

**NOTA TECNICA**  
**GEORREFERENCIACION DE PUNTOS ALTIMETRICOS IGM PARA LA**  
**PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO.**

*Lucrecia Galván, Claudia Infante e Iber Goitea.*

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Universidad Nacional de Santiago del Estero.  
Av. Belgrano (S) 1912. lgalvan@unse.edu.ar

**RESUMEN**

Los avances importantes experimentados desde hace un par de décadas por la tecnología satelital y la informática hicieron posible que estudios tales como el modelado del geoide y la materialización de un sistema de referencia vertical único para el continente americano tengan la expectativa de concreción en un mediano plazo.

El uso sostenido del GPS para diferentes aplicaciones demanda la necesidad de disponer de modelos geoidales a fin de lograr un mejor aprovechamiento de los mismos. Las alturas con GPS si bien se logran con precisiones milimétricas en el presente, su aplicación es limitada cuando se requiere la materialización de superficies equipotenciales. Los desniveles que provienen de una nivelación clásica y los obtenidos con técnicas GPS no son idénticos, ni en sus consideraciones conceptuales ni numéricas.

Asimismo los lineamientos impuestos por los organismos internacionales de definir y materializar, en particular, un sistema de referencia vertical único para el continente, requiere, entre otras, la ejecución de algunas tareas tales como el cálculo de las cotas geopotenciales de las redes de nivelación de cada país, como así también la instalación de mareógrafos a lo largo de la costa continental con la finalidad de detectar y corregir movimientos en la corteza terrestre y las variaciones en el nivel medio de los océanos. Estas actividades están siendo desarrolladas por el Grupo de Trabajo III del Proyecto SIRGAS. En nuestro país diversos grupos de investigadores provenientes de diferentes universidades (La Plata, Rosario, entre otras) junto al IGM (Instituto Geográfico Militar) han abordado científicamente esta problemática. La suscripción de convenios internacionales permite la cooperación científica y la vinculación de las redes de nivelación nacional a las redes de nivelación de los países limítrofes, entre otros objetivos.

En todos los casos se impone la necesidad de la recopilación, revisión, homogeneización, georreferenciación y digitalización de la información altimétrica del país en general y en particular de las provincias que lo integran. En ese sentido se presenta en este trabajo la actividad desarrollada para georreferenciar los puntos altimétricos del IGM para la provincia de Santiago del Estero. Este grupo de trabajo ha recopilado la información cartográfica del IGM del territorio provincial y se encuentra recopilando la información altimétrica. Asimismo se están georreferenciando los puntos con la finalidad de conformar un banco digital y su representación en un mapa base de la provincia. Se muestran los resultados obtenidos hasta el presente, para la provincia. Se exponen las particularidades más sobresalientes de la información obtenida, como así también se establecen las expectativas futuras para la continuidad del trabajo y las posibles soluciones a la problemática planteada. Se espera que la concreción de los objetivos del proyecto sea una contribución a los estudios científicos del tema ya iniciados en el país.

**Palabras claves:** alturas-redes de nivelación-georreferenciación-GPS-geoide.

**ABSTRACT**

The important advances experimented by GPS and technology in the last two decades have allowed studies like geoid model and a unique vertical reference system for the continent which can be done in a short period of time.

The usage of GPS for different applications brings the need of getting geoid models to have better results. Heights are very precisely when using GPS, however its application is limited when materialization of surfaces is required. Different levels obtained using the classic measurements are not identical to the ones obtained using GPS, they are different on their conceptual and numerical considerations.

The regulations established by the international organizations to define and materialize a system of vertical reference, which will be unique for the continent, would require different tasks like the calculation of geopotential component of each country's leveling network and the installation of tide gauge tide along the continental coast to detect and correct the movements of the Earth's crust and the variations of the ocean's medium levels. The relationship among the countries leveling network is another issue connected with our topic ( or objective).

These tasks are being developed by Project SIRGAS Work Group III. In our country, different groups of investigators from different universities together with the IGM (Military Geographic Institute) have presented this issue.

International agreements allow scientific cooperation and the relationship of national networks with neighboring countries.

