

# EVIDENCIA DE LA RELACIÓN ENTRE ARQUEOASTRONOMÍA Y GEODESIA SATELITAL EN EL CERRO CATEQUILLA, ECUADOR

*Iván Fernando Palacios Orejuela\**  
*César Alberto Leiva González\**

Recibido el 26 de marzo de 2019; aceptado el 25 de julio de 2019

## **Resumen**

Ecuador, país atravesado por la línea equinoccial, hizo que estudiosos matemáticos y geógrafos posaran su mirada en esta parte del planeta, como ocurrió en el siglo XVIII con la Primera Misión Geodésica Francesa. Sin embargo, mucho antes de este hito científico, los pueblos preincaicos ya poseían un entendimiento de su lugar en el espacio mediante la observación de cuerpos celestes, que formaban parte importante para su cosmovisión cultural. El Cerro Catequilla es un sitio arqueológico atribuido a la cultura Quitu-Caranqui que se encuentra construido en la Latitud cero. A pesar de esta particularidad, no se ha estudiado a profundidad el vínculo arqueoastronómico del lugar con técnicas geodésicas actuales. El objetivo del trabajo fue determinar si existe algún enlace entre la arqueoastronomía con la geodesia satelital, a través de técnicas de posicionamiento por satélite del Cerro Catequilla respecto a la línea ecuatorial convencionalmente establecida, y así demostrar el conocimiento geográfico ancestral de las culturas andinas del país. Mediante los métodos estático

\* Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Ecuador, correos electrónicos: ifpalacios@espe.edu.ec; caleiva@espe.edu.ec

diferencial y RTK se determinaron puntos con coordenadas precisas, cuyo levantamiento fue enlazado a la Red Geodésica Nacional del IGM (REGME). Se realizó un vuelo fotogramétrico del cual se obtuvo la ortofotografía, DEM, DSM. Con la ortofotografía obtenida, se trazó la dirección de la línea ecuatorial, y además se determinó el ángulo de la eclíptica al cual las ruinas estaban orientadas, cuyo valor fue  $23.49^\circ$ , lo que comprobó la correspondencia arqueoastronómica de Catequilla para la observación de la bóveda celeste.

Palabras clave: *bóveda celeste, Cerro Catequilla, eclíptica, línea ecuatorial, posicionamiento satelital.*

## **Abstract**

### *Evidence of the relationship between archeoastronomy and satellite geodesy in Cerro Catequilla, Ecuador*

Ecuador, a country crossed by the equinoctial line, made mathematician scholars and geographers set their sights on this part of the planet, as happened in the eighteenth century with the First French Geodetic Mission. However, long before this scientific milestone, the pre-Inca peoples already had an understanding of their place in space by observing celestial bodies, which formed an important part of their cultural worldview. Cerro Catequilla is an archaeological site attributed to the Quito-Caranqui culture that is built on zero Latitude. Despite this particularity, the archaeoastronomic link of the place with current geodesic techniques has not been studied in depth. The objective of the work was to determine if there is any link between the archaeoastronomy with satellite geodesy, through satellite positioning techniques of the Cerro Catequilla with respect to the conventionally established equatorial line, and thus demonstrate the ancestral geographical knowledge of the Andean cultures from the country. Differential static and RTK methods were used to determine points with precise coordinates, whose survey was linked to the National Geodetic Network of the IGM (REGME). A photogrammetric flight was carried out, from which the orthophotography, DEM, DSM was obtained. With the obtained orthophotography, the direction of the equatorial line was drawn, and in addition the angle of the ecliptic to which the ruins were oriented was determined, whose value was  $23.49^\circ$ , which proved the archaeoastronomic correspondence of Catequilla for the observation of the arch of heaven.

Mots-clés: *arch of heaven, Cerro Catequilla, ecliptic, equatorial line, satellite positioning.*

## Résumé

### *Preuve de la relation entre l'archéoastronomie et la géodésie par satellite à Cerro Catequilla, Équateur*

L'Équateur, pays traversé par la ligne équinoxiale, oblige les érudits en mathématiques et les géographes à poser leur regard sur cette partie de la planète, comme ce fut le cas au XVIII<sup>e</sup> siècle avec la Première mission géodésique française. Cependant, bien avant cette étape scientifique, les peuples pré-incas avaient déjà compris leur place dans l'espace en observant les corps célestes, qui constituaient une partie importante de leur vision du monde culturel. Cerro Catequilla est un site archéologique attribué à la culture Quitu-Caranqui qui est construit sur une latitude zéro. Malgré cette particularité, le lien archéoastronomique du lieu avec les techniques géodésiques actuelles n'a pas été étudié en profondeur. L'objectif du travail était de déterminer s'il existait un lien entre l'archéoastronomie et la géodésie par satellite, grâce aux techniques de positionnement par satellite de Cerro Catequilla par rapport à la ligne équatoriale établie de manière conventionnelle, et de démontrer ainsi la connaissance géographique ancestrale des cultures andines du pays. Des méthodes statiques différentielles et RTK ont été utilisées pour déterminer des points avec des coordonnées précises, dont le levé était lié au réseau géodésique national de l'IGM (REGME). Un vol photogrammétrique a été réalisé, à partir duquel l'orthophotographie DEM / DSM a été obtenue. Avec l'orthophotographie obtenue, la direction de la ligne équatoriale a été tracée, ainsi que l'angle de l'écliptique sur lequel les ruines ont été orientées, d'une valeur de 23,49 °, ce qui a prouvé la correspondance archéoastronomique de Catequilla pour l'observation de la voûte céleste.

