

DESPLAZAMIENTO Y VARIACIÓN DE COORDENADAS EN PARCELAS UBICADAS EN LAS ZONAS RURAL Y URBANA DEL MUNICIPIO DE HUATAJATA, UTILIZANDO LAS REDES GEODÉSICAS DEL INRA Y MARGEN

M.Sc. Franklin Quispe Troche
Universidad Mayor de San Andrés
Correo Electrónico: franklinquispe@gmail.com

Resumen

En Bolivia, el Instituto Nacional de Reforma Agraria (INRA) es responsable de realizar los levantamientos catastrales en áreas rurales, mientras que en las áreas urbanas esta tarea es competencia de los gobiernos autónomos municipales. Para ello, cada entidad utiliza su propia red geodésica. Con el objetivo de determinar el desplazamiento y la variación de coordenadas en parcelas ubicadas en las zonas rural y urbana del municipio de Huatajata, mediante el uso de la red geodésica del INRA y del Marco de Referencia Geodésico Nacional (MARGEN), se realizó la re mensura de 11 parcelas tituladas por el INRA, localizadas en la frontera entre ambas zonas. Se compararon los valores de coordenadas obtenidos en diferentes períodos para detectar posibles desplazamientos. Asimismo, se analizó la magnitud y dirección de la variación de coordenadas en las parcelas seleccionadas, evaluando la precisión y fiabilidad de las redes geodésicas utilizadas en el estudio. La investigación comenzó con una revisión bibliográfica, seguida de la recopilación de información, identificación del vértice PH012 de la red geodésica de Huatajata y el levantamiento de vértices y parcelas en campo. La metodología empleada en el levantamiento fue la técnica de posicionamiento en tiempo real mediante GPS RTK. El estudio determinó que existe variación en las coordenadas al utilizar la red geodésica SETMIN-INRA, empleada por el INRA, en comparación con la red geodésica del municipio de Huatajata, la cual está vinculada a la red MARGEN-ROC, particularmente en parcelas ubicadas en la zona limítrofe entre lo rural y lo urbano.

Abstract

In Bolivia, the National Institute of Agrarian Reform (INRA) is responsible for conducting cadastral surveys in rural areas, while in urban areas this task falls under the jurisdiction of municipal autonomous governments. For this purpose, each entity uses its own geodetic network. In order to determine the displacement and variation of coordinates in plots located in the rural and urban areas of the municipality of Huatajata, through the use of the INRA geodetic network and the National Geodetic Reference Framework (MARGEN), the re-measurement of 11 plots titled by the INRA, located on the border between both areas, was carried out. Coordinate values obtained from different periods were compared to detect possible displacements. The magnitude and direction of coordinate variation in the selected plots were also analyzed, assessing the accuracy and reliability of the geodetic networks used in the study. The research began with a bibliographic review, followed by

information gathering, identification of vertex PH012 of the Huatajata geodetic network, and the survey of vertices and plots in the field. The survey methodology used real-time positioning using RTK GPS. The study determined that there is variation in the coordinates when using the SETMIN-INRA geodetic network, used by INRA, compared to the Huatajata municipality geodetic network, which is linked to the MARGEN-ROC network, particularly in plots located on the border between rural and urban areas.

Palabras clave

Servicio Técnico de Minas, Marco de Referencia Geodésico Nacional, Red de Operación Continua, Posicionamiento Cinemático en Tiempo Real, Universal Transversal de Mercator.

1. Introducción

En la actualidad, Bolivia cuenta con información catastral rural levantada por el Instituto Nacional de Reforma Agraria (INRA). Sin embargo, si bien esta entidad dispone de manuales con metodologías y procedimientos elaborados por ellos mismos y aprobados mediante documentos oficiales, dichos documentos fueron desarrollados con fines específicos e incluyen información que no necesariamente será útil para otras instituciones, personas naturales o jurídicas interesadas en realizar levantamientos catastrales.

Asimismo, el INRA dispone actualmente de Normas Técnicas para el Saneamiento de la Propiedad Agraria, la conformación del catastro y el registro predial, en las cuales se establece que los trabajos técnicos relacionados con el saneamiento de tierras y la formación del catastro deben estar referenciados a las coordenadas de la Red Geodésica Nacional SETMIN-INRA.