All this requires the need of reviewing, revising, homogenizing, georeferencing and digitalizing the information (of heights) of the country in general and in particular of the provinces (states) that exist in it. We would like to present this project and explain the methodology used for the georeferencing of benchmarks of IGM for Santiago del Estero. We have collected the cartographic information of IGM of the province's terrain and we are collecting the leveling information. We are also taking notes of the geographical points to be able to form a digital bank and its representation on a province's map. The results obtained to the present are showed to the province. We have highlighted the most important information, we have established the future expectations to continue with this project and we have given the possible solutions to the problem. We hope to have concrete results and that the project could be a contribution to the scientific studies already existing in our country.

**Keywords:** heights-leveling networks-geocentric coordinates-GPS-geoid.

## INTRODUCCION

La definición de un sistema vertical único de referencia y el modelado del geode son tareas que se vienen desarrollando por diferentes instituciones científicas y educativas a nivel nacional e internacional (Moirano *et al.*, 2002; Pacino *et al.*, 2000; Perdomo *et al.*, 2002; Zhan-ji and Yong-qi, 1999, Del Cogliano y Perdomo, 2001; Lauría *et al.*, 2003). A fin de contribuir con la continuidad de los estudios inherentes a esta problemática es que se considera prioritaria la revisión de las redes altimétricas existentes (Galván *et al.*, 2005). En nuestro país el Instituto Geográfico Militar es el organismo oficial encargado de la medición, materialización y conservación de las mismas (IGM, 1979; IGM, 1983). La red altimétrica de I Orden que cubre la totalidad del territorio nacional está completamente medida. Cabe

destacar los años de esfuerzo por parte del IGM para la concreción de estos trabajos. La red altimétrica de I Orden dispone de información planimétrica pero con exactitudes variables. Las tareas que involucran la identificación y ubicación de las marcas son difíciles de ejecutar sin esa información. El grupo de trabajo de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la Universidad Nacional de Santiago del Estero en cooperación con el Instituto Geográfico Militar se encuentra elaborando un banco de datos digital altimétricos para la provincia. El objetivo final de este proyecto es la recopilación, revisión, evaluación del estado de conservación y la georreferenciación de los puntos fijos de la Red de I Orden para la provincia y su vinculación con la Red Geodésica Nacional. A fin de transitar hacia ese objetivo es que se ha elaborado una metodología para el reconocimiento

de los puntos y su consecuente georreferenciación en el ámbito del territorio provincial. En este trabajo se presenta la Red de I Orden para la provincia. Se analizan los resultados obtenidos hasta el presente y se evalúa la prosecución de las tareas.

**DESCRIPCION Y RESULTADOS**

La Red Altimétrica de I Orden Nacional está referida al nivel medio del mar. Está constituida por polígonos cerrados que cubren el territorio de la República Argentina y por polígonos periféricos sobre el litoral marítimo y límites internacionales. Estos polígonos son líneas de nivelación de alta precisión que tienen como puntos de inicio y cierre a los nodales. Estos puntos altimétricos de primera categoría (nodales) se encuentran materializados en las plazas de los pueblos y ciudades. Las redes están desarrolladas a lo largo de rutas y caminos. La condición de cierre impuesta por el IGM para estas líneas es de  $3 \text{ mm } \sqrt{l} [\text{km}]$ . Son 87529 km de nivelación de alta precisión y precisión y 72805 km de nivelación topográfica (IGM, 1979; IGM, 1983).

La provincia de Santiago del Estero se encuentra ubicada entre los extremos latitudinales del Norte: paralelo de  $25^{\circ} 39' \text{ S}$ , entre los meridianos de  $61^{\circ} 43' \text{ O}$  y  $63^{\circ} 25' \text{ O}$ ; al Sur: Punto al E de la Laguna de los Patos, Lat  $30^{\circ} 28' \text{ S}$ ; Long  $62^{\circ} 08' \text{ O}$ . Entre los extremos longitudinales del Este: Meridiano de  $61^{\circ} 43' \text{ O}$ , entre los paralelos de  $25^{\circ} 39' \text{ S}$  y  $28^{\circ} 00' \text{ S}$  y al Oeste: Punto al NO, de la localidad de San Pedro. Lat  $27^{\circ} 55' \text{ S}$ ; Long  $65^{\circ} 12' \text{ O}$ . Tiene una superficie de  $136351 \text{ km}^2$ . Tabla 1.

