente la superficie terrestre, y es aplicada en diversos campos del conocimiento. En este contexto, la presente monografía se enmarca en la topografía aplicada, específicamente en el uso de la fotogrametría como técnica para la obtención de información métrica a partir de fotografías, permitiendo la generación de modelos digitales tridimensionales de alta precisión.

La fotogrametría constituye una herramienta fundamental para la documentación, conservación y análisis de sitios arqueológicos y estructuras arquitectónicas, ya que facilita la creación de modelos 3D que contribuyen a la preservación y difusión del patrimonio histórico. Como caso de estudio se selecciona el Templo del Sol de Sogamoso, una estructura de gran relevancia cultural para la civilización muisca, cuya versión actual corresponde a la reconstrucción realizada por Eliécer Silva Celis, fundador del Museo Arqueológico de Sogamoso, a partir de sus investigaciones arqueológicas.

La finalidad de este estudio es analizar la ubicación y orientación del Templo del Sol mediante técnicas topográficas y fotogramétricas, con el fin de evaluar su posible relación con los equinoccios, considerando que la cultura muisca empleaba la observación astronómica como referencia para la organización de actividades agrícolas. Este análisis busca aportar al desarrollo de estudios espaciales apoyados en modelos digitales tridimensionales aplicados al patrimonio cultural.

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El Templo del Sol de Sogamoso es una estructura de alto valor patrimonial para la civilización muisca y ha sido ampliamente reconocido por su importancia histórica y cultural. Diversos estudios y relatos han sugerido que su orientación podría estar relacionada con fenómenos astronómicos, particularmente con los equinoccios, como parte del conocimiento ancestral utilizado para la organización de actividades agrícolas y ceremoniales.

Sin embargo, a pesar de estas interpretaciones, no se cuenta con una verificación técnica basada en mediciones topográficas, datos georreferenciados y análisis geométrico que permita comprobar de manera objetiva la orientación cardinal del templo y su correspondencia con la trayectoria solar durante los equinoccios. La ausencia de este tipo de análisis limita la validación cuantitativa de dichas afirmaciones y dificulta el uso de modelos digitales precisos como soporte para estudios posteriores.

En este contexto, surge la necesidad de aplicar técnicas de topografía y fotogrametría que permitan obtener información espacial confiable, con el fin de analizar la orientación del Templo del Sol de Sogamoso mediante métodos matemáticos y geomáticos, contribuyendo así a una interpretación sustentada en datos medibles y verificables.

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Templo del Sol del Museo Arqueológico de Sogamoso es una estructura de gran relevancia cultural y simbólica para la cosmovisión muisca. Diversos relatos históricos y reconstrucciones culturales afirman que el templo presenta alineaciones asociadas al movimiento solar, especialmente durante el equinoccio, cuando supuestamente los rayos del Sol ingresan por sus puertas. Sin embargo, estas afirmaciones se han sustentado principalmente en interpretaciones tradicionales y observaciones empíricas, sin el respaldo de mediciones técnicas que permitan comprobar su validez.

En la actualidad, el Templo del Sol es reconocido como un bien patrimonial de alto valor cultural y turístico en el departamento de Boyacá, lo que hace necesaria su conservación, documentación y análisis mediante herramientas técnicas que permitan su estudio sin afectar físicamente la estructura. En distintos países, la aplicación de técnicas como la fotogrametría y el escaneo tridimensional ha demostrado ser una estrategia eficaz para la documentación y análisis de estructuras arqueológicas, facilitando su preservación y difusión mediante modelos digitales.

Ante esta situación, surge la necesidad de desarrollar un modelo digital y un análisis geométrico que permitan determinar de manera precisa la orientación solar y cardinal del Templo del Sol. Esto proporcionará una base técnica para evaluar la existencia de alineaciones astronómicas y contribuirá a una interpretación más rigurosa del legado cultural muisca.



CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera la topografía aplicada puede contribuir a la verificación de la orientación espacial del Templo del Sol del Museo Arqueológico de Sogamoso y su posible relación con los equinoccios?

2.2 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1. Modelo digital tridimensional

¿Cómo puede un modelo digital tridimensional, generado a partir de técnicas topográficas y fotogramétricas, permitir el análisis de la orientación espacial del Templo del Sol de Sogamoso?

2.2.2. Orientación Cardinal

¿Cuál es la orientación cardinal de las puertas del Templo del Sol determinada a partir de datos georreferenciados?

2.2.3. Orientación y trayectoria solar

¿Cómo se puede verificar la relación entre la orientación del Templo del Sol y la trayectoria solar durante los equinoccios mediante el cálculo del azimut solar?



CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la contribución de la topografía, mediante técnicas de fotogrametría, al desarrollo de la astronomía cultural, a través de la generación de modelos digitales tridimensionales (3D) que permitan analizar la trayectoria solar durante el equinoccio y comprobar, mediante el cálculo del azimut solar, la relación del Templo del Sol con los puntos cardinales.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.2.1. Generar modelo digital

Generar un modelo digital tridimensional (3D) georreferenciado del Templo del Sol del Museo Arqueológico de Sogamoso, a partir de técnicas de fotogrametría y del procesamiento de datos topográficos previamente adquiridos.

