

APLICACION DEL MODELO DE TRANSFORMACION DE ALTURAS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, EN EL PARTIDO DE GENERAL MADARIAGA

Diego Bagú¹, Raúl Perdomo^{1,2}, Daniel Del Cogliano^{1,2} y Luciano Mendoza¹

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas - Universidad Nacional de La Plata
² CONICET

dbagu@carina.fcaglp.unlp.edu.ar, perdomo@fcaglp.unlp.edu.ar, daniel@fcaglp.unlp.edu.ar,
lmendoza@carina.fcaglp.unlp.edu.ar

RESUMEN

Durante el año 2005 se repitió una experiencia realizada en el partido de Gral. Lavalle (Perdomo *et al.*, 2004), que consistió en el relevamiento de cotas a lo largo de toda la red de caminos rurales del partido y el posicionamiento de alcantarillas, puentes y cruces de agua. La metodología empleada consistió en el posicionamiento GPS cinemático con estaciones de control vinculadas a la red GEOBA98. De esta manera, se recorrieron unos 600 km. obteniendo cotas para unos 20000 puntos y 485 obras de arte (alcantarillas y puentes) en 5 días de campaña. Las alturas así obtenidas son elipsóidicas. La aplicación del modelo de transformación de alturas FCAG98 (Perdomo y Del Cogliano, 1999) sobre este conjunto de puntos permitió obtener una primera aproximación de las cotas sobre el nivel medio del mar.

En esta oportunidad, se realizó un control del modelo existente eligiendo como puntos de control cuatro mojones IGM con cota conocida ubicados en zonas de borde del partido. En cada uno de ellos se puede estimar la ondulación del geoide (N) como la diferencia entre la altura elipsóidica y la cota IGM y comparar este resultado con el producido por el modelo existente (FCAG98).

Dos de los cuatro puntos mostraron desvíos de 4 y 9 cm. Se incorporó ambos puntos a un nuevo modelo zonal mejorando la calidad del modelo FCAG98 en dicha región. Con esta corrección se estima que la transformación de alturas elipsoidales en alturas sobre el nivel medio del mar (cotas) en la zona es mejor que 5 cm. Los relevamientos se realizaron con una antena sujeta a un vehículo en movimiento. En consecuencia, es necesario considerar los errores que esto introduce en la realización de cada punto observado. Para obtener una estimación objetiva se tuvieron en cuenta 210 puntos de control en las cuales se midió dos o más veces en forma independiente y desde distintas bases. Los resultados permiten estimar errores típicos del orden de los 6 cm (desviación estándar).

Palabras Claves: GPS cinemático-modelo de transformación de alturas-geoide-estaciones de control

ABSTRACT

During 2005, an experience previously developed in the Gral. Lavalle district (Perdomo *et al.*, 2004) was carried out. It consisted in surveying of heights on the rural roads and positioning of bridges and water flows. Kinematic GPS was used with control stations related to Buenos Aires GPS network GEOBA98. In this way, almost 600 km were surveyed and heights were obtained for about 20000 points, 485 bridges and waters flows, during a survey of only 5 days.

The heightsw were ellipsoidal. The application of the height transformation model FCAG98 (Perdomo y Del Cogliano, 1999) on these points allowed to obtain a first approximation to mean sea level heights for all of them. In this case, the existing model was monitored using four IGM pillars with known heights as control points. These points are located on the limits of the district. In each of them, the geoid

undulation (N) is calculated as the difference between the ellipsoidal height and the IGM mean sea level height and these results are compared with the predicted values from the existing model (FCAG98). Two of the points showed discrepancies of 4 and 9 cm. So both points were incorporated to a new local model improving the FCAG98 model for this region. With these local corrections, the height transformations should be at least more accurate than 5 cm. The survey was run with an antenna located on a moving truck. This procedure introduces new errors. To monitor them 210 points were measured twice, during independent trajectories and using different bases. The comparison of the heights for these 210 points is typically 6 cm (standard deviation).

Keywords: kinematic GPS-height transformation model-geoid-control stations

INTRODUCCION

El presente trabajo se desarrolló en el partido de Gral. Madariaga, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, más precisamente en la región denominada Salado Inferior, al sur de la cuenca del río Salado. Es una zona comprendida entre el área extra-serrana de Tandil, el curso del mencionado río y la costa del océano atlántico. Se trata de una región deprimida, surcada por canales que desvían aguas desde el área serrana de Tandil hacia la Bahía Samborombón.

Todas estas características hacen que la zona en estudio sufra inundaciones periódicas, con los problemas que esto conlleva. Con el fin de encontrar una solución a esta situación, es imperiosa la necesidad de realizar análisis sobre la base de modelos de elevaciones del terreno actualizados. En particular, las últimas inundaciones afectaron la red de caminos vecinales, muchos de los cuales fueron modificados, "alteados", nuevas alcantarillas fueron improvisadas, etc. Por lo tanto, es necesario contar con estudios topográficos y de nivelación que actualicen la información existente, principalmente en la localización de puentes y alcantarillas y en el nivel de la rasante de toda la red vial del partido.