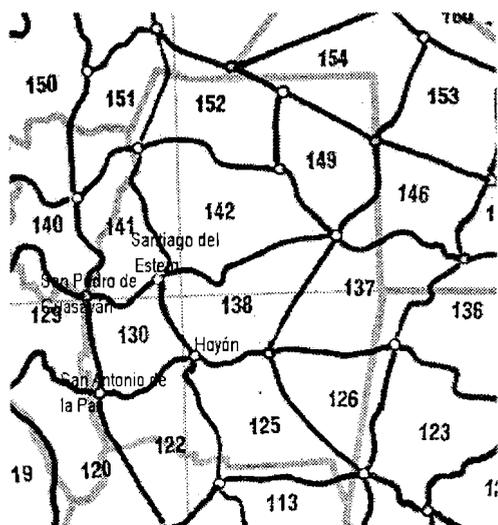
La provincia dispone de 9 Nodales de la Red Altimétrica de I Orden, tal como se muestra en la Figura 1. Los mismos se encuentran en las localidades de Monte Quemado, Quimilí, Santiago del Estero, Campo Gallo, Santos Lugares, Rapelli, San Pedro de Guasayán, Hoyón y Colonia Dora. Los

**Tabla 1.** Posición Geográfica y Superficie de Santiago del Estero.

Extremos Latitudinales y Longitudinales Santiago del Estero		Superficie de la Provincia
$\phi$	$\lambda$	
$25^{\circ} 39' \text{ S}$	$61^{\circ} 43' \text{ O}$	$136351 \text{ Km}^2$
$30^{\circ} 28' \text{ S}$	$65^{\circ} 12' \text{ O}$	

polígonos que se desarrollan en la provincia son el 122, 125, 126, 130, 138, 137, 141, 142, 149, y 152, partes del 151 y 154. Los itinerarios de los polígonos están trazados a lo largo de las rutas de mayor importancia de la provincia tales como la Ruta Nacional N9, la Ruta Nacional N34, la Ruta Nacional N16, entre otras.

La cantidad de puntos fijos (PF) de nivelación entre nodales es variable. Como ejemplo se muestra en particular el polígono 130. Los nodales de este polígono son el 171, 178, 183 y 184, pertenecientes a las localidades de San Antonio de la Paz, Hoyón, Santiago del Estero y San Pedro de Guasayán. Los puntos fijos altimétricos para la línea N(181) son 61, para la línea N(182) son 38, para la línea N(183) son 42 y para la línea N(189) son 36. Tabla 2.



**Figura 1.** Red de Nivelación de Alta Precisión de Santiago del Estero.

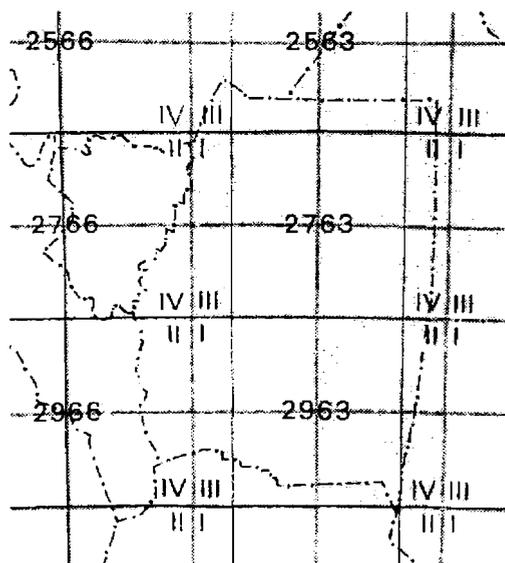
El total de puntos fijos para este polígono es de 177. Para la provincia se estima alrededor de 797 puntos fijos altimétricos.

En relación a la cartografía oficial para la provincia la misma dispone de cartas topográficas a escalas 1:500.000 y 1:250.000. Las cartas 2763 y 2963 a escala 1:500.000 cubren casi totalmente la superficie de la provincia. El resto se distribuye en partes de las cartas 2563, 2766 y 2966. La cartografía a escala 1:250.000 se distribuye principalmente en las cartas 2763-I, 2763-II, 2763-III, 2763-IV y 2963-I, 2963-II, 2963-III, 2963-IV. Las cartas 2563-III y 2563-IV cubren al norte de la provincia, la 2766-II y 2766-IV al NO de la provincia y las cartas 2966-II y 2966-IV hacia el SO. La cartografía a escala 1:250000 proporciona información altimétrica, en forma de curvas de nivel cada 25 m y puntos altimétricos con alturas expresadas al decímetro. Figura 2.

