

LEVANTAMIENTO DE COORDENADAS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS LINDEROS DE UN PREDIO RURAL A BAJO COSTO

Raising of coordinates for obtaining the boundaries of a rural property at low cost

Juan Sebastián Hernández Santana
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Ingeniería Catastral y Geodesia
juashernandezs@correo.udistrital.edu.co

Juan Mateo Aristizabal Henao
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Ingeniería Catastral y Geodesia
jmaristizabalh@correo.udistrital.edu.co

Resumen:

La seguridad y tenencia de la tierra son variables de total relevancia en el contexto catastral, sin embargo, los diferentes eventos históricos han proporcionado antecedentes de violencia que derivan a desplazamientos forzados, a carente información catastral de predios en zonas rojas, entre otras variables que no garantizan dicho derecho. Es por ello, que consecuentemente, con el concepto de tierra como factor determinante en las relaciones entre actores de la sociedad colombiana, se quiere proponer un método de alinderamiento de bajo costo, que sea acorde con la inversión y que otorgue una calidad aceptable para procesos de análisis Espacial - Estadístico, que pueda derivar en productos básicos de Cartografía que ilustren la situación actual de los territorios inmiscuidos en dicho contexto de violencia. A través del documento se plantea un contexto inicial, tanto de la situación de dichos territorios, como de las tecnologías utilizadas por los móviles inteligentes, posterior a ello, se propone una metodología para la obtención de coordenadas con veracidad media (Calidad de 2 a 4 metros), un posible ajuste para mejorar dicha calidad (De 50 a 70 cm), un ejemplo técnico del uso de dichas coordenadas para análisis Geofísico, proponiendo la interpretación de un modelo Isostático.

Palabras clave: Procesamiento GNSS, Metropolización, Alinderamiento, Posesión y Tenencia de la tierra.

Abstract

Security and land tenure are variables of total relevance in the cadastral context, however, the different historical events have provided antecedents of violence that lead to forced displacements, a lack of cadastral information on properties in red areas, among other variables that do not guarantee said right. That is why, consequently, with the concept of land as a determining factor in the relationships between actors in Colombian society, we want to propose a low-cost alignment method that is in line with the investment and that provides an acceptable quality for processes of spatial-statistical analysis, which can lead to basic cartographic products that illustrate the current situation of the territories involved in this context of violence. Through the document, an initial context is proposed, both of the situation of these territories, and of the technologies used by smart phones, after that, a methodology is proposed to obtain coordinates with medium accuracy (Quality from 2 to 4 meters), a possible adjustment to improve said quality (From 50 to 70 cm) and a technical example of the use of these coordinates for geophysical analysis, proposing the interpretation of an isostatic model.

Key words: GNSS Processing, Metropolization, Alignment, Possession and Tenure of the land.

1. INTRODUCCIÓN

El censo catastral comprende tres aspectos el jurídico referido a los derechos del propietario sobre el predio; el aspecto económico se relaciona con su valoración para términos fiscales; el aspecto físico se relaciona con la identificación del predio, sin embargo en Colombia en muchos casos no hay suficiente claridad sobre las dimensiones y límites, afectando así los derechos jurídicos de la relación del propietario con el sujeto del derecho que en este caso es la tierra.

El presente documento aborda las problemáticas sociales en el diverso contexto de violencia territorial y un paso hacia la posibilidad de aportar a la paz, facilitando la seguridad jurídica de la tenencia de la tierra en su aspecto físico desde una propuesta de uso de tecnologías móviles para la obtención de coordenadas como aproximación al lindero predial, con el objetivo de reducir los costos del levantamiento en las zonas rurales de difícil acceso.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Proponer una metodología de bajo costo que permita la obtención de las coordenadas de los vértices de un bien inmueble para poder formalizar los linderos y áreas de los predios rurales.

2.2. Objetivos específicos

- Indagar metodologías que son utilizadas actualmente, las cuales involucran el uso de teléfonos móviles con fundamentación teórica de las ciencias Geodesia, Geomática y Catastro.
- Formular un método de bajo costo, de fácil acceso y manejo, que garantice una precisión aceptable para la delimitación de un predio rural.
- Aportar a los componentes físico y jurídico de los procesos catastrales con una herramienta de bajo costo enfocada a las poblaciones cuya ganancia sobre la tierra explotada es menor a 2.5 smmlv para Colombia de acuerdo a la UAF.

3. URBANIZACIÓN Y ABANDONO FORZADO DE LAS FORMAS DE VIDA CAMPESINA.

3.1. El desplazamiento, la violencia y la tierra.

De acuerdo a la verdad abierta entre 1989 y 2011 en Colombia se despojaron 6.65 millones de hectáreas y para 2019 solo han podido ser restituidas 2 millones de hectáreas lo preocupante se relaciona con el artículo 208 de la ley 1448 de 2011, pues su vigencia es de 10 años que se cumplirán el 10 de junio de 2021 y las personas víctimas del conflicto armado no han sido reparadas, no hay evidencia clara del horizonte futuro de los 4 millones de hectáreas que a 2019 quedaban por ser restituidas (Verdad abierta, 2019) (<https://verdadabierta.com/disputas-de-tierra-ante-la-justicia/agridulce-ha-sido-la-restitucion-de-tierras-en-colombia/#:~:text=Una%20ley%20en%20deuda,tierra%20entre%201980%20y%202010.>), esto sumado a que en el RUV la cifra de víctimas incluidas en el registro único de víctimas por hechos victimizantes principalmente relacionados a desplazamiento son 9.041.303 personas a 31 de julio del 2020 . (RUV, 2020), que han acudido a los centros de atención de víctimas a realizar el debido censo de su situación, pero no todas las víctimas del conflicto realizan este censo ya sea por miedo, la desconfianza en las instituciones del Estado, desconocimiento de las herramientas estatales o aplazamiento de la diligencia pues las familias tienen necesidades inmediatas y prioritarias. (<https://www.unidadvictimas.gov.co/es/registro-unico-de-victimas-ruv/37394>) De acuerdo al informe Una Nación Desplazada: Informe Nacional del Desplazamiento Forzado en Colombia del Centro de memoria Histórica el documento evidencia que las regiones que han sido expulsoras históricas de población a corte 2014 son principalmente el Urabá, el Andén Pacífico Sur, la Sierra Nevada de Santa Marta, los Montes de María y el Magdalena Medio, es claro que toda esta población tenía la necesidad de buscar un lugar que les solucionara el problema inmediato de seguridad y estancia por lo cual migraron a ciudades capitales departamentales de las cuales son representativas Bogotá, Medellín, Santa Marta, Cali que se configuran como