Key words: *voûte céleste, Cerro Catequilla, écliptique, ligne équatoriale, positionnement par satellite.*

## Resumo

### *Evidências da relação entre arqueoastronomia e geodésia via satélite no Cerro Catequilla, Equador*

l Equador, um país atravessado pelo equador, feitas estudiosos matemáticos e geógrafos irá colocar os olhos sobre esta parte do planeta, como aconteceu no século XVIII com a Missão Geodésica Primeira francês. No entanto, muito antes de este marco científico, os povos pré-incas já tinha uma compreensão do seu lugar no espaço, observando corpos celestes, que eram uma parte importante da sua visão de mundo cultural. Cerro Catequilla é um sítio arqueológico atribuído à cultura Quitu-Caranqui, construída em latitude zero. Apesar dessa particularidade, o elo arqueoastronômico do lugar com as atuais técnicas geodésicas não foi estudado em profundidade. O objetivo foi determinar se

qualquer ligação entre archaeoastronomy com geodésia satélite, através do posicionamento técnicas satélite Cerro Catequilla relação ao equador convencionalmente estabelecida, e demonstrar conhecimento geográfico ancestral do país culturas andinas. Os métodos diferencial estático e RTK foram utilizados para determinar pontos com coordenadas precisas, cujo levantamento foi vinculado à Rede Geodésica Nacional do IGM (REGME). Foi realizado um voo fotogramétrico, do qual foi obtida a ortofotografia, DEM, DSM. Com orthophoto obtido, a direção do equador foi tirado e também o ângulo da elíptica que ruínas foram orientados determinado, o valor era 23,49°, o que confirmou a correspondência archaeoastronomical Catequilla para cúpula observação celestial.

Palavras-chave: *Abóbada celeste, Cerro Catequilla, eclíptica, linha equatorial, posicionamento por satélite.*

## Introducción

Ecuador, a nivel mundial es conocido por su ubicación privilegiada en la mitad del mundo, lo cual llamó la atención de científicos que desde los tiempos de la colonia fijaron su interés en el país para estudiar tanto la forma de la Tierra, su achatamiento y definir la trayectoria de la línea equinoccial. El hito científico más nombrado fue el que sucedió en el siglo XVIII con la Primera Misión Geodésica Francesa, en la que participaron varios eruditos en matemáticas y geografía, entre los que se encontraba el riobambeño Pedro Vicente Maldonado, para establecer si el planeta era achatado en el Ecuador o en los polos.

Sin embargo, varios siglos atrás de dicho acontecimiento científico, existieron pueblos aborígenes que se asentaron en esta región y dejaron su huella a través de varios sitios arqueológicos ubicados en lo que hoy convencionalmente se conoce como la línea ecuatorial. Esto hace inferir que estas culturas poseían un entendimiento de su lugar en el espacio, lo cual se vio reflejado en el conocimiento de los cambios de estaciones gracias al seguimiento de cuerpos celestes que formaban parte de su ideología y cosmovisión (Cobo, 2012). La orografía de la serranía ecuatoriana, sumado a la altitud de sus cumbres, la diferencia respecto al resto de cadenas montañosas en el mundo ya que son las únicas que se posicionan perpendicularmente a la línea ecuatorial, lo cual fue considerado por los antiguos pobladores andinos para la observación de la bóveda celeste (Cobo, 2017). El ejemplo más claro de esto, es el Cerro Catequilla el cual se ubica precisamente sobre la Latitud cero, en la mitad de los dos horizontes andinos, por lo que se convirtió en un punto estratégico para observaciones astronómicas (Cobo, 2004). Existen varias teorías sobre este sitio

arqueológico, ya que a más de estar posicionado sobre la línea equinoccial, se han encontrado “discos líticos” cuya funcionalidad ha sido estudiada por varios autores (Almeida, 1993; Almeida, 1994; Almeida y Jara, 1984; Andrade, 1954; Echeverría, 2013; Fresco, 2010; Yurevich, 1994).

La hipótesis más aceptada y que se abordó en este estudio, es que Catequilla fue un sitio dedicado a observaciones astronómicas, relacionado con los solsticios y equinoccios que sirvieron de guía para actividades agrícolas y veneraciones religiosas, especialmente, al dios Sol Inti, según la cosmovisión andina preinca e inca (Bauer y Dearborn, 1998; Espinosa, 1997; Kauffmann, 1977; Lumbreras, 1990 y Zuidema, 1995). La arqueología es la ciencia encargada del estudio del hombre antiguo a través de sus restos (Rodríguez, 2017), y una rama de esta ciencia es la arqueoastronomía, la cual se encarga de estudiar e interpretar cómo las poblaciones antiguas comprendían los cuerpos celestes, de qué forma los usaban y qué representaba para ellos en su cultura (Cerdeño y Rodríguez, 2009; Cerdeño *et al.*, 2006; Rodas, 2012).

Gracias al saber ancestral de las culturas andinas, y en el caso concreto de Catequilla, se puede decir que Ecuador conserva un pasado arqueoastronómico, el cual es posible interpretar desde el punto de vista geográfico, específicamente con la geodesia satelital. La geodesia es una geociencia que estudia a la Tierra como un sistema dinámico complejo, y se ocupa: del monitoreo de la Tierra líquida y sólida, variaciones de la gravedad terrestre, define las órbitas para los satélites científicos, y determina posiciones y cambios en el tiempo mediante puntos sobre la superficie del planeta (IAG, 2012). Se denomina geodesia satelital, a la rama de la geodesia, que por medio de diversas técnicas de observación permite la resolución de los problemas geodésicos a través de mediciones precisas realizadas con satélites artificiales que rodean a la Tierra, para identificar, entre otras cosas, la ubicación de un objeto en el espacio (Seeber, 2003).