3.2.2. Análisis solar

Analizar, mediante el modelo digital 3D, el paso del Sol a través de las puertas del Templo del Sol durante el equinoccio.

3.2.3 Orientación y cardinalidad

Determinar la orientación y cardinalidad de las puertas del Templo del Sol mediante análisis geométricos y topográficos, a partir del cálculo del azimut solar.



4. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN, SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En esta monografía se emplearán diversos métodos con el fin de cumplir los objetivos planteados. De manera organizada se presentarán los métodos seleccionados y la forma en que fueron desarrollados durante el proceso investigativo. Para ello se recurrirá tanto a métodos empíricos, enfocados en la recolección directa de datos, como a métodos hipotético-deductivos, y a métodos de modelación.

4.1. Métodos empíricos

Tal como lo menciona Eliécer Silva Celis, “las vías inmediatas de acceso al templo se correspondían con los puntos cardinales y eran sagradas, particularmente la oriental y la occidental, pues eran los caminos por donde transitaba el sol en su diario movimiento de este a oeste”***.***

No obstante, no existe un documento que registre con exactitud el ángulo del paso solar ni tampoco un modelo digital que permita comprobar de manera visual y medible dicha alineación. La mayoría de los documentos disponibles describen la importancia simbólica y cultural que esta orientación tenía para los muiscas, basada principalmente en la observación del comportamiento solar. Sin embargo, no se cuentan con datos cuantitativos que permitan verificar esta relación de manera técnica.

4.2. Métodos Hipotético-deductivos

Partir de los métodos empíricos aplicados, se puede deducir que, con base en esta información, se formula la hipótesis de que durante el equinoccio del 20 de marzo el Sol alcanza una alineación que permite su paso directo a través de las puertas del templo. Desde el enfoque hipotético–deductivo, si esta hipótesis es correcta, entonces al introducir el modelo digital en un software capaz de simular la trayectoria solar, los rayos deberán atravesar los volúmenes correspondientes en la fecha señalada. La verificación de este comportamiento lumínico permitirá determinar si la teoría planteada corresponde efectivamente a una incidencia real del fenómeno astronómico.

Con los GCP ubicados en las puertas del Templo del Sol se obtuvieron coordenadas que permitirán



comprobar matemáticamente el azimut solar correspondiente a esos puntos. De igual manera, a partir del ángulo calculado, se podrá deducir si existe alguna relación con los puntos cardinales y con la incidencia del Sol en el lugar.

4.3 Métodos de modelación

Para la modelación se emplea la topografía en su rama de la fotogrametría, mediante la cual se recreó un modelo 3D del Museo Arqueológico de Sogamoso. Este modelo permitirá comprender cómo es la incidencia del Sol en las puertas del Templo del Sol y determinar si dicha incidencia guarda relación con los equinoccios.

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

5. MARCO DE REFERENCIA

La República de Colombia, debido a su posición geográfica como punto de enlace entre América Central y América del Sur, constituye un territorio clave para el estudio de las civilizaciones que habitaron estos espacios en épocas prehispánicas. No obstante, gran parte de este legado ha sido poco investigado desde una perspectiva científica y técnica (Preuss, s. f.).

En las últimas décadas, los estudios multidisciplinarios en arqueo astronomía han mostrado un avance significativo en la comprensión de la relación entre las sociedades antiguas y los fenómenos astronómicos. Estos estudios se fundamentan, en primera instancia, en análisis topográficos que permiten identificar posibles alineamientos entre estructuras arqueológicas y eventos solares, evidenciando la relación entre el ser humano y su entorno natural (Santillana, 2012).

En este contexto, la fotogrametría se ha consolidado como una herramienta eficaz para la documentación, análisis y conservación del patrimonio arqueológico, al permitir la generación de modelos digitales tridimensionales precisos y no invasivos. Su aplicación facilita el estudio detallado de estructuras arquitectónicas antiguas y contribuye a su preservación y divulgación para futuras generaciones

5.1 MARCO TEORICO

5.1.1. Topografía

La topografía permite obtener datos relevantes relacionados con las dimensiones, la orientación y la disposición de los elementos presentes sobre la superficie terrestre. A través de su aplicación, es posible lograr un conocimiento detallado del área de estudio y de las estructuras que la conforman, lo cual contribuye a la adecuada documentación del patrimonio y a la prevención de errores que puedan afectar su conservación (Global - Mediterránea & Geomática, 2023).

5.1.2. Arqueoastronomía

La arqueoastronomía es un campo interdisciplinario que integra la astronomía y la arqueología con el fin de estudiar cómo las civilizaciones antiguas comprendieron, interpretaron y utilizaron los fenómenos celestes dentro de sus contextos culturales, religiosos y arquitectónicos. Esta disciplina analiza diversos sitios arqueológicos alrededor del mundo y, en el contexto de la presente monografía, permite interpretar la posible relación entre el movimiento aparente del Sol durante el equinoccio y la orientación del Templo del Sol de Sogamoso (Archaeoastronomy | Research Starters | EBSCO Research, s. f.).