ciudades receptoras de desplazados. p212 (http://www.centrodememoriahistorica.gov.co/descargas/informes-accesibles/una-nacion-desplazada_accesible.pdf)

3.2 Metropolitación y transformación de la vida rural.

Las ciudades capitales departamentales amplían sus perímetros urbanos por razones de interés económico o desarrollo de su infraestructura social con programas de vivienda de interés social y prioritario, por beneficios de escala metropolitana con sus municipios vecinos para el caso de Bogotá que en 1954 mediante el decreto 3640 anexa a la capital de Colombia los municipios de Bosa, Engativá, Fontibón, Suba, Usme y Usaquén. Hoy en día se evidencia un fenómeno de conurbación y difícil diferenciación de los límites entre estos antiguos municipios que son representados por localidades, subdivididos por barrios y unidades administrativas conocidas como Unidades de Planeamiento Zonal, estos municipios han pasado a ser alcaldías menores. Esta situación se ha renovado con la aprobación de la Región Metropolitana de la Sabana (Oficina de Prensa Cámara de Representantes, 2020) (<https://www.camara.gov.co/camara-de-representantes-aprueba-creacion-de-la-region-metropolitana-de-la-sabana>) lo que funcionará como herramienta de desarrollo económico y urbanístico en conjunto de los municipios aledaños a la ciudad de Bogotá.

Otálora evidencia y describe los efectos del fenómeno de metropolitación para el caso de estudio en el municipio de Mosquera en la vereda Siete Trojes al occidente de la ciudad de Bogotá, la conurbación se muestra en este caso como el fenómeno de metropolitación que consiste en que las actividades de la ciudad sobrepasan su perímetro urbano; en la década del año 2000 los suelos de los municipios cercanos a la ciudad de Bogotá se habilitan como Zonas Francas con el objetivo de servir como espacios de desarrollo de actividades comerciales o actividades industriales de producción de bienes y servicios con un velo de normativa tributaria, aduanera y de comercio exterior, que convierte atractiva la operación de la industria en estas zonas especiales.(Gutierrez, 2012) (<http://bdigital.unal.edu.co/41977/1/19385273.2012.pdf>), El resultado de esta política propicia el desplazamiento de las familias campesinas tradicionales de la sabana a otros municipios más rurales o dependiendo del caso a las zonas urbanas pues depende de la generación afectada, Otálora en su investigación en la vereda Siete Trojes revela que la generación que supera los 60 años prefiere una vida rural, mientras que la población con menor a 60 años sufre la presión de urbanizarse y emplearse informalmente o buscar empleo en el sector de la construcción, en el sector manufacturero; también evidencia que antes del año 1990 la población campesina contaba con comportamientos encaminados hacia la cohesión social, arraigo cultural y costumbrista, la economía consistía en la auto subsistencia mediante el trueque de alimentos y rastrojo actividad que consiste en la recolección de productos agrícolas sobrantes luego de la cosecha, el trabajo agrícola pagado como jornal evidenciando la ocupación constante de la mano de obra de esta vereda, sin embargo luego del año de 1990 la vereda sufre procesos de urbanización e industrialización impulsados por el cambio de normativa de uso del suelo esto propicia la pérdida de cuerpos de agua, disponibilidad de suelo cultivable, ruptura de la cohesión social, cambio de las formas de vida y la ocupación de los campesinos puesto que este proceso afecta directamente a las generaciones menores a 60 años porque se encuentran en edad laboral y han perdido su ambiente rural para convertirse en mano de obra industrial como resultado de la pérdida de suelo cultivable.(Otalora, 2015) (<http://www.scielo.org.co/pdf/traso/n18/2256-5493-traso-18-127.pdf>)

3.3 Colombia dando pasos hacia la paz pero inmersa en el contexto de reciclaje de la violencia.

Colombia ha estado inmersa en períodos de convulsión social causados por la violencia territorial que propicia a las migraciones internas evidenciando un reciclaje de la violencia con el tema de trasfondo de la posesión de la tierra, que de acuerdo a Molina la problemática rural y de catastro en Colombia se intensifica por la visión de la tierra como vehículo fiscal, otras problemáticas asociadas a la tierra se relacionan con la tradición de la posesión, conflictos de uso, precarización de la calidad de vida del campesinado y la distribución inequitativa de la tierra, sin embargo es paradójico que el conflicto armado en Colombia no ha terminado con la Firma de Paz con el grupo Farc en el año 2016 pues aún quedan diversos actores armados y sociales en el contexto nacional que participan en la guerra ya sea desde el estado o desde acciones enmarcadas en el conflicto pues de acuerdo al RUV en el primer semestre del año 2020 se registraron cerca de 97 mil personas en el censo, por lo cual es una situación