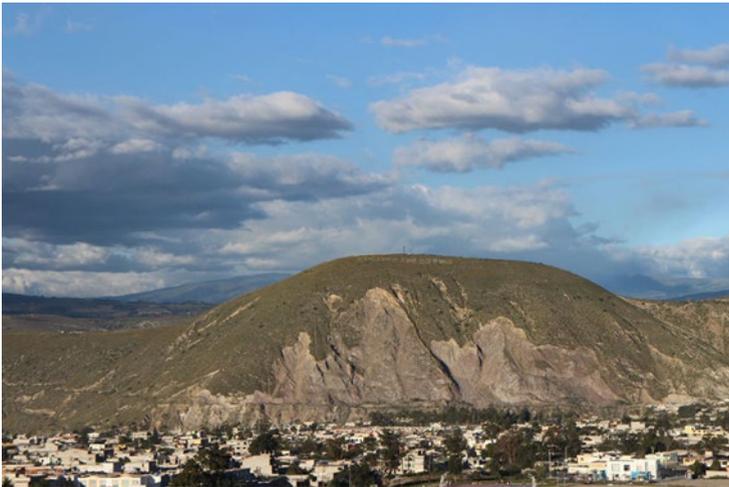
El objetivo del presente trabajo es relacionar la arqueoastronomía de las culturas andinas del Ecuador con la geodesia satelital, en el Cerro Catequilla como caso de estudio, a través de técnicas de posicionamiento satelital, para establecer la precisión con la que fue ubicado el sitio arqueológico, respecto de la Latitud cero convencional de la actualidad y así demostrar que ya existía un conocimiento geográfico de los pueblos aborígenes del país.

## **Lugar de estudio**

El sitio arqueológico, se encuentra en la parroquia de San Antonio de Pichincha, al nororiente de la capital de los ecuatorianos, Quito. Antiguamente esta zona era conocida como Lulumbamba, cuya topografía comprende una meseta casi regular en la que sobresale el cerro de Catequilla. El sitio limita al este con la

hacienda Vindobona y con el río Guayllabamba; al sur está conectada con una pequeña cadena montañosa llamada Jarata y Pacpo; hacia el norte sigue una prolongación montañosa nombrada La Providencia, y al oeste limita con el pueblo de San Antonio. La topografía del cerro, presenta una pendiente pronunciada hacia las laderas (60% al 75%), mientras que en la cima su inclinación es del 5% al 15% (Manosalvas, 2016).

En términos geológicos, Catequilla es un domo fracturado (véase Figura 1). La cima se encuentra a una altura de 2 638 msnm según el vértice geodésico de la Carta Topográfica (1:25 000) ÑII-F3c de Puéllaro del Instituto Geográfico Militar (IGM) del año 1989. Cuenta con una planicie aproximada de 3 ha en la que el sitio arqueológico ocupa 1 ha (Cobo, 2017).



**Figura 1.** Vista panorámica del Cerro Catequilla.

## **Descripción del sitio arqueológico**

El Cerro Catequilla, al ser reconocido como sitio arqueológico, posee un código inventariado del Instituto Nacional del Patrimonio Cultural, dicha codificación es Z2F3-047 (Camino, 2004). Las ruinas arqueológicas se conforman de una pared semicircular en el centro del sitio, que se encuentra a cierta inclinación de la línea ecuatorial, y hacia el costado noreste se localiza una plataforma en forma de círculo hecha de rocas, conocida como “disco lítico”, en el que se aprecian tres líneas de piedras, una radial y dos diametralmente (Figura 2) (Cobo, 2017).



**Figura 2.** Disco lítico de Catequilla.

El término Catequilla se le atribuye un significado etimológico que se traduce como “el que sigue a la Luna” (Andrade, 1954). La primera prospección arqueológica fue realizada por Antonio Fresco en el año de 1985, quien adjudicó su ocupación a la cultura Inca con una utilidad militar (pucará). En la década de los noventa, se hicieron mayores investigaciones como las de Almeida (1993), Yurevich (1994) y Villalba (1996), quienes cambiaron la connotación de su funcionalidad, a la de un bohío ceremonial dedicado a la observación de cielo, lo que según Topic (1999), sería un observatorio astronómico. No fue hasta el año de 1998 cuando se realizó una prospección y excavación más detallada a cargo del arqueólogo Oswaldo Tobar, quien encontró fragmentos de cerámica que corresponderían a la filiación cultural Quitu-Caranqui (1200 a.c. a 500 a.c.), es decir, que estas ruinas fueron construidas mucho antes de la llegada de los incas.

En el trabajo de Cobo (2017), se mencionan un total de 14 discos líticos ubicados en dirección de la línea ecuatorial, y alineados al Cerro Catequilla, lo que destaca la importancia de este sitio arqueológico para la observación de la bóveda celeste, ya que desde el lugar es posible divisar tanto la bóveda boreal como la bóveda austral (Cobo, 2012). Esto se confirma en las excavaciones llevadas a cabo por Echeverría (2013), quien al igual que Cobo, señala la presencia de estos discos líticos en varias zonas cercanas a Catequilla, como

Purgapamba, Rumicucho, Tanlahua alta y baja, Pucará La Marca, Quebrada Shaygua, entre otros más.