La utilización de GPS para tareas de relevamiento altimétrico requiere contar con un modelo de transformación de alturas para convertir las alturas elipsoidales que resultan directamente de GPS a alturas sobre el nivel

medio del mar. Esta tarea solo es posible si se dispone de un modelo específico para la zona de trabajo, o en su defecto, un modelo de geoide local o global. En cualquier caso, es fundamental validar el modelo a utilizar mediante la inclusión durante el relevamiento de puntos especialmente elegidos para tal fin.

Estos puntos son mojones preexistentes con cota conocida sobre los cuales se realizan mediciones GPS con la misma metodología y marco de referencia que la utilizada para el establecimiento de la red de puntos fijos. Sobre ellos se aplica el modelo de transformación de alturas y se verifica con la cota conocida. Si estas comparaciones están dentro de las tolerancias establecidas para el trabajo se adopta el modelo utilizado, de lo contrario, se incorporan nuevos puntos y se mejora localmente el modelo.

El levantamiento altimétrico de la red vial, puentes y alcantarillas, se puede hacer muy rápidamente utilizando GPS en modo cinemático. Esto implica disponer de un equipo fijo en un punto de coordenadas conocidas y un equipo móvil instalado sobre un vehículo en movimiento. Esta modalidad de posicionamiento requiere de cuidados especiales durante el relevamiento (evitar obstrucciones de la señal) y en el procesamiento. En esta oportunidad se dispuso una metodología de control del trabajo que consistió en la medición redundante de un conjunto de puntos comunes a distintos tramos del trabajo.

DESARROLLO

Medición de una red de puntos fijos apropiada para apoyar el relevamiento

Se utilizaron tres puntos de la red geodésica de la provincia de Buenos Aires, dos de ellos, GMAD y VGES, en el partido de General Madariaga, constituyeron el origen de la red de puntos fijos medida para la ejecución del proyecto. El tercer punto, LARM, ubicado en el partido de Maipú, fue utilizado como base del relevamiento auxiliar realizado sobre ruta 2.

La Tabla 1 presenta las coordenadas geodésicas, Latitud, Longitud y Altura elipsoidal, en el sistema POSGAR94 (marco de referencia GEOBA98, Red Geodésica de Alta Precisión de la Provincia de Buenos Aires, 1998, y Red Geodésica de Alta Precisión de la Provincia de Buenos Aires, densificación 2002, 2002) de los puntos fijos medidos, la quinta columna muestra la cota

sobre el nivel medio del mar (existente por tratarse de mojoncitos o ménsulas IGM), y la última columna, como están materializados en el terreno. En total se utilizaron 14 puntos fijos.

Puntos de control altimétrico

Los puntos de control VGES, GMAD, LARM, GM05, GM06, GM07, GM13 están materializados en el terreno por mojoncitos o ménsulas con información altimétrica previa (Tabla 1). En todos ellos se conoce la altura sobre el nivel del mar.

Los tres primeros forman parte de la red geodésica de la provincia de Buenos Aires y se utilizaron oportunamente para la elaboración del modelo de transformación de alturas mencionado (FCAG98, Perdomo y Del Cogliano, 1999) que permite obtener cotas sobre el nivel del mar a partir de alturas elipsoidales (GPS) a partir de un software propio (Mendoza, 2001) (Fig. 1).

El modelo es fundamental para este trabajo puesto que es el que permite la utilización de

Tabla 1. Coordenadas de la red de puntos fijos materializados en Gral. Madariaga a partir de los tres primeros VGES, GMAD y LARA. La Figura 1 muestra la distribución de esta red.

Identificación	Longitud	Latitud	Altura Elipsoidal	Altura SNM	Tipo de marca
GM01/VGES	-57 08 04.6371	-37 19 31.2573	19.744	5.97	mojón IGM
GM15/GMAD	-57 14 36.2712	-36 58 59.7769	20.083	5.93	mojón IGM
GM16/LARM	-57 37 14.1744	-37 04 26.2333	27.330	12.80	mojón IGM
GM02	-57 06 18.6490	-37 13 08.8614	21.751		poste existente
GM03	-57 06 28.9486	-37 05 05.5912	20.788		poste existente
GM05	-57 16 39.3122	-37 19 32.8375	20.813	6.81	ménsula IGM
GM06	-57 20 33.8170	-37 13 16.2597	21.543	7.39	mojón IGM
GM07	-57 28 47.6097	-37 18 15.6127	25.445	11.03	mojón IGM
GM08	-57 37 06.9911	-37 12 30.0539	30.351		Estaca
GM09	-57 26 10.5475	-37 05 44.0418	24.113		poste existente
GM10	-57 15 40.7439	-37 04 13.7639	21.943		Estaca
GM11	-56 56 21.4394	-37 05 55.2778	18.414		Estaca
GM13/PFINVIP	-57 01 58.9871	-37 09 09.4595	19.024	5.22	mojón IGM
GM18	-57 07 14.6795	-37 01 26.8183	19.319		Alcantarilla

GPS en el relevamiento. Es decir, que todas las alturas obtenidas con GPS son transformadas utilizando este modelo. En consecuencia el control del modelo en la región de trabajo, y su mejoramiento, se realizó a partir de la medición de GM05, GM06, GM07, GM13.