preocupante que el marco normativo para las víctimas termine su vigencia en junio del 2021, enmarcado en un contexto de desplazamiento que ha dado pie a la migración interna que principalmente proviene del campo hacia las ciudades, además en el proceso de establecimiento las poblaciones víctimas de la violencia han sido revictimizadas pues los cambios de actividad económica han constituido una reinvencción en las formas de empleabilidad pues estas poblaciones tienden a formar parte del empleo informal o mano de obra no cualificada que termina siendo empleada en el sector construcción, manufacturero u actividades que no presenten mayor nivel de complejidad, mostrando una deficiencia en el acompañamiento por parte del Estado, es de aclarar que éste hace presencia mediante las entidades de educación como el SENA, Universidades Públicas, agencias de empleo que ayudan a estas poblaciones, sin embargo no siempre hay una articulación exitosa; el ambiente social de las ciudades también son un factor clave en la revictimización dirigida a estas poblaciones, pues los ciudadanos urbanos realizan un trato diferencial con los ciudadanos provenientes de la ruralidad colombiana dándose fenómeno de discriminación de acuerdo al origen de la persona y nivel de desarrollo personal, sin embargo las ciudades ofrecen el anonimato que no es posible en la ruralidad lo que termina siendo una condición protectora ante estas formas de violencia y en muchos casos con el desarraigo y olvido de las costumbres de los lugares de origen de ésta población. (Ley 1448 de 2011)

<https://www.unidadvictimas.gov.co/sites/default/files/documentosbiblioteca/ley-1448-de-2011.pdf>

(<https://www.unidadvictimas.gov.co/es/registro-unico-de-victimas-ruv/37394>)

menos

(<https://www.unidadvictimas.gov.co/es/ruv/37385>)

La tierra es un factor determinante en las relaciones entre los diferentes actores de la sociedad colombiana por lo tanto un paso necesario para dar seguridad jurídica, consiste en la solución de conflictos de alinderamiento predial pues en la ruralidad colombiana es muy común tener en la documentación como promesas de compraventa, escrituración que acrediten la propiedad de la tierra y en estos se consigne límites arcifinios o límites naturales, esto plantea conflictos por la falta de claridad en los linderos y posibilita el corrimiento de cercas, lo que no permite la total garantía de la seguridad jurídica de la tenencia del suelo, este problema se plantea solucionar con los levantamientos topográficos que son llevados a planos y amarrados a las coordenadas manejadas por cada país, sin embargo para un propietario de un predio rural tipo minifundio, esto le es costoso, complicado y con tecnicismos a los cuales no le ve aplicación inmediata, por lo tanto es necesario apoyar al campesinado y poblaciones rurales con herramientas que permitan dar sustento y seguridad mediante instrumentos que aseguren el área y ubicación de esta parcela, evitando que en un evento victimizante se pierda la tradición de la tierra por la confusión jurídica de la tenencia acompañada de la ambigüedad de los linderos arcifinios.

4. METODOLOGÍA

El servicio de posicionamiento físico de los dispositivos móviles basadas en la red para la obtención de precisión y tiempo de campo bajo están a la vanguardia de las temáticas relacionadas con problemáticas sociales, dichas tecnologías se pueden dividir en base a los terminales y en redes. Cuando se hace referencia a tecnologías basadas en terminales se infiere la tarjeta SIM/USIM que dicho artefacto pueda contener lo que permite la localización

GMS, sumado a esto el dispositivo cuenta con un módulo que soporta los sistemas de posicionamiento como Galileo, GPS, Glonass, entre otros; de allí, florece el concepto A-GPS o posicionamiento basado en terminal y cuya asistencia es la red. Las tecnologías basadas en redes no requieren el posicionamiento inteligente que se pretende en la primera clasificación, esto conlleva a

Sensor	Typ**	Kategorie*	Koordinatensystem***	Kurzbeschreibung	Android Version / API Level
Beschleunigung	HW	BS	G	misst Beschleunigung in (inklusive Schwerkraft) in m/s ²	1.5 / 3
Druck	HW	US	-	misst den Luftdruck in hPa oder mbar	2.3 / 9
Gyroskop	HW	BS	G	misst Rotationsgeschwindigkeit in rad/s	2.3 / 9
GPS	HW	PS	-	gibt Position (Longitude, Latitude), Höhe, Geschwindigkeit und die Genauigkeit an	1.5 / 3
Licht	HW	US	-	misst Beleuchtungsstärke in lx	-
Lineare Beschleunigung	SW	BS	G	misst Beschleunigung des Gerätes in (exklusive Schwerkraft) in m/s ²	2.3 / 9
Magnetisches Feld	HW	PS	G	misst das geomagnetische Feld in µT	1.5 / 3
Entfernung	HW	PS	-	misst den Abstand eines Objekts zur Bildschirmseite des Gerätes in cm	1.5 / 3
Orientierung	SW	PS	E	misst die Lage des Gerätes durch Azimuth, Pitch und Roll in Grad (°)	1.5 / 3
Relative Luftfeuchtigkeit	HW	US	-	misst die relative Luftfeuchtigkeit in %	4.0 / 14
Rotationsvektor	SW	BS	E	misst die Lage des Gerätes in rad	2.3 / 9
Schwerkraft	SW	BS	G	misst die Schwerkraft in m/s ²	2.3 / 9
Temperatur	HW	US	-	misst die Temperatur des Gerätes in Grad Celcius (°C)	1.5 / 3
Umgebungstemperatur	HW	US	-	misst die Raumtemperatur in Grad Celcius (°C)	4.0 / 14

Ilustración 1. Sensores posibles para procesamiento.
Fuente: Moritz Von Zitzewitz.

falta de precisión, es por ello, que para procesos de alinderamiento no sería eficiente ni eficaz (Aguilar,

2014).

Ahora bien, ¿Cuáles serían los posibles sensores que pueden estar inmiscuidos en el procesamiento realizado por móviles inteligentes android?, Moritz Von Zitzewitz plantea el siguiente resumen de posibilidades.