En 1994, el Instituto Geofísico del Perú (IGP), en colaboración con el Carnegie Institution of Washington - DTM y la Universidad de Miami, implementó tecnología GPS para estudiar la deformación de la corteza terrestre causada por la convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica. En el marco del Proyecto SNAPP (South American Nazca Plate Motion Project), el IGP instaló 23 monumentos geodésicos en la región centro-sur del Perú. Esta red fue complementada por 20 estaciones adicionales instaladas por el Instituto Geográfico Militar (IGM) de Bolivia en las regiones andina y subandina, según Echalar (2010).

No obstante, esta red geodésica no fue diseñada para ser adoptada como el Marco de Referencia Geodésico de Bolivia, ya que los criterios empleados en su observación y medición tenían fines exclusivamente científicos relacionados con la geodinámica de las placas tectónicas.

A partir de la Red SNAPP se diseñó e implementó la Red para el Servicio Técnico de Minas (SETMIN), actualmente utilizada por el INRA en los procesos de saneamiento de tierras, conforme a un contrato con el IGM como parte de la ejecución del Catastro Minero. Esta red GPS establece valores de ajuste con diferencias no mayores a un metro y está referenciada a la Red SNAPP. Debido a su origen y propósito científico, la red GPS SETMIN-INRA no puede considerarse como un marco de referencia geodésico nacional; sin embargo, su uso está normado en los procesos de saneamiento rural ejecutados por el INRA.

En cuanto al contexto nacional, antes de la adopción del Marco Geodésico Nacional MARGEN (WGS84) - SIRGAS, Bolivia utilizaba un datum geodésico horizontal adoptado en 1956. A partir de este marco provisional, el IGM inició hace más de 75 años el establecimiento de la red geodésica de control horizontal, conformada por cientos de puntos que sirvieron de base para la elaboración de la cartografía básica del territorio en diversas escalas, como indica Echalar (2010).

Según la presentación de Echalar (2010) en la Reunión SIRGAS, celebrada el 12 de noviembre de 2010 en Lima, Perú, la utilización de técnicas satelitales para la determinación de coordenadas o trayectorias sobre la superficie terrestre requiere sistemas de referencia que permitan relacionar directamente la posición de los satélites con las coordenadas terrestres.

Cabe señalar que la Red de Operaciones Continuas, componente del Marco de Referencia Geocéntrico Nacional (MARGEN), forma parte de la Red SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas), la cual a su vez está conectada con el Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF, por sus siglas en inglés).

La Red GPS MARGEN-ROC (Red de Operación Continua) está compuesta por 42 estaciones, construidas gracias a la cooperación de diversas instituciones nacionales e internacionales, tales como el Proyecto de los Andes Centrales (CAP), el Instituto Geodésico de Alemania, la Escuela Militar de Ingeniería, el Instituto Geofísico del Perú, el Ejército de Bolivia y el IGM. Estas estaciones comenzaron a operar en mayo de 2004. Actualmente, ocho de estas estaciones forman parte de SIRGAS-CON, y se prevé la incorporación de al menos diez estaciones adicionales para fortalecer la Red GPS continental y global. Entre ellas, destaca la estación del IGM en Santa Cruz, una de las pocas que rastrea simultáneamente las constelaciones NAVSTAR, GLONASS, GALILEO y BEIDOU (Echalar, 2017).

En este contexto, se evidencia que el INRA utiliza una red geodésica con origen en 1994, la cual no está vinculada a la Red MARGEN. Por otro lado, algunos municipios ya han implementado sus propias redes geodésicas conectadas al sistema MARGEN-ROC del IGM. En consecuencia, se vuelve imprescindible verificar los datos de levantamientos realizados en las inmediaciones de áreas urbanas.

En síntesis, el problema que enfoca la investigación es determinar la variación de coordenadas con dos diferentes redes geodésicas en parcelas ubicadas en zonas rural y urbana del municipio de Huatajata.

La creación de redes geodésicas tiene como objetivo principal regular que todos los proyectos topográficos, geodésicos y cartográficos, ya sean ejecutados por entidades estatales, municipales o privadas, se integren en un único sistema de referencia geodésico.