5.1.3. Equinoccio

El equinoccio corresponde a un evento astronómico asociado a los ciclos del Sol, durante el cual el día y la noche tienen una duración aproximadamente igual. Para las culturas ancestrales, el Sol representaba una guía y un elemento central dentro de su cosmovisión; en el caso de la cultura muisca, era conocido como Xué (Celebración de Equinoccio, s. f.). Durante el equinoccio, el Sol sale exactamente por el este y se oculta por el oeste, lo que permite analizar posibles alineamientos solares en estructuras prehispánicas. En este estudio, se evalúa si las puertas del Templo del Sol presentan una alineación con el sol naciente durante este evento.



CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

5.1.4. Alineamiento solar

El alineamiento solar se refiere a la disposición y orientación de un elemento arquitectónico, como un edificio o monumento arqueológico, en relación con la posición del Sol en el horizonte. Este tipo de alineamiento puede ser analizado mediante herramientas topográficas, las cuales permiten determinar con precisión la orientación de las estructuras y evaluar su posible relación con eventos astronómicos específicos, como los equinoccios.

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

6. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO CON EL AVANCE DEL CONOCIMIENTO EN RELACIÓN CON EL PROBLEMA PROPUESTO

6.1. Estudios culturales y arqueológicos del Templo del Sol

Diversos estudios arqueológicos y culturales han destacado la importancia simbólica y astronómica del Templo del Sol dentro de la cosmovisión muisca. Silva Celis (2005) señala que:

“Las vías inmediatas de acceso del templo se correspondían con los puntos cardinales y eran sagradas, particularmente la oriental y la occidental, pues eran los caminos por donde transitaba el sol en su diario movimiento de este a oeste”.

Esta afirmación evidencia que las culturas prehispánicas poseían un conocimiento empírico del movimiento aparente del Sol y su relación con la orientación del templo. Sin embargo, dichas observaciones se basaron principalmente en la percepción sensorial y en la tradición cultural, sin el respaldo de una comprobación geométrica o matemática precisa que permita validar con exactitud los ángulos de orientación y su correspondencia con eventos astronómicos específicos como los equinoccios.

6.2. Exploración geofísica en el Templo del Sol de Sogamoso

Desde una perspectiva técnica, Serralde Ordóñez (2011) desarrolló una investigación centrada en la exploración geofísica somera del entorno del Templo del Sol, utilizando tomografía electromagnética. El estudio se enfocó en:

“el análisis e interpretación de una tomografía electromagnética obtenida en las inmediaciones del templo del sol en Sogamoso, Boyacá, mediante el sistema de adquisición Profiler EMP 400, comprendiendo un análisis de las propiedades eléctricas, magnéticas y de conductividad eléctrica a tres niveles de profundidad”.

Si bien este trabajo aporta información relevante sobre las características físicas del subsuelo y su relación con el contexto arqueológico, no aborda aspectos relacionados con la orientación cardinal

del templo ni con su posible alineación astronómica durante eventos solares específicos. En consecuencia, pese a la existencia de investigaciones geofísicas y arqueológicas, aún no se dispone de un modelo digital que permita integrar la geometría del templo con parámetros astronómicos como los equinoccios.

6.3. Uso de la fotogrametría digital en arqueología

La fotogrametría digital se ha consolidado como una herramienta fundamental para la documentación y análisis tridimensional en arqueología. Pastor Quiles (2016) destaca que:

“la eficacia de la fotogrametría frente al dibujo tradicional, contrastando el tiempo de ejecución y el valor informativo de cada técnica, lleva a la idea de que la expresión tridimensional de una excavación arqueológica debería tener su correspondencia en una documentación igualmente tridimensional”.

Asimismo, el autor resalta la importancia de la topografía como elemento integrador entre los productos fotogramétricos y las planimetrías arqueológicas. La generación de modelos digitales permite no solo una representación más fiel de las estructuras, sino también su análisis en distintos escenarios, como la simulación de la incidencia solar durante los equinoccios, facilitando la validación de hipótesis teóricas mediante herramientas geomáticas.

6.4. Aplicación de la fotogrametría digital en contextos arqueológicos en Colombia

En el contexto colombiano, Roldán Llano (2019) demuestra la aplicabilidad de la fotogrametría digital terrestre de rango cercano como herramienta de análisis arqueológico en el estudio de un basurero prehispánico en el sitio arqueológico San Pedro, en el departamento de Sucre. Este trabajo evidencia que la fotogrametría se está consolidando en el país como una técnica eficaz para la creación de modelos digitales detallados.

Estos modelos permiten una documentación precisa de los contextos arqueológicos y ofrecen ventajas significativas en términos de análisis, conservación y divulgación del patrimonio, al posibilitar reconstrucciones virtuales, comparaciones temporales e integración con Sistemas de Información Geográfica (SIG). No obstante, aún son escasos los estudios que empleen estos modelos digitales para analizar la relación entre arquitectura prehispánica, orientación topográfica y

fenómenos astronómicos, lo que refuerza la pertinencia del presente proyecto

7. ANALISIS Y DISCUSIÓN EN FUNCIÓN DEL PROBLEMA PROPUESTO

- Los insumos utilizados para el desarrollo del presente estudio consistieron en imágenes aéreas obtenidas mediante vuelos fotogramétricos y un conjunto de coordenadas georreferenciadas del Templo del Sol. Estos datos fueron suministrados por integrantes del semillero de investigación y constituyen la base para el procesamiento y análisis.