## **Metodología**

### *Relación con la geodesia satelital*

El primer posicionamiento llevado a cabo en el sitio fue en el año 1997, con el uso de un GPS navegador Garmin SLX cuyas coordenadas fueron  $0^{\circ} 0' 0''$  y  $78^{\circ} 25' 43.3''$ , las mismas que se obtuvieron para el trabajo realizado por Cobo y presentado en sus publicaciones de 2012 y 2017. Además, en el centro del sitio arqueológico se encuentra un mojón colocado por el IGM, pero lastimosamente no cuenta con su respectiva placa de control, por lo que el registro del posicionamiento realizado ya no existe, aunque se asume que fue en el año de 1989, ya que es la única fecha oficial con la que se cuenta.

Ante esta premisa, se puede mencionar dos cosas importantes: la primera, es que la funcionalidad del sitio arqueológico, si bien se ha estudiado su relación astronómica, todavía no se sabe a ciencia cierta cuál fue su propósito, aunque es casi innegable su relación y función arqueoastronómica; y segundo, no se ha llevado a cabo un posicionamiento geodésico de alta precisión en el lugar, lo que justifica y realza la importancia de esta investigación.

### *Posicionamiento geodésico satelital*

Con el fin de determinar la posición precisa a la que se encuentra la línea equinoccial en el Cerro Catequilla, se utilizaron dos antenas GNSS doble frecuencia (L1/L2), marca Topcon HiPer V (Topcon, 2017), una sirvió como base y la otra como móvil. Con la antena base se realizó un posicionamiento geodésico con el método estático diferencial en el centro del sitio arqueológico sobre el mojón del IGM (véase Figura 3), a través de una sesión de 2 horas con intervalo de grabación cada 1 segundo; con este método se garantiza precisiones relativas de  $5\text{mm} + 1\text{ppm}$  en horizontal y  $10\text{mm} + 2\text{ppm}$  en vertical (Seeber, 2003).

Por su parte con el móvil se aplicó el método relativo de fase RTK (Real Time Kinematic) con intervalo de recepción de señal de 1 segundo, con el cual se ubicaron 14 puntos distribuidos en la zona de estudio (Figura 4), con una precisión relativa  $2\text{cm} + 2\text{ppm}$  (Seeber, 2003). Estos puntos sirvieron tanto como puntos de control terrestres (GCP) para el vuelo fotogramétrico, así como en definir la dirección real a la que se encuentra la línea ecuatorial.

El posprocesamiento de los datos del punto base, se realizó en el software Trimble Business Center (TBC) versión 3.90 a partir de la estación de monitoreo continuo EPEC, localizada en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, la



Figura 3. Antena base para el levantamiento geodésico.

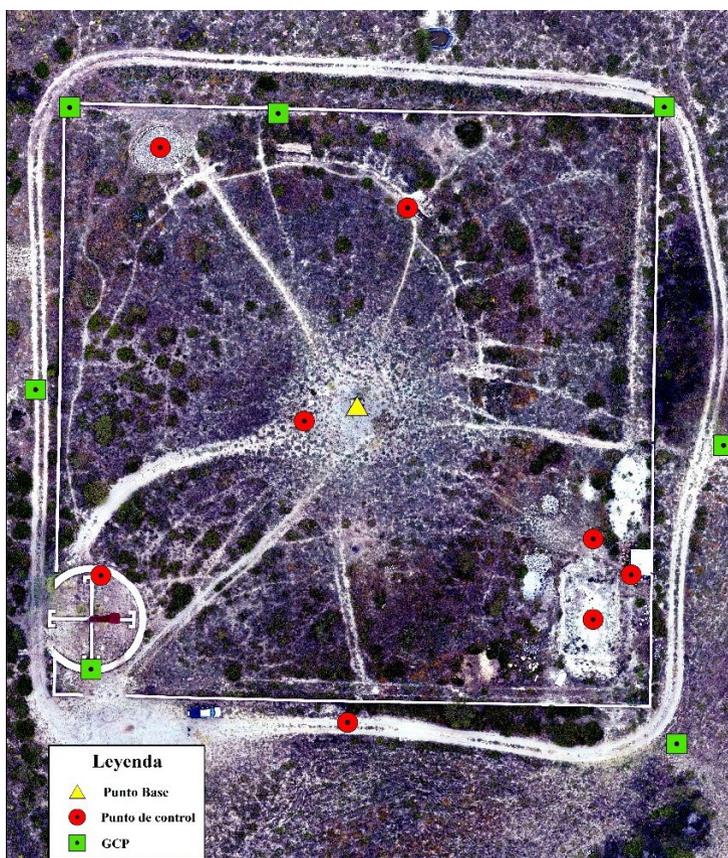


Figura 4. Distribución de los puntos del levantamiento geodésico.

misma que es parte de la Red Geodésica Nacional del IGM (REGME), determinada en el datum SIRGAS-ITRF2008, época 2016.44, que en términos prácticos se considera igual al sistema WGS84. El trabajo de campo fue realizado en la semana GPS 2000, día 6, según el Calendario GPS 2018 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía—INEGI, 2018), es decir el 12 de mayo del 2018. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de la labor geodésica realizada en el sitio arqueológico.



**Figura 5.** Toma de puntos de chequeo y GCP mediante RTK.

### *Captura de imágenes con Drone*

Como se mencionó anteriormente, los GCP sirvieron para el ajuste del bloque fotogramétrico que se generó de las imágenes tomadas en la zona de estudio. Para esto se utilizó un Drone Phantom 4 y la aplicación Pix4D Capture para la ejecución del plan de vuelo fotogramétrico.