Considerando lo descrito anteriormente, la presente investigación tiene como objetivo general: “analizar el desplazamiento y la variación de coordenadas en parcelas colindantes entre las áreas rural y urbana del municipio de Huatajata, mediante la comparación de datos obtenidos de la red geodésica SETMIN-INRA y la red geodésica municipal enlazada a la red MARGEN-ROC”.

El presente trabajo reviste importancia porque, a partir de sus resultados, el INRA debe considerar la adopción de la Red Geodésica del Marco de Referencia Geodésico Nacional de Operación Continua (MARGEN-ROC) en los trabajos de saneamiento de la propiedad agraria y en la formación del catastro rural, con el fin de evitar la superposición de datos técnicos en predios colindantes con áreas urbanas.

Asimismo, se considera la siguiente hipótesis: si se utilizan las coordenadas proporcionadas por la red geodésica SETMIN-INRA en áreas rurales colindantes a un área urbana, los vértices mensurados mantendrán las mismas coordenadas cuando se vuelvan a mensurar utilizando la red geodésica del municipio de Huatajata, la cual está enlazada a la red geodésica MARGEN-ROC.

Finalmente considerar que la evolución tecnológica y de las técnicas de mensura, especialmente con el uso de equipos GPS, ha permitido reducir significativamente los tiempos de trabajo en campo. En el presente trabajo se ha utilizado la técnica RTK (Real Time Kinematic).

2. Metodología y Desarrollo

Previo a la ejecución del trabajo de campo, se procedió con la recolección de información secundaria, una vez delimitada el área de estudio. Para tal efecto, se gestionó ante el Instituto Nacional de Reforma Agraria (INRA) la obtención de datos referentes a las parcelas tituladas colindantes con el área urbana del municipio de Huatajata. No obstante, dicha gestión no tuvo éxito, ya que el INRA no proporciona esta información ni a particulares ni a instituciones académicas. En consecuencia, los datos fueron obtenidos mediante fuentes alternas.

La información recopilada comprendió archivos en formato shapefile, correspondientes a parcelas tituladas y sus respectivos vértices (coordenadas), así como la cobertura urbana. Asimismo, se incorporó la monografía del vértice geodésico PH012, con coordenadas UTM: Este 533746.293 m y Norte 8207557.859 m, localizado en el municipio de Huatajata.

Cabe aclarar que, previo a la ejecución del trabajo de campo, se verificó la existencia de los mojones originales. No obstante, se constató que estos ya no se encontraban en el lugar. Por tal motivo, se procedió al replanteo utilizando las coordenadas proporcionadas por el INRA, tomando como punto base denominado CM-341, el cual fue empleado durante el proceso de saneamiento de los predios.

En la planificación del trabajo de campo se tomaron en cuenta los siguientes aspectos primordiales:

- Se realizó una visita anticipada al área de trabajo para identificar a los propietarios de las parcelas involucradas en el proyecto. También se consideraron los equipos e insumos a utilizar durante el trabajo de campo.
- Se definieron los equipos GPS RTK, sus accesorios y el material necesario para la ejecución del trabajo.
- Se identificó y reconoció la estación base de referencia a utilizar, en este caso el punto geodésico PH012, que forma parte de la red geodésica del municipio de Huatajata.
- Se coordinó con los propietarios de los terrenos, cuyas parcelas ya fueron tituladas en 2019 por el Instituto Nacional de Reforma Agraria (INRA). Asimismo, se estableció coordinación con el responsable de catastro del municipio de Huatajata.

La metodología empleada en el levantamiento fue la técnica de posicionamiento en tiempo real con GPS RTK. Se inició con el levantamiento de los vértices de las parcelas, utilizando un plano impreso como referencia para su control y al final se obtuvo un reporte de coordenadas de 42 vértices re mensurados.

En el desarrollo del trabajo de campo, se destaca que esta etapa constituye un componente fundamental para alcanzar los objetivos del proyecto.

Una vez planificada esta fase, se procedió a la ejecución utilizando equipos de alta tecnología, los cuales cumplían con las condiciones adecuadas de señal y precisión, lo que permitió obtener información confiable.