Tabla 1

Coordenadas de Puntos de Control Fuente Elaboración Propia

	geográficas wgs 84			GAUSS KRUGER		CTM 12		PLANA CARTESIANA	
DESCRIPCION	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
BASE 1	5°42'34,8191	72°55'26,490	2524,829	1123259,302	1127780,834	2188908,78	5008409,08	1123259,281	1127780,05
PS1	5°42'34,9143	72°55'26,902	2533,237	1123262,203	1127768,142	2188911,71	5008,39641	1123262,208	1127767,36
PS2	5°42'34,6081	72°55'27,011	2533,266	1123252,787	1127764,794	2188902,31	5008393,05	1123252,797	1127764
PS3	5°42'34,7319	72°55'27,353	2533,244	1123256,572	1127754,277	2188906,11	5008382,55	1123256,603	1127753,48
PS4	5°42'35,0393	72°55'27,248	2533,255	1123266,021	1127757,491	2188,91554	5008385,78	1123266,048	1127756,72
ESQ	5°42'35,0472	72°55'26,458	2533,087	1123266,313	1127781,783	2188915,79	5008410,05	1123266,291	1127781,01
ESQ1	5°42'35,1014	72°55'26,493	2533,060	1123267,977	1127780,725	2188917,45	5008408,99	1123267,958	1127,77996
ver	5°42'34,7020	72°55'26,623	2533,053	1123255,698	1127776,729	2188905,19	5008404,98	1123255,684	1127775,94
T	5°42'33,5443	72°55'26,041	2533,734	1123220,165	1127794,711	2188869,66	5008422,87	1123220,108	1127793,85
T1	5°42'33,3237	72°55'25,573	2533,688	1123213,415	1127809,124	2188862,89	5008437,26	1123213,328	1127808,26
T2	5°42'32,9271	72°55'24,735	2533,737	1123201,282	1127834,952	2188850,72	5008463,04	1123201,141	1127834,06
T3	5°42'32,8368	72°55'24,540	2533,792	1123198,518	1127840,966	2188847,95	5008469,04	1123198,364	1127840,07
sum	5°42'37,0977	72°55'30,513	2529,987	1123329,065	1127656,866	2188978,71	5008285,37	1123329,306	1127656,2
flecha	5°42'37,0646	72°55'31,292	2530,725	1123327,998	1127632,897	2188977,69	5008261,42	1123328,287	1127632,22
geored	5°42'35,5625	72°55'28,947	2531,151	1123281,991	1127705,169	2188931,59	5008333,54	1123282,126	1127704,42

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

Figura. 1

Puntos de control 1 Fuente: Elaboración Propia

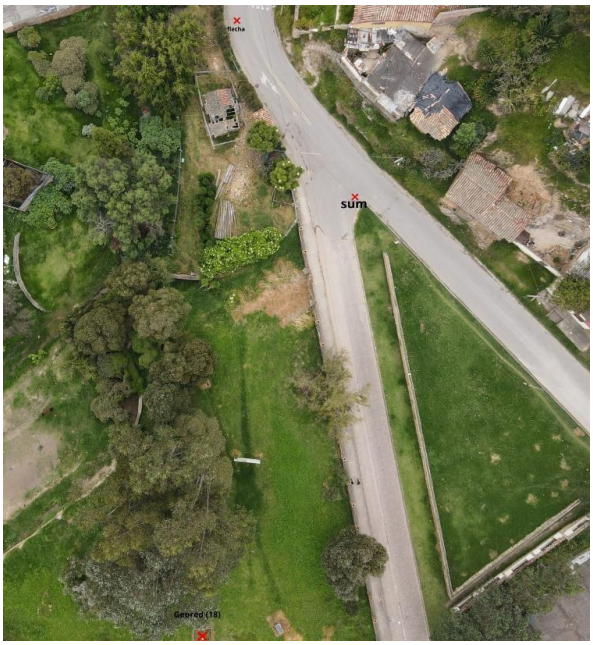


Figura. 2

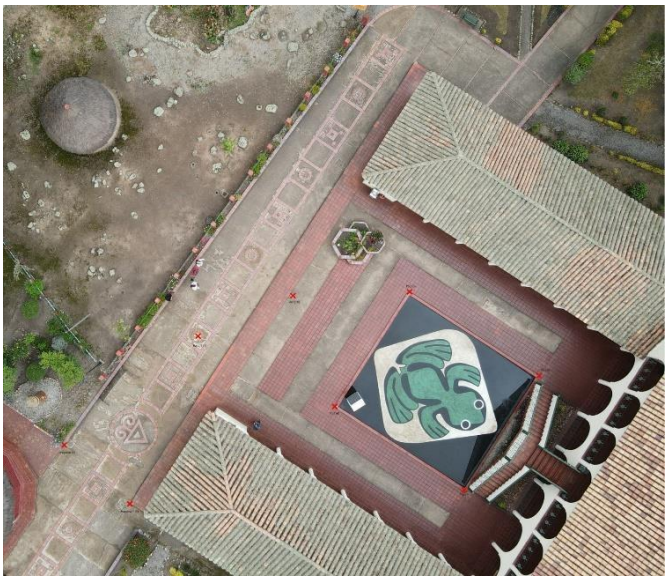
Puntos de control 2 Fuente: Elaboración Propia



CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

Figura. 3

Puntos de control 3 Fuente: Elaboración Propia



- Para la obtención del modelo digital se emplearon quince (15) puntos de control, distribuidos estratégicamente dentro del Museo Arqueológico de Sogamoso. Entre estos puntos se utilizó como referencia una base fija del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), correspondiente al punto denominado GeoRed, lo cual permitió garantizar la adecuada georreferenciación del proyecto.