El drone usado posee las siguientes características: velocidad máxima de 29m/s; autonomía de vuelo de 28 minutos; rastrea satélites GPS/GLONASS; precisión vertical de  $\pm 0.1$  m, y  $\pm 0.3$  m en horizontal con posicionamiento visual; estabilización Gimbal en sus tres ejes (pitch, roll, yaw); sensor 1/2.3" CMOS y una cámara de 12.4 Mpx. (DJI, 2017).

El vuelo fotogramétrico se realizó de dos formas, con una grilla simple (91 imágenes) y a doble grilla (174 imágenes), en base a la técnica Structure from Motion (SfM), la cual ha sido aplicada con éxito en trabajos con drones (Brutto y Meli, 2012; Daftry, Hoppe y Bischof, 2015; Eisenbeiss, 2004; Gruen, Zhang y Eisenbeiss, 2012; Haubeck y Prinz, 2013; Lambers y Remondino, 2007), con las cuales se procedió a realizar la orientación interna, relativa y absoluta del bloque fotogramétrico en el software Agisoft PhotoScan. Se utilizó el mencionado

software de procesamiento ya que se han realizado algunos trabajos con excelentes resultados, como por ejemplo Díaz *et al.* (2015); Fernández y Gutiérrez (2017); Kabata, López, Muñoz y Fukuhara (2016); Montero, Sardi y Hermida (2017); Pacheco (2017); Resco *et al.* (2018), por mencionar algunos.

### *Análisis y discusión de resultados*

Los resultados finales del posicionamiento geodésico para el punto base mostraron una solución fija, con un PDOP máximo de 1.349 lo cual indica un excelente rastreo de satélites, la línea base entre la estación EPEC y el punto base fue de 34 898km; además se utilizó efemérides precisas para reducir al máximo los errores de ubicación de los satélites, lo cual se vió reflejado en las precisiones obtenidas, con 0.5cm en horizontal y 0.7cm en vertical, y un RMS final de 1.3cm. En la Tabla 1 se muestran las coordenadas finales para el punto base.

**Tabla 1**  
**Coordenadas finales del punto base ubicado en el mojón del IGM**

<i>Coordenadas UTM 17N</i>		<i>Coordenadas geográficas</i>	
Este	786 248.584m	latitud	N 0° 00' 00.74828"
Norte	22.997m	longitud	O 78° 2' 42.33317"
Elevación	2 637.767m	altura	2 663.184m

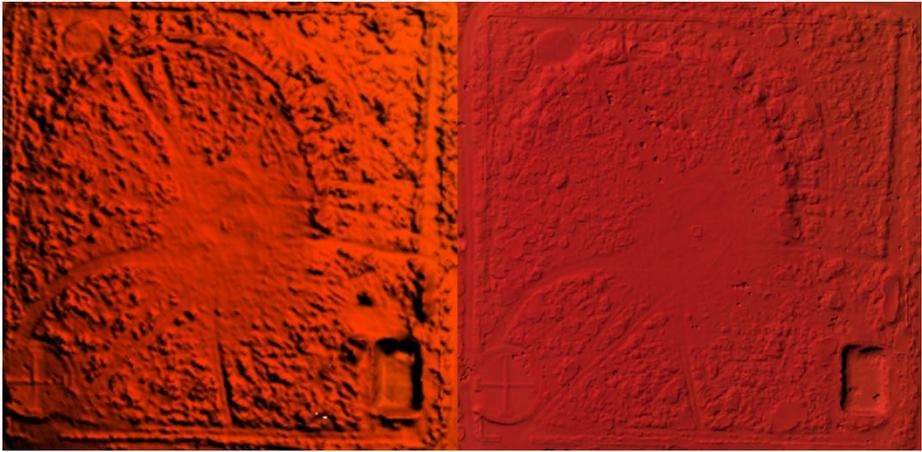
**Fuente:** elaboración propia.

Además, con el procesamiento de las imágenes del drone, se obtuvo el modelo digital de elevación (DEM) y de superficie (DSM) con los cuales se pudo identificar de mejor manera las construcciones existentes, así como la presencia de excavaciones en el lugar. Para la obtención del DEM y DSM, se comparó entre dos softwares, el ya mencionado Agisoft PhotoScan y Global Mapper v18.0, cuyos resultados fueron mejores con el primero, lo cual se puede constatar en la Figura 6.

La pared semicircular y el disco lítico son fácilmente apreciadas en el DEM con Agisoft PhotoScan, sobre el cual se midieron las dos estructuras cuyos resultados fueron de 64 y 8m de diámetro respectivamente, lo que concuerda con el trabajo de Cobo (2017).

En cuanto a la ortofotografía del sitio arqueológico (Figura 4), tuvo una resolución espacial de 3cm, así mismo, la precisión de este producto fue

comprobada mediante el Protocolo de fiscalización dado por el IGM (2017), el cual se basa en la norma NMAS (National Map Accuracy Standards), con un nivel de confianza del 90%, adicionalmente, también se usó la norma NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) para obtener un nivel de confianza del 95% en la precisión (NSDI, 1998). Los resultados de este proceso se muestran en la Tabla 2.