Nótese la breve descripción que realiza Zitzewitz y el sistema de coordenadas que utiliza cada sensor, esto es de vital importancia para definir la utilización de cada uno de ellos y a su vez, establecer la posible precisión con la que contarán los trabajos realizados por este. Sin embargo, ¿Cuál será el sustento matemático que conlleva a la elección de móviles para reducción de costos?, Zitzewitz plantea que el sistema cartesiano utilizado por un móvil inteligente difiere de equipos especializados en la temática de calidad y precisión, es por ello, que es relevante expresar las matrices de rotación empleadas en un Espacio Euclidiano específico:

- En el eje X:

$$R_{\alpha} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (1)$$

- En el eje Y:

$$R_{\beta} = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \quad (2)$$

- En el eje Z:

$$R_{\gamma} = \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Donde, hace referencia a los ángulos formados desde cada eje. Ahora, ¿Por qué es importante la determinación de dichas rotaciones? ¿En qué atribuyen a los procesos de alinderamiento?, para responder dichas interrogantes, se recuerda que absolutamente todas las ciencias deben trabajar en conjunto para la elaboración de procesamientos como el trabajado a lo largo de este texto, para la solución de problemáticas catastrales es de vital importancia trabajar con datos precisos y de calidad, ya que estos conllevan a decisiones que afectarán a la sociedad. Con base en lo anterior, se sabe que la obtención de coordenadas está ligada a procesos externos e internos del procesamiento, **ya que** estas cambian a través del tiempo, con el movimiento de placas tectónicas, fallas en los receptores o en los emisores entre otros, dado a ello las variables externas o internas contribuyen a que el error de mediciones se propague, conllevando a contribuciones cartográficas erróneas, problemas con cálculos de valores numéricos característicos de un bien inmueble, de allí nace la importancia de la adecuada interpretación del comportamiento de los factores utilizados en la obtención de coordenadas (Tarrasó, 2018). Sin embargo, el objeto del presente artículo no es confundir al lector con las técnicas utilizadas en el geoprocesamiento, por lo tanto la primer parte de este ítem es un acercamiento a una de las variables utilizadas en el posicionamiento satelital, no obstante, se procede a explicar las etapas de adquisición y comunicación de datos satelitales en un móvil inteligente:

- Gran variedad de autores, coinciden en cuatro grandes etapas:

- o La localización geográfica del móvil (Allí se encuentran inmiscuidos los satélites que proporcionarán la información geográfica).
- o La adquisición de datos y control (Con base en la detección de los satélites de la etapa anterior, se procede a la adquisición de coordenadas y su correspondiente procesamiento, realizando las correcciones pertinentes.)

NOTA: Para dar un mejor contexto **para** el lector, las correcciones **de** derivan de problemáticas como: los cuerpos de masa que estén ubicados en cercanías al punto de estudio, ya que, como se sabe, las líneas geopotenciales por las que se transportan los satélites pueden variar debido a

la presencia o no de cuerpos con variabilidad en densidad, además, las fallas en algunos artefactos espaciales también es recurrente, dentro de ellas, las más destacadas hacen referencia a errores técnicos.

- La comunicación al celular (Los datos procesados en la anterior etapa son recibidos por el móvil inteligente y este arroja un resultado a priori de la ubicación, como se identificará en la siguiente etapa, el tiempo en campo debe ser amplio para la obtención de mejores coordenadas, ya que un tiempo leve en el sitio aportará grandes errores en el posicionamiento).
- El procesamiento de la información (Ya que el teléfono móvil recibió la información, es tiempo de realizar los respectivos ajustes, **ya que** es un proceso iterativo que el teléfono debe realizar, dado a que el tiempo y el error presentan una relación inversa, es decir, a mayor tiempo en campo, menor será el error y viceversa).

Después de establecer este leve contexto, se plantea el siguiente interrogante ¿Qué dispositivos móviles **con** empleados en la recepción de datos GNSS?, Para Adrià Tarrasó algunos de los dispositivos con mayor uso son: El Bluboo Maya Max 6.0”, cuya versión android es 6.0, su procesador es el MT6750 y tiene soporte para recibir datos de GPS, Glonass, Galileo y Beidou (Recuerde que este último ha tenido gran avance en los últimos años, derivado de la puesta en marcha de tecnología GNSS), El Asus Zenfone 6, cuya versión de android es 5.0, su procesador es Intel Atom Z2580 y tiene soporte para GPS, El Samsung Galaxy J5 (Versión 2016), cuya versión de android es 6.0, su procesador es Snapdragon 410 y soporta a GPS, Glonass y Beidou, y en última instancia, El Samsung Galaxy J5 (Versión 2017), cuya versión de android es 7.0, su procesador es Exynos 7870, con soporte GPS, Glonass. Todos los equipos mencionados anteriormente se encuentran en distintos mercados y presentan acceso simple, además, de ser económicamente viables, sin embargo, ¿Qué tan bien se comportan estos artefactos en el posicionamiento?, Adrià presenta el siguiente resumen:

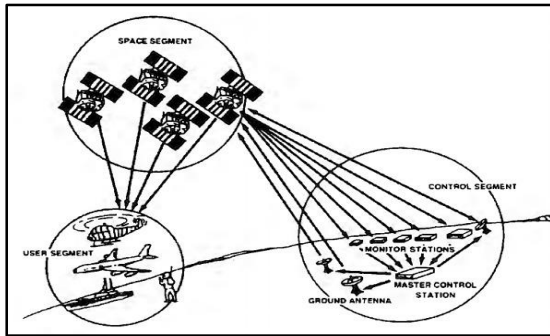
Dispositivo	Precisión (m)	URE (m)	TTF (ms)	# Satélites	SNR (dB)
Bluboo Maya Max	2,6	4,64	16258,00	18	31,7
Asus Zenfone 6	6,0	-0,3	47320,00	7	31
Samsung Galaxy J5 (2017)	4,0	-2,16	17209,00	17	36,7
Samsung Galaxy J5 (2016)	3,0	-0,5	0,00	13	30,4

Tabla 1. Características - Artefactos para posicionamiento. Fuente: Adrià Tarrasó.