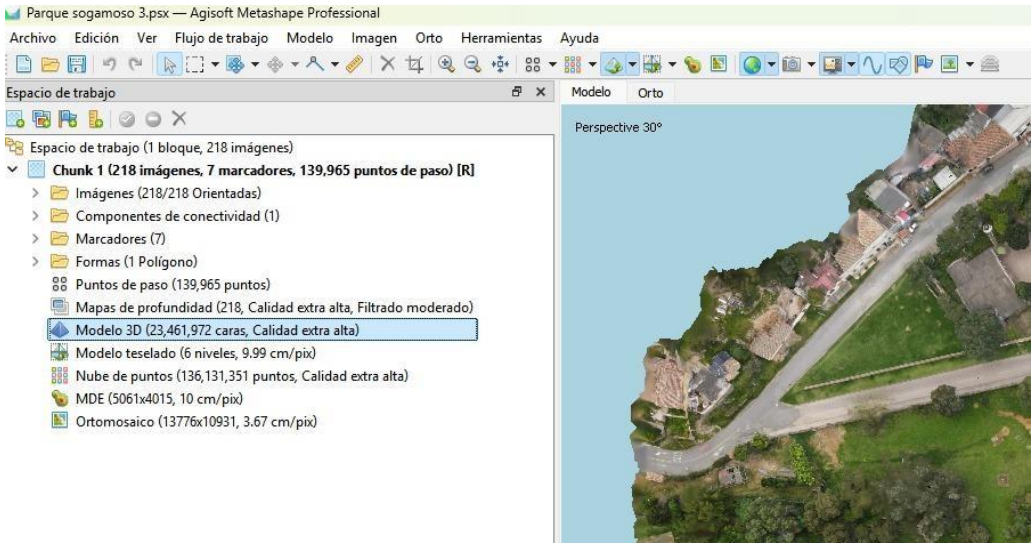
- El uso de esta base oficial contribuyó significativamente a mejorar la precisión y la calidad en el proceso de generación del modelo digital. Asimismo, el proyecto alcanzó una resolución espacial de 9,9 cm por píxel.
- De acuerdo con los lineamientos establecidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi para la generación de modelos digitales 3D, el error máximo permitido corresponde a un RMS de 20 cm. El modelo obtenido cumple con este criterio, presentando un valor de RMS de 18 cm, lo cual se encuentra dentro de los parámetros de precisión exigidos.

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

- A partir de las imágenes suministradas, se realizó el procesamiento fotogramétrico en entorno de oficina, que incluyó la alineación de imágenes, generación de nube de puntos densa, creación de modelos de superficie y construcción del modelo digital tridimensional del Templo del Sol. Este proceso permitió obtener una representación geométrica precisa de la estructura, fundamental para los análisis posteriores de orientación y alineamiento solar.

Figura. 4

Calidad usada en agisoft metashape para la creación del modelo Fuente. Edición Propia



Nota: La imagen muestra la calidad de los datos utilizados en la elaboración de los mapas de profundidad, el modelado TSE y la nube de puntos, elementos que contribuyen directamente a la precisión y consistencia del modelo digital generado.

- El modelo digital recorre todo el Museo Arqueológico de Sogamoso. Este modelo fue creado en alta calidad, lo que permite obtener un nivel de detalle muy elevado. La elaboración de este modelo digital es necesaria para cumplir con el resto de los objetivos de la monografía; sin embargo, también es importante resaltar su valor más allá de este trabajo, ya que estos modelos digitales pueden abrir nuevas posibilidades de investigación sobre el Templo del Sol y su contexto arqueológico.

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

Figura. 5

Modelo completo subido a cloud compare Fuente. Edición Propia



Nota: Este es el modelo digital completo que se obtuvo al trabajar con todas las fotos en agisoft metashape

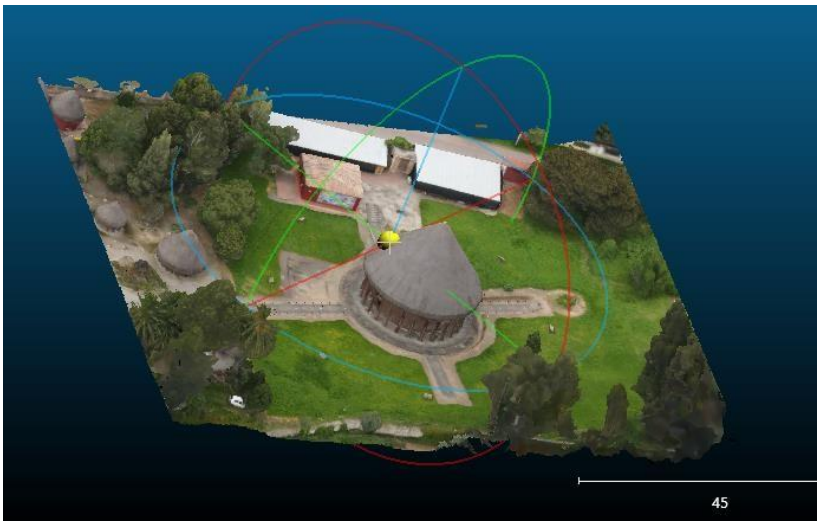
- Posteriormente, el modelo fue importado al software CloudCompare, donde, mediante la herramienta de recorte, se delimitó específicamente el área correspondiente al Templo del Sol. Este procedimiento se realizó con el fin de optimizar la visualización del paso del Sol al cargar el modelo en la aplicación Sun Path, ya que dicho aplicativo no soporta modelos digitales de gran tamaño. Al recortar la zona de interés, se redujo significativamente el peso del archivo, facilitando su manejo y carga en la plataforma.