**Figura 6.** Comparación entre DEMs obtenidos: izquierda con Global Mapper y derecha con Agisoft PhotoScan.

**Tabla 2**  
**Precisión de la ortofotografía generada**

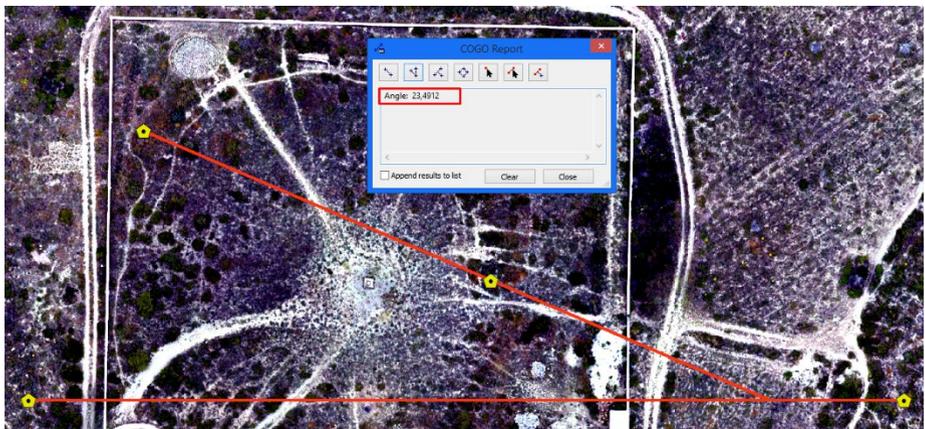
<i>Componente</i>	<i>NMAS (precisión 90%)</i>	<i>NSSDA (precisión 95%)</i>
Horizontal	5 268cm	6 009cm
Vertical	4 335cm	4 337cm

**Fuente:** elaboración propia.

Con los resultados mostrados en la tabla anterior, se garantiza una ortofotografía muy precisa, con la cual se pudo observar y ubicar geográficamente al sitio arqueológico en su total plenitud. Además, como se mencionó con anterioridad, las primeras coordenadas tomadas corresponden a 1989, las mismas que fueron 0° 0' 0" y 78° 25' 43.3" obtenidas con un GPS

navegador, que en el mejor de los casos tiene precisiones de  $\pm 3\text{-}5\text{m}$  (Huerta, Mangiaterra y Noguera, 2005; Seeber, 2003), por lo que es importante señalar que las coordenadas resultantes, no muestran los decimales en latitud (principalmente) ni longitud, en cambio, si se consideran las coordenadas de la Tabla 1 en Latitud, se tiene una diferencia de  $0.75''$ , lo cual en términos de distancia se conoce que  $1''$  (arco de segundo) es aproximadamente  $30\text{m}$  (Hofmann y Moritz, 2005), es decir que existen  $22.5\text{m}$  de desplazamiento respecto a la línea ecuatorial, y es por ello que se necesitan datos más exactos y precisos como los alcanzados en este estudio.

Para comprobar la distancia de las ruinas respecto a la Latitud cero convencional, se colocaron cuatro puntos adicionales sobre la ortofotografía generada, dos puntos para trazar la dirección a la cual se encuentra la línea ecuatorial, y dos más en los extremos de la pared semicircular identificados gracias al DEM obtenido previamente, como se muestra en la Figura 7.



**Figura 7.** Determinación del ángulo de la eclíptica en las ruinas del Cerro Catequilla.

El plano imaginario que se forma entre el Sol y el planeta se conoce como “plano de la eclíptica” el cual hace referencia al plano medio que describe la órbita de la Tierra cuando gira en torno al Sol (Iqbal, 1983; Pizzo, 1991). De este plano se deriva la “eclíptica” que es la línea por donde se desplaza el sol, y que forma un ángulo de  $23.5^\circ$  en su tránsito por la esfera celeste en relación al planeta (Douglas, 2008; Kegege, Fuentes, Meyer y Sil, 2012; Murthy, 2014; Roegel, 2009). Según los puntos ubicados sobre la ortofotografía del sitio, el ángulo de inclinación de la eclíptica fue de  $23.491^\circ$ , un resultado sorprendente ya que demuestra hasta qué punto llegó el conocimiento de los antiguos pobladores del altiplano ecuatorial.

Con este resultado, se relaciona directamente la arqueoastronomía con las técnicas de geodesia satelital actuales, lo cual es muy importante para aportar en la hipótesis de que Catequilla fue un sitio escogido de forma estratégica y consciente como lugar destinado a la observación de los cuerpos celestes, cuyas construcciones fueron orientadas en función de estos a través de mediciones “empíricas” de gran precisión.

## Conclusiones

La connotación arqueoastronómica del Cerro Catequilla se la puede estudiar e interpretar desde el punto de vista geográfico, representada por medio de las técnicas geodésicas satelitales, que brindan la posibilidad de comprender el grado de entendimiento que poseían los pueblos ancestrales sobre su lugar en el espacio.

Con el uso del método estático diferencial se alcanzó una precisión de coordenadas en el orden de 0.5cm en horizontal y 0.7cm en vertical, que aportan un alto grado de confiabilidad en esta índole de estudios.

A través de fotogrametría aérea con drones, se obtuvo la ortofotografía del sitio arqueológico, la cual a más de ofrecer un gran detalle de las ruinas para facilitar los trabajos de prospección, sirve como base para determinar el estado de conservación, así como mantener un el registro digital del estado actual del sitio y prevención ante posibles daños futuros.

Se demostró que el conocimiento “empírico” de las culturas andinas del Ecuador fue muy elevado, ya que a pesar de no contar con los instrumentos técnicos y tecnológicos que hoy se posee, fueron capaces de observar, registrar, y calcular con gran precisión los movimientos de los cuerpos celestes.

El error de la orientación en la que se encuentra desplazada la pared semicircular del plano de la eclíptica medida a través de posicionamiento satelital fue de  $0.01^\circ$ , lo cual destaca el entendimiento astronómico y geográfico de los antiguos pobladores del Ecuador andino.