En este punto de la lectura, el lector debe cuestionarse, se propone la realización de un alinderamiento con artefactos que presentan de 2,6 a 4 metros de precisión, la respuesta es no, los dispositivos nombrados son solo ejemplos de dispositivos de bajo costo que proporcionan un primer acercamiento a las verdaderas coordenadas del punto objeto de estudio, sin embargo, resulta fácil la búsqueda de dispositivos que presentan una precisión de 30 a 40 cm del punto, allí, el lector debe **estarse cuestionando** aún el método propuesto, sin embargo, se resalta que esta metodología es sólo un acercamiento a la realidad para la reducción de costos, esto no significa que se obtendrán las coordenadas exactas del vértice estudiado, solo es una propuesta económica para el establecimiento de vértices de un bien inmueble, otorgando una solución a propietarios que no cuenten con el capital suficiente para procesos de levantamiento topográfico o geodésico de alto nivel de precisión (Soto, 2010). Ahora ¿Qué desventajas puede tener el uso de un móvil para posicionamiento? Probablemente el lector ya definió alguna de ellas, la precisión, ya que con equipos geodésicos la calidad se aproxima a la escala milimétrica, aparte de ello ¿Funcionará mejor o peor la recepción de datos en zona arbolada? Para dar respuesta a esta pregunta se recomienda la lectura previa de documentos importantes para el procesamiento GNSS, tales como las efemérides, las cargas

oceánicas, los efectos ionosféricos, entre otros. Para Aldebarán, unos pocos metros ofrecen al usuario una buena aproximación de su posición actual, teniendo en cuenta tres segmentos de importancia:

- El segmento del usuario: El cual hace referencia al instrumento receptor que recibe las señales de los satélites y calcula (A partir de la información transmitida), la posición tridimensional de dicho aparato en un tiempo t.



- El segmento espacial: El cual hace referencia a las diferentes constelaciones de satélites en funcionamiento que estén en la capacidad de transmitir señales en un solo sentido, y que otorguen la posición actual del satélite y el tiempo.

- El segmento de control: El cual hace referencia al monitoreo de maniobras ocasionales que permitan mantener los satélites en sus órbitas geopotenciales, dando garantía al conjunto de coordenadas que se obtengan de ellos.

(García, 2011)

Ahora bien, se propone la siguiente corrección aproximada para las coordenadas obtenidas por el móvil inteligente.

Ilustración 2. Segmentos del posicionamiento.

Fuente: Aldebarán García, 2011.

- **Suposiciones:** Se tiene un punto con coordenadas previamente establecidas, que contemple alto grado de exactitud.

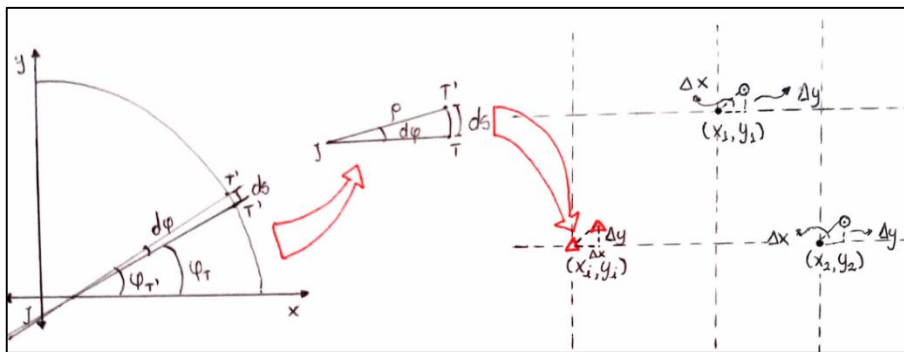


Ilustración 3. Diferencial longitudinal tratado. Fuente: Elaboración propia.

Ahora, se calcularán las coordenadas de dicho punto con el dispositivo móvil y se identifican los cambios métricos obtenidos entre las coordenadas detectadas y las que se obtuvieron a priori, además, ya que se dispone al cálculo de coordenadas que posiblemente se encuentren lejos de los puntos de estudio, se utilizará la longitud de arco meridiano:

$$s = \int \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \text{sen}^2 \varphi)^{3/2}} d\varphi \quad (4)$$

De esta forma, se realizará la misma adición o sustracción de dichos diferenciales para puntos que no excedan una distancia donde la curvatura terrestre pueda ocasionar desviaciones en las predicciones (Nótese que la precisión aumenta significativamente).

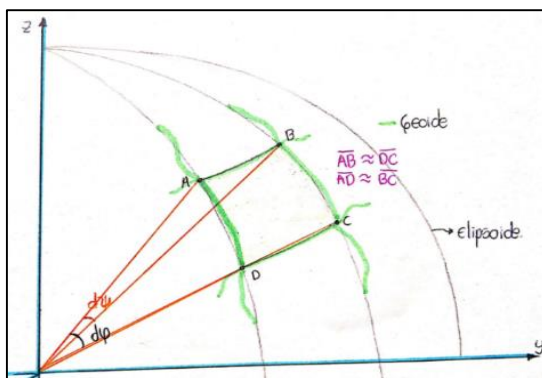


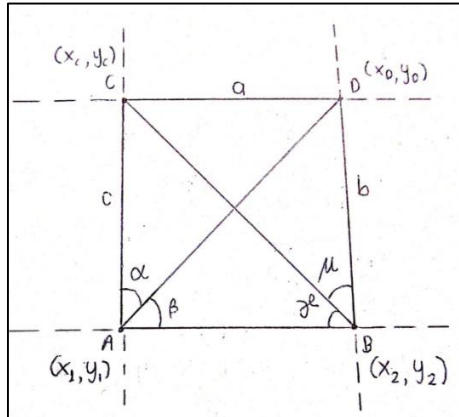
Ilustración 4. Área planteada. Fuente: Elaboración propia.