Se ha abordado el estudio de algunas líneas de nivelación en particular y se han extraído de las cartas 1:250.000 las coordenadas geodésicas Campo Inchauspe (CI) y las coordenadas geodésicas de los puntos altimétricos, esto es la latitud y longitud, elipsoide de referencia, Campo Inchauspe. Se han transformado esas coordenadas a geodésicas: latitud y longitud, elipsoide de referencia WGS'84. Esta última transformación se hace necesaria para que los puntos queden expresados en el sistema en el que los receptores GPS proporcionan sus coordenadas. Asimismo se hace necesaria la futura vinculación a la Red Geodésica Nacional expresada en este sistema.

**Tabla 2.** Nomenclatura de Nodales y Líneas de Nivelación para el Polígono 130.

Polígono	Nodales	Líneas de nivelación	Puntos fijos
130	171-178	N(181)	61
	178-184	N(182)	38
	184-183	N(183)	42
	183-171	N(189)	36
TOTAL			177



**Figura 2.** Cartografía Oficial para la provincia.

Un ejemplo de la aplicación implementada se observa en la Tabla 3 donde se muestran 8 puntos fijos de la línea 182 entre los nodales 184 a 172. Se muestran las coordenadas geodésicas Campo Inchauspe (CI) y las coordenadas geodésicas (WGS'84).

Las tareas de campaña ejecutadas hasta el presente han demandado la necesidad de disponer de un receptor GPS de código y una cámara digital fotográfica, a fin de georreferenciar los puntos fijos y documentar fotográficamente la existencia o el estado de conservación de los mismos.

En relación a la documentación técnica, la misma consiste de las coordenadas calculadas de acuerdo a la Tabla 3, los gráficos de las líneas de nivelación, itinerarios y las monografías de los puntos (IGM).

La información que proporcionan los gráficos de los itinerarios de nivelación, consiste en la orientación del itinerario, la denominación de los puntos fijos (numeración correlativa arábiga), el kilometraje desde el nodal de arranque hasta nodal destino. Asimismo muestra la denominación de las localidades de importancia por las que atraviesa el

**Tabla 3.** Transformación de coordenadas CI a WGS'84

Puntos Fijos IGM	Designación	Coordenadas Carta (CI)		Coordenadas WGS 84	
		Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
1	Santiago del Estero	-27° 47' 4",65	-64° 15' 14",45	-27° 47' 2",45	-64° 15' 17",16
2	Santa María	-27° 57' 45",61	-64° 12' 48",75	-27° 57' 43",42	-64° 12' 51",46
3	Est. Simbol	-28° 5' 43",64	-64° 12' 41",53	-28° 5' 41",46	-64° 12' 44",24
4	Ap. Km 120	-28° 9' 17",91	-64° 11' 55",38	-28° 9' 15",73	-64° 11' 58",09
5	Ap. Km 112	-28° 13' 46",69	-64° 11' 4",61	-28° 13' 44",52	-64° 11' 7",32
6	Est. Loreto	-28° 33' 7",33	-64° 10' 27",69	-28° 33' 5",18	-64° 10' 30",41
7	San Gregorio	-28° 23' 40",08	-64° 5' 27",69	-28° 23' 37",92	-64° 5' 30",40
8	Hoyón	-28° 24' 43",16	-63° 57' 20",10	-28° 24' 41",00	-63° 57' 22",79

mismo, la existencia de caminos, red ferroviaria, edificios que se destacan por su importancia edilicia y de servicio para la educación, salud, etc., tal como el caso de hospitales y escuelas.

En particular se ha relevado con esta metodología gran parte de la línea de nivelación 182. Son 101 km de nivelación. Inicialmente la red ha materializado 38 puntos fijos. En general se advierte el deterioro y en algunos puntos la inexistencia de los mismos. Se observan trabajos de limpieza y reconstrucción de las zonas de ruta. Por otro lado muchos puntos se encuentran sobre trazas antiguas de caminos. Asimismo se debe destacar que una gran cantidad de puntos se encuentran en las zonas cercanas a las vías del ferrocarril, que como consecuencia del estado de abandono y el total deterioro que se puede observar de las mismas, incluso el desmoronamiento de los taludes, hacen presumir la escasa posibilidad de su ubicación. La construcción de acequias es otro factor observado en este itinerario.