  Sin embargo, es importante destacar que disponer del modelo digital completo del Museo Arqueológico de Sogamoso resulta fundamental para comprender la topografía del lugar y la cosmovisión muisca asociada al Templo del Sol. Este modelo integral constituye una base valiosa para futuras investigaciones y análisis relacionados con el patrimonio cultural y arqueo astronómico del sitio.

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

Figura. 6

Modelo 3d del templo del sol Fuente. Edición Propia



Nota: En la imagen se muestra el modelo digital ya recortado desde la aplicación CloudCompare, listo para ser cargado en Sun Path

- Para este procedimiento se utilizó el software Sun Path. En este programa se cargó el modelo digital en formato OBJ junto con su archivo MTL, lo que permitió visualizar tanto la geometría como las texturas del modelo. El software también posibilita ingresar la hora, la fecha y la ubicación geográfica del sitio donde fue obtenido el modelo digital

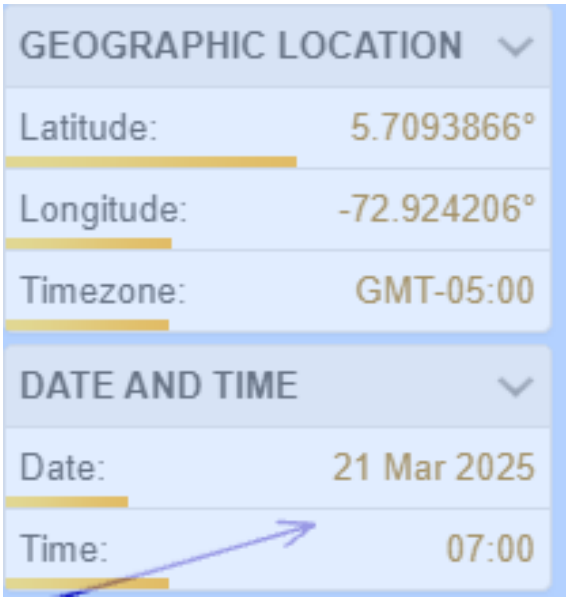
  La fecha seleccionada corresponde al equinoccio, un fenómeno astronómico en el que el Sol se posiciona sobre el ecuador celeste, generando un ángulo de incidencia cercano a los 90° respecto al horizonte. Este momento del año es especialmente relevante porque el rayo solar ingresa de manera casi perpendicular, lo que permite evaluar si atraviesa directamente las puertas del Templo del Sol.

  Para la simulación se eligió como referencia el 21 de mayo de 2025 a las 7:00 a. m., La fecha cercana al equinoccio que facilita analizar la incidencia del Sol y su correspondencia con la orientación del templo

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

Tabla 2

Tabla de coordenadas tomada de sun path Fuente. Edición Propia



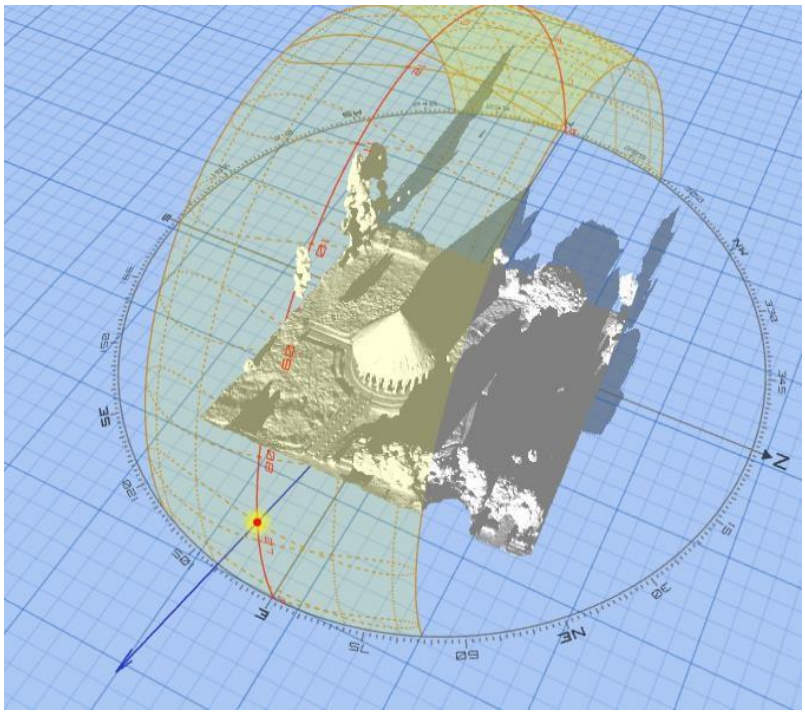
Nota: En la tabla se presenta la localización geográfica del modelo digital, así como la hora y la fecha utilizadas para la representación del mismo