Con base en lo anterior, se propone la elaboración de un modelo isostático para comparación de fuerza - masa y posible ayuda de interpretación de leves cambios en la superficie de estudio (Una de las aplicaciones de la obtención de coordenadas).

- Procedimiento utilizado:

Determinando el área de un cuadrilátero con relieve uniforme, del cual $\overline{AD} \approx \overline{BC}$ y $\overline{AB} \approx \overline{DC}$ siendo estos arcos de meridiano. Se plantea la integral doble propia del área de estudio:

$$A.E. = dz = \int_{\psi_1}^{\psi_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \left[\frac{a \cos \varphi}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}} \right] \left[\frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}} \right] d\varphi d\psi$$



Obteniendo:

$$A.E. = \frac{1}{2}(\psi_2 - \psi_1)(1 - e^2)a^2 \left[\frac{\text{Sen } \varphi_2}{1 - e^2 \text{Sen}^2 \varphi_2} + \frac{1}{2e} \text{Ln} \left| \frac{e \text{Sen } \varphi_2 + 1}{e \text{Sen } \varphi_2 - 1} \right| - \frac{\text{Sen } \varphi_1}{1 - e^2 \text{Sen}^2 \varphi_1} - \frac{1}{2e} \text{Ln} \left| \frac{e \text{Sen } \varphi_1 + 1}{e \text{Sen } \varphi_1 - 1} \right| \right] \quad (5)$$

Ahora bien, dicha área puede ser ajustada con ayuda del método paramétrico, siguiendo: $n = 7, k = 4, r = 3$

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Suponiendo coordenadas (x_1, y_1) y (x_2, y_2) , y con ayuda de la fórmula de Young (Problema de bisección) tenemos (Y conociendo la base):

Ilustración 5. Ajuste geodésico propuesto. Fuente: Elaboración propia.

$$X_c = \frac{x_1 \cdot \text{Cot}(\gamma) + x_2 \cdot \text{Cot}(\alpha + \beta) + y_1 - y_2}{\text{Cot}(\gamma) + \text{Cot}(\alpha + \beta)}$$

$$Y_c = \frac{y_1 \cdot \text{Cot}(\gamma) + y_2 \cdot \text{Cot}(\alpha + \beta) + x_2 - x_1}{\text{Cot}(\gamma) + \text{Cot}(\alpha + \beta)}$$

Y de manera similar para D:

$$X_D = \frac{x_1 \cdot \text{Cot}(\gamma + \mu) + x_2 \cdot \text{Cot}(\beta) + y_1 - y_2}{\text{Cot}(\gamma + \mu) + \text{Cot}(\beta)}$$

$$Y_D = \frac{y_1 \cdot \text{Cot}(\gamma + \mu) + y_2 \cdot \text{Cot}(\beta) + x_2 - x_1}{\text{Cot}(\gamma + \mu) + \text{Cot}(\beta)}$$

Estableciendo ecuaciones:

$$\alpha = \alpha_{AD} - \alpha_{AC}$$

$$\beta = \alpha_{AB} - \alpha_{AD}$$

$$\mu = \alpha_{BD} - \alpha_{BC}$$

$$\gamma = \alpha_{BC} - \alpha_{BA}$$

$$a = \sqrt{(x_D - x_C)^2 + (y_D - y_C)^2}$$

$$b = \sqrt{(x_D - x_B)^2 + (y_D - y_B)^2}$$

$$a = \sqrt{(x_C - x_A)^2 + (y_C - y_A)^2}$$

Tomando claramente como parámetros X_c, Y_c, X_D, Y_D .

Con base en ello, se establece el volumen como:

$$V = A * P$$

Dicha P, puede ser vista también como $R_c - R_{L.A.E.} - 35$

Donde: R_c = Radio de la corteza en el área de estudio
 $R_{A.E.}$ = Radio limitante del volumen de estudio

∴

$$V = \frac{1}{2}(\psi_2 - \psi_1)(1 - e^2)a^2 \left[\frac{\text{Sen } \varphi_2}{1 - e^2 \text{Sen}^2 \varphi_2} + \frac{1}{2e} \text{Ln} \left| \frac{e \text{Sen } \varphi_2 + 1}{e \text{Sen } \varphi_2 - 1} \right| - \frac{\text{Sen } \varphi_1}{1 - e^2 \text{Sen}^2 \varphi_1} - \frac{1}{2e} \text{Ln} \left| \frac{e \text{Sen } \varphi_1 + 1}{e \text{Sen } \varphi_1 - 1} \right| \right] (R_c - R_{L.A.E.} - 35) \quad (6)$$

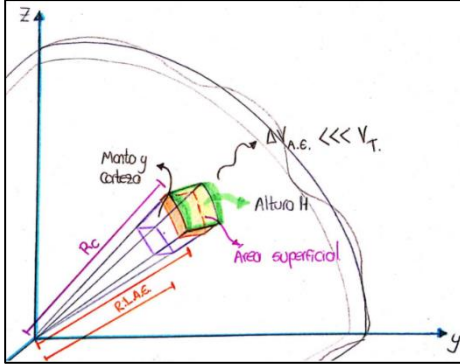


Ilustración 6. Variables de modelo isostático. Fuente: Elaboración propia.