Otro punto importante para destacar son las características constructivas de los nodales y de los puntos fijos. Los nodales miden 1.20 m de lado. En general los nodales de la provincia se encuentran en buen estado de conservación. Los puntos fijos altimétricos miden 0.20 m de lado.

### CONCLUSIONES

Las tareas de georreferenciación de los nodales de la provincia, en lo que se refiere a su reconocimiento y posicionamiento no ha ofrecido dificultades, ya que su materialización es importante desde el punto de vista constructivo (1.20 m), como así también, por su ubicación, ya que se encuentran en localidades de importancia y son en la mayoría de los casos conocidos. Las actividades descritas en este trabajo conducen a lograr la ubicación y posicionamiento de los puntos fijos entre nodales. Los puntos fijos ofrecen mayor dificultad para su ubicación debido a varios factores: la escala de la cartografía disponible para la provincia proporciona entornos de búsqueda del punto en un radio de 250 m, la monumentación es de menor envergadura que los nodales (0.20 m), muchos de ellos han sido destruidos situación que entorpece la búsqueda del siguiente punto, ya que en los gráficos de los itinerarios, el kilometraje es otro de los controles que se practican a fin de ubicar el mismo. Se ha ordenado el estudio de las líneas de nivelación en orden de complejidad de acceso a los itinerarios. Se considera prioritario, en una primera etapa, el relevamiento de las líneas que tienen como origen el Nodal 184. La provincia

dispone de 797 puntos fijos de nivelación de la red originalmente medida por el IGM. La georreferenciación de la totalidad de los mismos es una tarea que demandará tiempo y esfuerzo. Toda la información se está volcando a un banco de datos digital de coordenadas de puntos fijos altimétricos para la provincia de Santiago del Estero.

**Agradecimientos:** El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación “Validación de alturas para la Provincia de Santiago del Estero tendiente a lograr un modelo de corrección”, financiado por el Consejo de Investigación de Ciencia y Técnica (CICYT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Asimismo se desea agradecer la cooperación que proporciona el Instituto Geográfico Militar a este Proyecto, en el Marco del Convenio que se encuentran suscribiendo ambas instituciones. En particular al Tte. Cnel. Eduardo Lauría y Agrim. Rubén Ramos.

## REFERENCIAS

- Del Cogliano, D y R. Perdomo. 2001. Geodesia y GPS. Curso de Actualización. FCAYG. UNLP.
- Del Cogliano, D., E. Lauria, A. Hermosilla, E. D’Onofrio, R. Perdomo, R. Maturana, J.L.Hormacchea, W. Rubio, S. Cimbaro y L. Mendoza. 2002. Diferencias entre las redes altimétricas de Chile y Argentina. Actas XXI Reunión Científica de Geofísica y Geodesia. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Rosario. Argentina.
- Galván, L., C. Infante, I. Goitea, H. Laitán y L. Abregú. 2005. Análisis preliminar de la información altimétrica para Santiago del Estero. Actas 4 Jornadas de Ciencia y Técnica. Universidad Nacional de Santiago del Estero. D25-O.
- <http://www.geoargentina.com.ar/geodesia.asp>
- Instituto Geográfico Militar. 1983. Guía de la República Argentina para Investigaciones Geográficas. 119-120.
- Instituto Geográfico Militar. 1979. 100 Años en el Quehacer Cartográfico del País. pp 112.
- Lauría, E., F. Galbán, C. Brunini, G. Font, R. Rodríguez y C. Pacino. 2002. El Sistema de Referencia Vertical en la República Argentina. Informe IGM, UNLP, UNR. pp I-VI.
- Moirano, J., C. Brunini, G. Font, E. Lauria y R. Ramos. 2002. Hacia una nueva referencia vertical en Argentina. Actas XXI Reunión Científica de Geofísica y Geodesia. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Rosario. Argentina.
- Pacino, M.C., G. Font, C. Tocho y L. Blitzkow. 2000. Nuevos resultados en el modelo geoidal de Argentina. Actas. XX Reunión Científica de Geofísica y Geodesia. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Mendoza. Argentina.
- Perdomo, R., D. Del Cogliano y L. Mendoza. 2002. Nuevos avances en la determinación de un modelo de transformación de alturas para la provincia de Buenos Aires. Actas XXI Reunión Científica de Geofísica y Geodesia. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Rosario. Argentina.
- Zhan-ji, Y. and C. Yong-qi. 1999. Determination of local geoid with geometric method: case study. Jour. of Surveying Engineering. 125,3.