- Al ingresar los parámetros en el software, junto con las coordenadas correspondientes al punto donde se ubica el Templo del Sol, el programa genera un vector de color azul que representa el comportamiento de los rayos solares para la fecha y hora seleccionadas. Una vez cargado el modelo digital, dicho vector permite visualizar la trayectoria del Sol y comprobar si este atraviesa directamente las puertas del Templo del Sol. Además, esta visualización facilita identificar cómo las puertas del templo se encuentran alineadas con los puntos cardinales, ya que al ubicar el modelo dentro del software se aprecia claramente su orientación espacial.

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

Figura. 7

Modelo digital desde sun path Fuente. Edición Propia



Nota: En la siguiente imagen se observa la interfaz de Sun Path, la cual muestra el recorrido del sol de este a oeste, indicando la trayectoria por donde pasa el rayo solar generado por el simulador

- Al cargar el modelo digital en Sun Path, se observa que, con los parámetros establecidos, el vector generado por el software atraviesa la puerta orientada de este a oeste del Templo del Sol, registrando un azimut solar de 91,93 grados. Aunque Sun Path permite aproximarse a las condiciones solares cercanas al equinoccio y visualizar la trayectoria del Sol sobre el modelo, es importante señalar que este aplicativo no cuenta con un nivel de precisión muy alto. Su función principal es la de servir como un simulador que ofrece una representación aproximada del comportamiento solar, más que una herramienta estricta de cálculo científico

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

- Para realizar un cálculo con mayor precisión se empleará la fórmula del azimut solar. Para ello, se organizarán todos los datos necesarios en una hoja de Excel, lo que permitirá estructurar las variables y efectuar el cálculo de manera correcta y detallada.

- Se organizarán los datos correspondientes a la fecha en la que se desea realizar la comprobación; para este caso, se utilizará la misma fecha empleada en Sun Path. También se registrará el huso horario, que para Colombia es UTC-5, así como la hora en la que se quiere calcular el azimut solar, es decir, las 7:00 a. m. A partir de estos datos se calculará el Tiempo Universal (UT), obtenido restando el huso horario a la hora local.

Tabla 3

D*atos organizados para el cálculo del templo del sol Fuente. Edición Propia*

DATOS DE ENTREDA																													
FECHA			Huso horario	Tempo local				Tiempo Universal (TU)				*Latitud del lugar (φ)*								*Longitud del lugar (λ)*									
A	M	D	HH	h	m	s	decimal	h	m	s	deci	°	'	"	N-S	dec.	rad.	seno	cos	°	'	"	E-W	dec.	rad.	seno	cos		
2025	4	21	-5	6	0	0	6,00000	11	0	0,00	11,00000	5	42	33,324	N	5,709257	0,099645	0,099481	0,995040	72	55	25,6	W	-72,923771	-1,272760	-0,955915	0,293644		

Nota: Se incluirán la latitud y la longitud del punto de análisis, utilizando para ello las coordenadas del punto de control empleado en la elaboración del modelo digital 3D. Estos valores permitirán estructurar correctamente la hoja de Excel y efectuar el cálculo preciso del azimut solar

- Para aplicar la fórmula del azimut solar es necesario contar con los valores de ascensión recta y declinación solar correspondientes a la fecha y hora del análisis. Para obtener estos datos se emplean las efemérides solares del día seleccionado, las cuales proporcionan la posición exacta del Sol en la esfera celeste y permiten realizar los cálculo

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

- Estos datos pueden obtenerse a través de internet. Una vez recopilados, se registrarán en la tabla de Excel, con el fin de facilitar el cálculo del azimut solar. Para el 21 de marzo de 2025 a las 7:00 a. m., se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 4

Datos de la ascensión recta y declinación para el 21 de marzo de 2025 Fuente. Edición propia

ascension recta (α)											*Declinacion (δ)*							
h	m	s	dec.	°	'	"	dec.	rad.	seno	cos	°	'	"	N-S	dec.	rad.	seno	cos
0	2	40,41105	0,044559	0	40	6,16575	0,668379	0,011665	0,011665	0,999932	0	17	21,0144	N	0,289171	0,005047	0,005047	0,999987

Nota: Al ingresar los datos en Excel, estos se convertirán a formato decimal y posteriormente a radianes. A partir de estas conversiones se calcularán los valores de seno y coseno necesarios, lo que permitirá aplicar la fórmula del azimut solar de manera más sencilla y organizada

- Una vez que los datos están completamente organizados y convertidos, se procede a aplicar la siguiente fórmula

Ecuación 1

Ecuación Azimut Solar

$$A = \cos^{-1}\left[\frac{sen\delta - sen\varphi\ senh}{\cos\varphi\ \cosh}\right]$$

- El cálculo arroja un azimut de **91,351724°** para la puerta en la fecha y hora del equinoccio. Esto significa que la puerta está orientada **1,351724° al este del orto exacto (90°)**, es decir, muy próxima a una alineación este-oeste, lo que confirma que la puerta orientada hacia el este del Templo del Sol presenta una alineación aproximada a **90°**.