## Bibliografía

- Almeida, E., *Los Yumbos de Rumicucho*, Quito, Ecuador, Ediciones Abya Yala, 1993.
- , *Apuntes Etnohistóricos del Valle de Pomasqui*, Quito, Ecuador, Ediciones Abya Yala, 1994.
- Almeida, E. y Jara, H., “El Pucará de Rumicucho”, *Miscelánea Antropológica Ecuatoriana*, Quito, Ecuador, Serie Monográfica (1), Museo del Banco Central, 1984.
- Andrade, L., *El Reino de Quito. Los Andes*, Quito, Ecuador, 1954.
- Bauer, B. y Dearborn, D., *Astronomía e Imperio en los Andes*, Centro de Estudios Regionales Andinos, Cuzco, Perú, Bartolomé de las Casas, 1998.

- Brutto, M. y Meli, P., "Computer vision tools for 3D modelling in archaeology", *International Journal of Heritage in the Digital Era*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, 2012. doi:10.1260/2047-4970.1.0.1
- Camino, B., "Evaluación y registro de las áreas mineras ubicadas en los alrededores de San Antonio de Pichincha, Quito, Provincia de Pichincha", Quito, Ecuador, preparado para Congeminpa Cia. Ltda., Informe al Instituto Nacional del Patrimonio Cultural, 2004.
- Cerdeño, M. y Rodríguez, G., "Arqueoastronomía: una nueva perspectiva en la investigación arqueológica", *Complutum*, vol. 20, núm. 2, pp. 11-21, 2009.
- Cerdeño, M.; Rodríguez, G.; Moya, P.; Ibarra, A. y Herrero, S., "Los estudios de la Arqueoastronomía en España: Estado de la cuestión", *Trabajos de Prehistoria*, vol. 63, núm. 2, pp. 13-34, 2006.
- Cobo, C., "La Mitad del Mundo: el sitio arqueológico sobre el Monte Catequilla en la Latitud Cero, Ecuador", *Etno y Arqueo-Astronomía en las Américas*, Santiago, Chile, Memorias del Simposio ARQ-13 del 51 Congreso Internacional de Americanistas, 2004.
- , *Astronomía Quito-Caranqui Catequilla y los discos líticos, evidencias de la astronomía antigua en los Andes ecuatoriales*, Quito, Ecuador, QUIMERADREMS Editores, 2012.
- , "Catequilla y los Discos Líticos, evidencia de la Astronomía Antigua en los Andes Ecuatoriales", *Revista de Topografía AZIMUT*, núm. 8, pp. 41-62, 2017.
- Daftry, S., Hoppe, C. y Bischof, H., "Building with drones: Accurate 3d facade reconstruction using mavs. Seattle, EE.UU.: Robotics and Automation (ICRA)", 2015 IEEE International Conference, 2015. doi:10.1109/ICRA.2015.7139681
- Díaz, M.; Crespo, A.; Farjas, M.; Ruíz, C.; Martínez, G.; Carbajosa, E. y Castillo, I., "Aplicación de nuevas tecnologías en la Arqueología de la Guerra Civil: Los Yesares, Pinto (Madrid)", *virtual Archaeology Review*, vol. 6, núm. 12, pp. 122-136, 2015.
- DJI, PHANTOM 4 SPECS, 2017, recuperado el 16 de diciembre de 2018, <<https://www.dji.com/phantom-4/info>>.
- Douglas, F., "A Construction to Determine the Azimuths and Times of Sunrise and Sunset", *Astronomy Education Review*, vol. 7, núm. 1, pp. 84-91, 2008.
- Echeverría, J., "Excavación Arqueológica en las áreas relacionadas con los círculos empedrados denominados Catequil de la Mitad del Mundo, San Antonio de Pichincha, Provincia de Pichincha", informe final, Quito, Ecuador, Consultoría CD-IMPQ-100-2012, 2013.
- Eisenbeiss, H., "A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition", Phitsanulok, Tailandia: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2004.
- Espinosa, W., *Los incas. Economía, sociedad y Estado en la era del Tahauntinsuyo*, La Victoria, Perú, Amaru editores, 1997.
- Fernández, J. y Gutiérrez, G., "Modelización 3D con tecnología VANT para la reproducción y preservación del registro arqueológico del Proyecto Geoparques Las Loras (Palencia-Burgos). Valladolid, España", *Investigaciones arqueológicas en el valle del Duero, del Paleolítico a la Edad Media: Actas de las V Jornadas de Jóvenes Investigadores del valle del Duero*, 2017.