Y sabiendo que:

$$\text{Masa} = \text{Volumen} * \text{Densidad}$$

Tenemos dos opciones de comparación:

1). Que el área de comparación se encuentre dentro de la corteza, en donde se tiene:

$$V_{A.E.} \cdot \rho_C = M_{A.E.} \quad \text{Con} \quad V_{A.E.} \lll V_T$$

Se establece la relación:

$$\frac{R_c - R_{L.A.E.}}{H} = \frac{M_{A.E.}}{M_i}$$

$$M_i = \frac{H \cdot M_{A.E.}}{R_c - R_{L.A.E.}}$$

$$M_i = \frac{H \cdot V_{A.E.} \cdot \rho_C}{R_c - R_{L.A.E.}} \quad (7)$$

2). Que el área de comparación se encuentre entre el manto y la corteza:

$$\Delta V_{A.E.C.} \cdot \rho_C + \Delta V_{A.E.M.} \cdot \rho_M = M_{A.E.} \quad \text{Con} \quad \Delta V_{A.E.C.}, \Delta V_{A.E.M.} \lll V_T$$

Se establece la relación:

$$\frac{R_c - R_{L.A.E.}}{H} = \frac{M_{A.E.}}{M_i}$$

$$M_i = \frac{H \cdot M_{A.E.}}{R_c - R_{L.A.E.}}$$

$$M_i = \frac{H \cdot \Delta V_{A.E.C.} \cdot \rho_C + \Delta V_{A.E.M.} \cdot \rho_M}{R_c - R_{L.A.E.}} \quad (8)$$

Ahora bien, se infiere que se presentará ocurrencia de errores, es por ello que (Con ayuda del método de mínimos cuadrados) se define:

$$V_{A.E.} = f(\psi_1, \psi_2, \varphi_1, \varphi_2, R_c, R_{A.E.})$$

$$\sigma_{V_{A.E.}} = \sqrt{\left(\left(\frac{\partial V_{A.E.}}{\partial \psi_1} \right) \Big|_0 (\sigma_{\psi_1})^2 + \left(\frac{\partial V_{A.E.}}{\partial \psi_2} \right) \Big|_0 (\sigma_{\psi_2})^2 + \left(\frac{\partial V_{A.E.}}{\partial \varphi_1} \right) \Big|_0 (\sigma_{\varphi_1})^2 + \left(\frac{\partial V_{A.E.}}{\partial \varphi_2} \right) \Big|_0 (\sigma_{\varphi_2})^2 + \dots \right.}$$

$$\left. \dots + \left(\frac{\partial V_{A.E.}}{\partial R_c} \right) \Big|_0 (\sigma_{R_c})^2 + \left(\frac{\partial V_{A.E.}}{\partial R_{A.E.}} \right) \Big|_0 (\sigma_{R_{A.E.}})^2 \right.}$$

$$M_{A.E.} = f(\psi_1, \psi_2, \varphi_1, \varphi_2, R_c, R_{A.E.}, \rho_{A.E.})$$

$$\sigma_{M_{A.E.}} = \sqrt{\left(\frac{\partial M_{A.E.}}{\partial V_{A.E.}}\right)_{I_0}^2 (\sigma_{V_{A.E.}})^2 + \left(\frac{\partial M_{A.E.}}{\partial \rho_{A.E.}}\right)_{I_0}^2 (\sigma_{\rho_{A.E.}})^2}$$

$$M_i = \frac{H \cdot \Delta V_{A.E.C.} \cdot \rho_C + \Delta V_{A.E.M.} \cdot \rho_M}{R_c - R_{L.A.E.}}$$

$$M_i = f(H, \Delta V_{A.E.C.}, \rho_C, \Delta V_{A.E.M.}, \rho_M, R_c, R_{L.A.E.})$$

$$\sigma_{M_i} = \sqrt{\left(\frac{\partial M_i}{\partial H}\right)_{I_0}^2 (\sigma_H)^2 + \left(\frac{\partial M_i}{\partial \Delta V_{A.E.C.}}\right)_{I_0}^2 (\sigma_{\Delta V_{A.E.C.}})^2 + \left(\frac{\partial M_i}{\partial \rho_C}\right)_{I_0}^2 (\sigma_{\rho_C})^2 + \left(\frac{\partial M_i}{\partial \rho_M}\right)_{I_0}^2 (\sigma_{\rho_M})^2 + \dots}$$

$$\dots + \left(\frac{\partial M_i}{\partial \Delta V_{A.E.M.}}\right)_{I_0}^2 (\sigma_{\Delta V_{A.E.M.}})^2 + \left(\frac{\partial M_i}{\partial R_c}\right)_{I_0}^2 (\sigma_{R_c})^2 + \left(\frac{\partial M_i}{\partial R_{L.A.E.}}\right)_{I_0}^2 (\sigma_{R_{L.A.E.}})^2$$

Con base en ello, se infiere un proceso iterativo del proceso anterior hasta obtener cercanía al valor verdadero:

- Para el caso 1:

$$M_i = \frac{(H + \sigma_H) \cdot (\Delta V_{A.E.} + \sigma_{\Delta V_{A.E.}}) \cdot (\rho_C + \sigma_{\rho_C})}{(R_c + \sigma_{R_c}) - (R_{L.A.E.} + \sigma_{R_{L.A.E.}})} \quad (9)$$

- Para el caso 2:

$$M_i = \frac{(H + \sigma_H) \cdot (\Delta V_{A.E.C.} + \sigma_{\Delta V_{A.E.C.}}) \cdot (\rho_C + \sigma_{\rho_C}) + (\Delta V_{A.E.M.} + \sigma_{\Delta V_{A.E.M.}}) \cdot (\rho_M + \sigma_{\rho_M})}{(R_c + \sigma_{R_c}) - (R_{L.A.E.} + \sigma_{R_{L.A.E.}})} \quad (10)$$

Para su correspondiente interpretación. Ahora bien, cuanto más pequeña sea el área de estudio se tendrá mayor exactitud, lo cual podrá ayudar al seguimiento del movimiento de masas y el estudio de las fuerzas producidas por dichas masas. (Esto con ayuda de la ley de gravitación universal)

$$F_G = \frac{G m_1 m_2}{d^2} \quad (11)$$

Ahora, ¿Qué uso se le puede dar a dicho modelo?, la respuesta es concreta, estudiar la condición de equilibrio gravitacional de una zona externa a la geosfera, con base en diferencias de altitud y presencia o no de masas. Entre los modelos más utilizados están Airy y Pratt, siendo de gran utilidad en el seguimiento del movimiento de masas y el cambio de densidades de las zonas de estudio, es por ello, que se considera importante resaltar el uso de las coordenadas obtenidas con la metodología presentada.