Previo al inicio de las actividades, se realizó la configuración correspondiente de los instrumentos, considerando sus características técnicas y los parámetros establecidos para este tipo de proyectos.

Para el levantamiento de los vértices de las parcelas que fueron tituladas por el INRA, se utilizó un equipo GPS instalado sobre el punto base PH012, ubicado en la Plaza de la Comunidad Chilaya y perteneciente a la red geodésica de Huatajata. Este punto fue densificado el 22 de agosto de 2013 y enlazado a las estaciones GPS BLPZ (Red MARGEN-ROC) y HU-001 (Red Pasiva) del Instituto Geográfico Militar. Con un GPS configurado como rover se realizó el levantamiento de los vértices.

La precisión horizontal de los equipos GPS utilizados para medición en tiempo real (RTK) es de ± 8 mm + 1 ppm. Para el desarrollo del trabajo se consideró un radio de 500 metros a partir de la estación base. Realizados los cálculos correspondientes, se obtuvo una tolerancia de 8.5 mm, la cual es inferior a 1 cm.

Los equipos utilizados para el desarrollo de la metodología fueron:

- 2 receptores GPS de doble frecuencia South Galaxy New Plus, con opción RTK.
- 2 antenas UHF.
- 2 baterías para estación base, con cargador dual.
- 2 baterías para rover, con cargador dual.
- 1 cable PC/USB para la controladora.
- 1 cargador para la controladora.
- 1 soporte para la controladora.
- 1 trípode de madera para la estación base.
- 1 base nivelante con conector.
- 1 bastón de 2,5 m para el rover.

Para el desarrollo de las actividades en terreno, se dispuso del siguiente material:

- Tablero de campo
- Hojas bond tamaño carta
- Bolígrafos

Para el procesamiento de datos, redacción de informes y demás labores administrativas, se contó con:

- Computadora de escritorio y computadora portátil
- Impresora
- Hojas bond tamaño carta

El traslado hacia el área de trabajo se realizó utilizando un vehículo particular.

Se utilizaron los siguientes programas especializados para el levantamiento, procesamiento y análisis de datos geoespaciales:

- MicroSurvey FieldGenius v10.0.27.1
- ArcGIS 10.5 – ArcMap (ESRI)
- Software de postproceso y ajuste: Trimble Business Center (TBC) v5.2 y Leica Geo Office (LGO) v8.4.

3. Resultados

Análisis comparativo de coordenadas UTM del INRA y levantamiento de vértices.

Tabla 1: Coordenadas UTM, WGS84, Zona 19 Sur de Vértices titulados y las levantadas con la tecnología RTK

PUNTO	COORDENADAS UTM TITULADOS SEGÚN INRA CON REFERENCIA CM-341		COORDENADAS UTM SEGÚN LEVANTAMIENTO CON REFERENCIA PH012		DIFERENCIA DE COORDENADAS		DIFERENCI A TOTAL (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)	ESTE (m)	NORTE (m)	Dif. Este (m)	Dif. Norte (m)	
1	533889.668	8207690.556	533889.276	8207690.939	0.392	-0.383	0.548
2	533900.706	8207710.528	533900.321	8207710.927	0.385	-0.399	0.554
3	533903.034	8207709.621	533902.627	8207710.045	0.407	-0.424	0.588
4	533915.976	8207738.159	533915.584	8207738.567	0.392	-0.408	0.566
5	533920.744	8207742.201	533920.352	8207742.601	0.392	-0.400	0.560
6	533913.880	8207746.850	533913.468	8207747.260	0.412	-0.410	0.581
7	533897.103	8207762.804	533896.688	8207763.258	0.415	-0.454	0.615
8	533909.076	8207800.285	533908.684	8207800.693	0.392	-0.408	0.566
9	533915.684	8207827.679	533915.259	8207828.095	0.425	-0.416	0.595
10	533917.692	8207835.743	533917.341	8207836.141	0.351	-0.398	0.531
11	533906.204	8207839.640	533905.801	8207840.067	0.403	-0.427	0.587
12	533909.379	8207852.128	533909.003	8207852.562	0.376	-0.434	0.574
13	533872.645	8207872.708	533872.244	8207873.126	0.401	-0.418	0.579
14	533864.299	8207877.384	533863.898	8207877.789	0.401	-0.405	0.570
15	533868.509	8207897.477	533868.131	8207897.909	0.378	-0.432	0.574
.							
.							
40	533937.791	8207694.241	533937.436	8207694.650	0.355	-0.409	0.542
41	533937.256	8207689.755	533936.863	8207690.191	0.393	-0.436	0.587
42	533923.811	8207679.570	533923.425	8207679.995	0.386	-0.425	0.574
SUMATORIA TOTAL					16.411	-17.581	24.068
VALOR PROMEDIO (ABS):					0.391	-0.419	0.573
VALOR MINIMO (ABS):					0.333	-0.379	0.531
VALOR MAXIMO (ABS):					0.440	-0.470	0.622