- Fresco, A., Informe “Prospección Arqueológica en los terrenos del Sitio Arqueológico de Catequilla: Primera fase, dentro del Proyecto Lunisolar Quiteño”, Quito, Ecuador, INPC Autorización N. 073-2008 enero, 2010.
- Gruen, A., Zhang, Z. y Eisenbeiss, H., “UAV photogrammetry in remote areas-3D modeling of Drapham Dzong, Bhutan. Melbourne, Australia: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, XXII ISPRS Congress, 2012. doi:10.5194/isprsarchives-XXXIX-B1-375-2012
- Haubeck, K. y Prinz, T., “A UAV-Based Low-Cost Stereo Camera System for Archaeological Surveys-Experiences from Doliche (Turkey)”, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 195-200, 2013. doi:10.5194/isprsarchives-XL-1-W2-195-2013
- Hofmann, B., y Moritz, H., *Physical Geodesy*, Austria, Springer Wien NewYork, 2005.
- Huerta, E.; Mangiaterra, A. y Noguera, G., *GPS Posicionamiento Satelital* Rosario, Argentina, UNR Editora-Universidad Nacional de Rosario, 2005.
- IAG The International Association of Geodesy, 2012, obtenido de [http://www.iag-aig.org/templates\\_img/iagbooklet.pdf](http://www.iag-aig.org/templates_img/iagbooklet.pdf).
- IGM *Protocolo de Fiscalización para proyectos de generación de cartografía base con fines catastrales escala 1:1 000, obtenida a través de método aerofotogramétrico, digitalización 2D sobre ortofotografía o levantamiento topográfico*, Quito, Ecuador, Instituto Geográfico Militar, 2017.
- INEGI *Calendario GPS 2018*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México, 2018.
- Iqbal, M., *An Introduction Solar Radiation*, Ontario, Canadá, Academic Press Canada, 1983.
- Kabata, S.; López, J.; Muñoz, A. y Fukuhara, H. “Mapeo y registro de artefactos en 3D utilizando Agisoft PhotoScan y Drone en el Proyecto Arqueológico Tlalancaleca, Puebla”, *Boletín del Instituto de Estudios Latinoamericanos de la Universidad de Estudios Extranjeros de Kyoto*, núm. 16, pp. 121-140, 2016.
- Kauffmann, F., *El Perú Antiguo*, Lima, Perú, Ediciones Peisa, 1977.
- Kegege, O.; Fuentes, M.; Meyer, N. y Sil, A., *Three-dimensional analysis of Deep Space Network antenna coverage*, Big Sky, EE.UU.: 2012 IEEE Aerospace Conference, 2012. doi:10.1109/AERO.2012.6187124
- Lambers, K. y Remondino, F., “Optical 3D measurement techniques in archaeology: recent developments and applications”, Berlín, Alemania, Proceedings of the 35th International conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), 2007.
- Lumbreras, L., *Visión Arqueológica del Perú Milenario*, Lima, Perú, Editorial Milla Batres, 1990.
- Manosalvas, J., “Potencialidades y Limitaciones para la expansión Urbana en la parroquia de San Antonio de Pichincha mediante la aproximación de las técnicas de análisis espacial en SIG. Quito, Ecuador”, tesis de grado, Universidad Católica del Ecuador, 2016.
- Montero, O.; Sardi, J. y Hermida, A., “Posibilidades de la reconstrucción tridimensional de zonas patrimoniales en base a fotogrametría y escáner LIDAR. El Barranco de la ciudad de Cuenca como caso de estudio”, *MASKANA*, vol. 8, núm. 2, pp. 83-98, 2017. doi: <<https://doi.org/10.18537/mskn.08.02.07>>.

- Murthy, R., "Orbital Spin: A New Hypothesis to Explain", *International Journal of Astronomy and Astrophysics*, vol. 4, no. 1, pp. 20-28, 2014. doi:10.4236/ijaa.2014.41004
- NSDI, "Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. Virginia, USA", Federal Geographic Data Committee, 1998.
- Pacheco, D., "Drones en espacios urbanos: caso de estudio en parques, jardines y patrimonio edificado de Cuenca", *Estoa*, vol. 6, núm. 11, pp. 159-168, 2017. doi:10.18537/est.v006.n011.a12
- Pizzo, V., "The evolution of corotating stream fronts near the ecliptic plane in the inner solar system: 2. Three-dimensional tilted-dipole fronts", *Journal of Geophysical Research*, 96(A4), pp. 5405-5420, 1991. doi: <<https://doi.org/10.1029/91JA00155>>.
- Resco, P.; Espinoza, F.; Aguirre, M.; Mejía, P. y Matovelle, C., "Fotogrametría digital para el levantamiento 3D del sitio arqueológico de Todos Santos, Cuenca (Ecuador)", *Estoa*, vol. 7, núm. 13, pp. 25-35, 2018. doi:10.18537/est.v007.n013.a02
- Rodas, E., "Arqueoastronomía y Astronomía Cultural: sus campos de acción y aplicación en Honduras. Metodologías", *Revista ciencias espaciales*, vol. 5, núm. 1, pp. 86-97, 2012.
- Rodríguez, P., "Reflexiones sobre el levantamiento arqueológico actual", *DISEGNARECON*, vol. 10, núm. 19, pp. 1-5, 2017.
- Roegel, D. "Spheres, great circles and parallels", *TUGboat*, vol. 30, no. 1, pp. 80-87, 2009.
- Seeber, G., *Satellite Geodesy*, 2da. Edición, New York, USA, Walter de Gruyter, 2003.
- Topcon, "HIPER V. Versatile function GNSS Receiver", 2017, recuperado el 16 de diciembre de 2018, de <[https://www.topconpositioning.com/sites/default/files/product\\_files/hiper\\_v\\_broch\\_7010\\_2121\\_reve\\_sm.pdf](https://www.topconpositioning.com/sites/default/files/product_files/hiper_v_broch_7010_2121_reve_sm.pdf)>.
- Topic, J., "Proyecto Catequil: La Historia de un Oráculo Andino. Quito, Ecuador", Informe presentado al Instituto Nacional del Patrimonio Cultural del Ecuador, 1999.
- Villalba, M., Proyecto de Valle de Quito. Informe de prospecciones. Quito, Ecuador. Informe entregado al Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 1996.
- Yurevich, V., *Orientación Astronómica de algunos Monumentos Arqueológicos del Ecuador*, Quito, Ecuador, Museo del Banco Central del Ecuador, 1994.
- Zuidema, T., *El Sistema de Ceques del Cusco*, Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú, 1995.