5. CONCLUSIONES

- El levantamiento de coordenadas con ayuda de móviles inteligentes podrá proporcionar acceso a propietarios que no cuenten con los recursos para un levantamiento predial profesional de alto nivel, partiendo de la lógica establecida en este escrito, se esperaría un acercamiento a un alinderamiento óptimo (Nótese que no se busca de ninguna forma reemplazar los procedimientos actuales, solo promover la tenencia y seguridad de la tierra a partir de aproximaciones en sitios de bajo interés gubernamental).

-Dado que Colombia ha tenido un fuerte conflicto interno, con todas las formas de violencia social se han propiciado fenómenos migratorios, abandono y despojo de tierras para su uso indiscriminado, así como el anonimato del campesino en la ciudad el cual será representado en ella por su documento de identidad y pasa a ser fuerza de trabajo.

- La tierra es un vehículo, que en el caso colombiano está sujeta al conflicto y los tipos de violencia territorial el estado juega un papel fundamental porque puede disminuir o propiciar los actos violentos enfocados en las situaciones rurales, por lo cual la herramienta de bajo costo es una forma de protección que las familias agrícolas pueden acudir con el apoyo del estado y las oficinas de registro de la propiedad los cuales tampoco cuentan con presupuesto suficiente para su funcionamiento, lo que podría hacer que la herramienta sea poderosa en estos casos así asegurando los derechos de propiedad sobre la tierra rural de difícil acceso.

Referencias

CENTRO NACIONAL DE MEMORIA HISTÓRICA. **Una nación desplazada: Informe nacional del desplazamiento forzado en Colombia 1** Ed. Bogotá, 2015. 215p Disponible en < http://www.centrodehistoria.gov.co/descargas/informes-accesibles/una-nacion-desplazada_accesible.pdf> Accedido 14 de Agosto. 2020.

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. **Ley 1448 de 2011**. 2011. Disponible en: <<https://www.unidadvictimas.gov.co/sites/default/files/documentosbiblioteca/ley-1448-de-2011.pdf>> Accedido 14 de agosto de 2020

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA CÁMARA DE REPRESENTANTES. **Cámara de Representantes aprueba creación de la Región Metropolitana de la Sabana**. 2020. Disponible en: <<https://www.camara.gov.co/camara-de-representantes-aprueba-creacion-de-la-region-metropolitana-de-la-sabana>> Accedido 14 agosto. 2020

GARCÍA LUNA, ALBERTO ALDEBARÁN. **Sistema de localización por GPS para dispositivos móviles Apple. TECNOLÓGICO DE MONTERREY**. Disponible en <<https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/632322/33068001104109.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Accedido el 14 de Agosto. 2020.

GUTIERREZ, L. M. ZONAS FRANCAS **Globalización, política pública y ordenamiento territorial el caso de Mosquera**. 2020. 78p Disponible en: < <http://bdigital.unal.edu.co/41977/1/19385273.2012.pdf> > Accedido 14 de agosto de 2020.

LAVERDAD ABIERTA. **Disputas de tierra ante la justicia**. 2019 Disponible en: <<https://verdadabierta.com/disputas-de-tierra-ante-la-justicia/agridulce-ha-sido-la-restitucion-de-tierras-en-colombia/#:~:text=Una%20ley%20en%20deuda,tierra%20entre%201980%20y%202010.>>> Accedido el 14 de Agosto. 2020

RIOS-AGUILAR, SERGIO. **Intelligent Position Aware Mobile Services for Seamless and Non-Intrusive Clocking-in**. Pontifical University of Salamanca en Madrid, Spain. International Journal of Artificial Intelligence and Interactive Multimedia, Vol. 2, No 5. 2014.

RUV. **Víctimas del conflicto** armado, 2020. Disponible en: < <https://www.unidadvictimas.gov.co/es/registro-unico-de-victimas-ruv/37394>> Accedido 14 de Agosto. 2020.

RUV. **Victimas del conflicto armado, 2019**. Disponible en: < (<https://www.unidadvictimas.gov.co/es/ruv/37385>)> accedido 14 de Agosto. 2020.

SOTO, JAIME. **Plataforma de geolocalización de centros de salud con tecnología móvil implementando el protocolo de comunicación hl7**. Universidad del Zulia, Venezuela. ISSN: 1856-4194. Volumen 9 Edición No 1 – Año 2010.

OTÁLORA, Y. V. **La transformación de las familias campesinas y la metropolización de Bogotá**. 2015. Disponible en: < <http://www.scielo.org.co/pdf/traso/n18/2256-5493-traso-18-127.pdf>> Accedido 14 de agosto de 2020.

TARRASÓ, ADRÌA SEGURA. **Caracterización de funcionalidades de los receptores GNSS en smartphones Android**. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Alicante. Septiembre de 2018.

ZITZEWITZ, MORITZ VON. **Android Smartphone als Fahrzeug Datenlogger**. Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik. 21 de Diciembre de 2012.