4. Discusión

Con el objetivo de verificar la precisión de las coordenadas, se realizó el levantamiento de los vértices de parcelas tituladas por el INRA, utilizando como punto base el vértice PH002, perteneciente a la red geodésica del municipio de Huatajata. Para este levantamiento se empleó la metodología RTK (cinemática en tiempo real).

Una vez realizados los cálculos correspondientes, se obtuvo una variación promedio en las distancias entre coordenadas de 0.57 m. Esta diferencia representa la discrepancia entre las coordenadas tituladas proporcionadas por el INRA y las obtenidas mediante el levantamiento de vértices efectuado en campo.

En el análisis de los resultados obtenidos a partir del levantamiento de vértices, se observa que el error medio cuadrático (RMS) en la componente Este presenta un valor promedio de 0.005 m. De manera similar, la componente Norte muestra un RMS promedio de 0.005 m, mientras que en la componente de elevación se alcanza un promedio de 0.011 m.

Cabe aclarar que, según las normas técnicas del INRA, el levantamiento catastral de predios rurales se realiza con precisiones submétricas, utilizando la red geodésica SETMIN-INRA, que data de hace aproximadamente 25 años. Sin embargo, esta situación puede generar problemas de sobreposición en parcelas colindantes con áreas urbanas, dado que los municipios cuentan con sus propias redes geodésicas. En el caso del municipio de Huatajata, por ejemplo, este posee una red geodésica enlazada a la red MARGEN del IGM, la cual forma parte de la Red SIRGAS.

Para el INRA, las coordenadas obtenidas a partir de su red geodésica no generan inconvenientes en el momento del levantamiento de los predios. No obstante, al replantar parcelas colindantes con áreas urbanas como se ha podido constatar se presentan diferencias y variaciones superiores a medio metro, lo cual resulta significativo y problemático para un municipio con características urbanas.

Los resultados obtenidos presentan un carácter significativo, toda vez que evidencian la obsolescencia de la red geodésica del Instituto Nacional de Reforma Agraria (INRA), situación que condiciona la necesidad de vincular sus mensuras catastrales a la Red MARGEN, administrada por el Instituto Geográfico Militar (IGM).

Con el propósito de efectuar un análisis comparativo con otros estudios, se procedió a la revisión de antecedentes relacionados con la problemática, constatándose la ausencia de investigaciones específicas que posibiliten la comparación o validación de resultados previamente obtenidos.

Asimismo, durante el proceso de recopilación de información técnica del INRA, se identificó como una limitación significativa la falta de proporcionar datos que permitan determinar desplazamientos y verificar las variaciones de coordenadas asociadas a la nueva mensura de vértices.

5. Conclusiones

Según el reporte obtenido del INRA, para la mensura de los vértices de las parcelas y su posterior titulación, se utilizó como punto base el CM-341 de la red geodésica SETMIN-INRA. Este punto no está enlazado a una Red MARGEN, ni posee una época de referencia o un Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF). No obstante, con el fin de determinar la precisión en futuras investigaciones, se recomienda realizar una nueva observación del punto CM-341 para evaluar su precisión actual y posibles desplazamientos, considerando que puede ser uno de los factores para corroborar las diferencias encontradas.