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

Tabla 5

Calculo del azimut del astro Fuente. Edición propia

Azimut del astro (A)				
°	'	"	**azimut-def**	azimut-cal
91	21	6,20609	**91,351724**	91,351724



CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Generación y utilidad del modelo 3D

La elaboración del modelo digital 3D georreferenciado del Museo Arqueológico de Sogamoso, a partir de fotogrametría y datos topográficos, permitió obtener una representación de alta calidad y detalle del entorno, constituyéndose en una base sólida para el desarrollo de los demás objetivos y en una herramienta con potencial para futuras investigaciones arqueológicas y geomáticas sobre el Templo del Sol.

Verificación del paso del Sol en el equinoccio

El recorte del segmento correspondiente al Templo del Sol y su análisis en el software Sun Path demostraron, de manera visual y simulada, que durante el equinoccio del 21 de marzo el Sol presenta una trayectoria que atraviesa las puertas orientadas de este a oeste, confirmando así el planteamiento tradicional sobre la relación del templo con los eventos solares.

Confirmación geométrica de la orientación de las puertas

El cálculo del azimut solar para el 21 de marzo de 2025 a las 07:00 (COT), a partir de la latitud, longitud y datos de efemérides solares procesados en Excel, arrojó un valor de 91,351724°. Este resultado numérico confirma que la puerta oriental del Templo del Sol se encuentra alineada de manera aproximada a los 90°, validando su orientación y cardinalidad mediante un análisis geométrico

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EBSCO. (s. f.). *Archaeoastronomy*. Research Starters. https://www.ebsco.com/research-starters/education/archaeoastronomy
- Global Mediterránea & Geomática. (2023, 10 de julio). *La importancia de la topografía en arqueología*. https://www.globalmediterranea.es/la-importancia-la-topografia-la-arqueologia/
- Pastor Quiles, M. (2016). *Práctica y usos de la fotogrametría digital en arqueología*. https://www.researchgate.net/publication/309366453
- Preuss, K. T. (s. f.). *La importancia de Colombia para la arqueología y la prehistoria de América*. Revista del Colegio Mayor del Rosario, 22(219), 554–560.
- Roldán Llano, J. (2019). *Fotogrametría digital terrestre de rango cercano aplicada como herramienta de análisis en un basurero prehispánico del sitio arqueológico San Pedro, Sucre*. https://repositorio.unicordoba.edu.co/
- Sabiduría Ancestral. (s. f.). *Celebración de equinoccio*. https://sabiduriaancestral.org/noticias/celebracion-de-equinoccio/
- Serralde Ordóñez, J. (2011). *Exploración geofísica somera y análisis electromagnético en el Templo del Sol de Sogamoso, Boyacá*. Universidad Nacional de Colombia.
- Silva Celis, E. (2005). *El Templo del Sol de Sogamoso*. Academia Colombiana de Historia.
- Wikipedia. (s. f.). *Ascensión recta*. https://es.wikipedia.org/wiki/Ascensi%C3%B3n_recta

CONSEJODEFACULTAD
FACULTADDELMEDIOAMBIENTEYRECURSOSNATURALES
ACUERDO No. 001
(08deagostode2024)

10. ANEXOS

En el presente apartado se incluye un código QR que redirige a la plataforma Sketchfab, donde se encuentra alojado el modelo digital tridimensional (3D) del Templo del Sol. Dicho modelo fue utilizado como insumo principal para el desarrollo de la presente monografía, permitiendo la visualización, análisis geométrico y evaluación del alineamiento solar de la estructura.

- Asimismo, se incorpora como anexo la hoja de cálculo utilizada para el cálculo del azimut solar. Este archivo respalda y complementa el proceso metodológico desarrollado en el estudio, permitiendo verificar de manera transparente los datos, conversiones y resultados obtenidos.

DATOS DE ENTREDA

FECHA			Huso horario	Tiempo local				Tiempo Universal (TU)			
A	M	D	HH	h	m	s	decimal	h	m	s	deci
2025	3	21	-5	7	0	0	7,00000	12	0	0,00	12,00000

Latitud del lugar (φ)								Longitud del lugar (λ)							
°	'	"	N-S	dec.	rad.	seno	cos	°	'	"	E-W	dec.	rad.	seno	cos
5	42	33,32	N	5,709257	0,099645	0,099481	0,995040	72	55	25,6	W	-72,923771	-1,272760	-0,955915	0,293644

ascension recta (α)										
h	m	s	dec.	°	'	"	dec.	rad.	seno	cos
0	2	40,4111	0,044559	0	40	6,16575	0,668379	0,011665	0,011665	0,999932

Declinacion (δ)								RESULTADOS FINALES: Azimut del astro (A)				
°	'	"	N-S	dec.	rad.	seno	cos	°	'	"	azimut-def	azimut-cal
0	17	21,0144	N	0,289171	0,005047	0,005047	0,999987	91	21	6,20609	91,351724	91,351724