De este modo, se determinó la existencia de una variación en las coordenadas al comparar la red geodésica SETMIN-INRA, empleada por el INRA, con la red geodésica del municipio de Huatajata, la cual se encuentra enlazada a la red MARGEN-ROC. Esta discrepancia fue particularmente evidente en las parcelas colindantes entre las áreas rural y urbana, donde se registraron diferencias promedio de hasta 0.57 m. Dichas diferencias, aunque se encuentran dentro de las tolerancias establecidas por el INRA para procesos de saneamiento, pueden resultar significativas en contextos donde se requiere alta precisión geométrica, como en catastros urbanos, planificación territorial detallada o integración con infraestructura moderna.

Con el fin de constatar esta variación encontrada, se sugiere aplicar la misma metodología de análisis en otros municipios donde el INRA haya llevado a cabo procesos de saneamiento. La replicación del estudio en diferentes contextos territoriales permitirá corroborar la existencia de desplazamientos sistemáticos y variaciones en las coordenadas, así como evaluar la consistencia y precisión de la red geodésica SETMIN-INRA a nivel nacional.

Referencias

- Cardozo Rojas, J. S., & Arenas Acosta, J. A. (2016). *Metodología para levantamientos topográficos planimétricos de predios rurales.*
- Casanova, L. M. (2019). *Levantamiento.*
- Copa Hermo, H. (2019). *Determinación de coordenadas UTM obtenidas mediante el posicionamiento puntual preciso (PPP) en línea y su variación con coordenadas obtenidas mediante el post proceso de datos GNSS.*
- Echalar Rivera, A. (2010). *Ajuste de marco de referencia geodésico nacional de Bolivia en SIRGAS MARGEN-SIRGAS.*
- Ferreccio, N. (2006). *Análisis de la técnica RTK.*
- Gobierno Autónomo Municipal de La Paz - UATG. (2015). *Guía técnica para levantamientos topográficos.*
- Gorgas, J., Cardiel, N., & Zamorano, L. J. (2011). *Estadística básica para estudiantes de ciencias.* Universidad Complutense de Madrid.
- Instituto Nacional de Reforma Agraria. (2008). *Normas técnicas para el saneamiento de la propiedad agraria, conformación del catastro y registro predial.* La Paz, Bolivia.
- Jiménez Calero, N. M., Magaña Monge, A. O., & Soriano Melgar, E. (2019). *Ánalisis comparativo entre levantamientos topográficos con estación total como método directo y el uso de drones y GPS como métodos indirectos.*
- Martínez Mejía, J. R. (2009). *Levantamiento topográfico basado en equipo GPS con comunicación inalámbrica y publicación de resultados en aplicativo web.*
- Peñafiel, J., & Zayas, J. (2001). *Fundamentos del sistema GPS y aplicaciones en la topografía.*
- Santamaría Peña, J., & Sanz Méndez, T. (2005). *Manual de prácticas de topografía y cartografía.*
- DJI Enterprise México. (s. f.). *¿Qué es el famoso RTK y para qué sirve?*
<https://www.djienterprisemexico.com/post/qu%C3%A9-es-el-famoso-rtk-y-para-qu%C3%A9-sirve>
- Fantomas750. (s. f.). *Tabla t-student.* <https://es.slideshare.net/fantomas750/tabla-tstudent>
- Helixnorth. (s. f.). *Sistema georreferenciado de datos RTK y PPK: ¿Cuál es mejor?*
<https://www.helixnorth.com/blog/sistema-georreferenciado-de-datos-rtk-y-ppk-que-es-mejor>
- Quispe Troche, F. (2025): "Desplazamiento y variación de coordenadas en parcelas ubicadas en las zonas rural y urbana del municipio de Huatajata, utilizando las redes geodésicas del INRA y MARGEN", RIAG-G, N°1, p. 55-65

Tecnoceano. (s. f.). *Levantamientos topográficos usando RTK*. <https://blog.tecnoceano.com/levantamientos-topograficos-usando-rtk/>

Wikipedia. (s. f.). *RTK (navegación)*. [https://es.wikipedia.org/wiki/RTK_\(navegaci%C3%B3n\)](https://es.wikipedia.org/wiki/RTK_(navegaci%C3%B3n))