Relevamiento GPS de caminos y obras de arte

La modalidad empleada para el relevamiento fue la denominada cinemática en la que

un receptor se instala sobre un vehículo y registra datos en movimiento, mientras que al menos otro receptor permanece fijo en un punto de control.

Para lograr resultados precisos es necesario tener dos precauciones principales: no alejarse demasiado del receptor fijo y realizar sesiones relativamente cortas en tiempo. Para lograr ambas cosas es muy importante el diseño de la red de puntos fijos. En este caso, estos distan unos de otros entre 15 y 20 km, de manera que los desplazamientos del receptor móvil

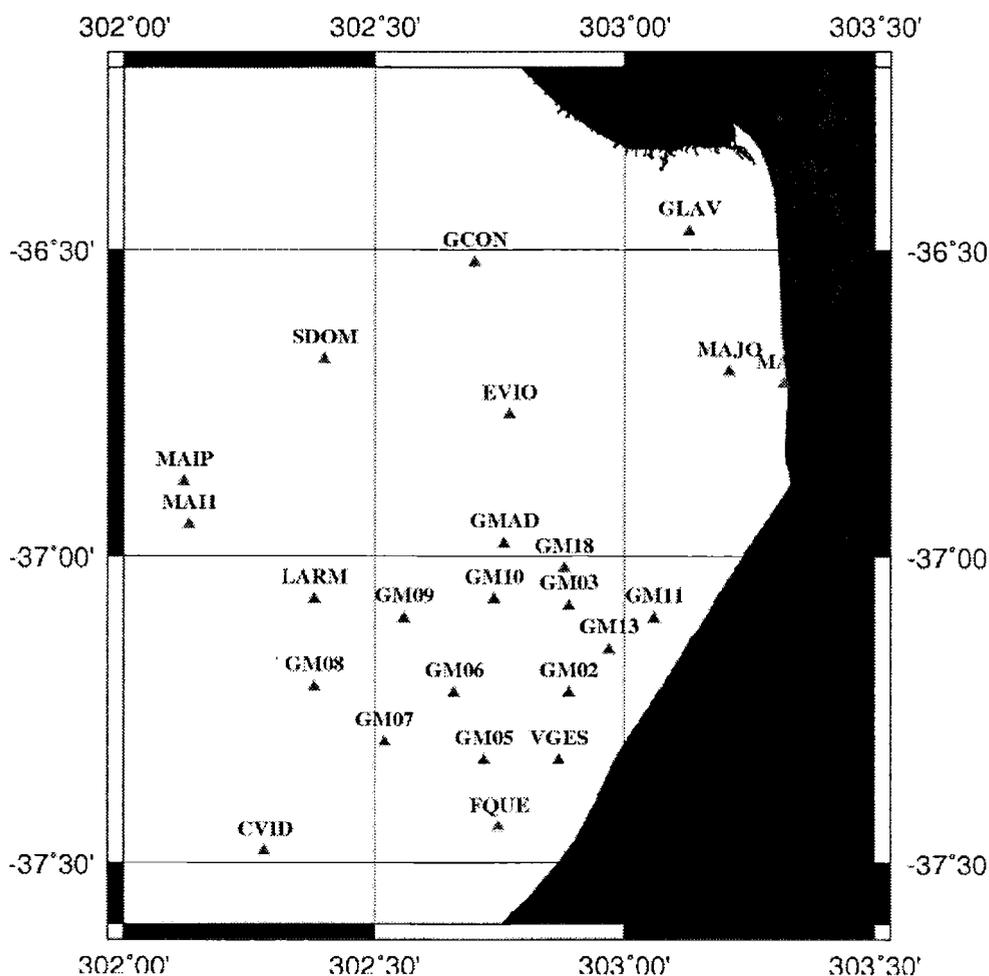


Figura 1. Red de puntos fijos. GMAD, VGES, LARM pertenecen a la red GPS de alta precisión de la Pcia. de Buenos Aires, los demás fueron materializados para este trabajo. En verde, otros puntos próximos de esta red incorporados al cálculo del modelo de transformación de alturas.

siempre están a menos de 10 km del punto fijo más próximo.

Se relevaron aproximadamente 600 km de camino y 485 obras de arte. En todos los casos, se acumularon al menos 3 épocas de medición (15 segundos) en cada obra de arte lo que permite su rápida identificación en el archivo de coordenadas. Igualmente se pueden identificar por la hora de medición que fue registrada manualmente. La Figura 2 muestra las trayectorias relevadas.

Los puntos sobre rutas y caminos se espaciaron en función de lo solicitado típicamente entre 30 y 50 metros en la mayor

parte del relevamiento. Unos 20000 puntos en total.

Procesamiento GPS

Los equipos utilizados fueron 2 receptores Trimble 4700 (doble frecuencia), 1 receptor Trimble 4000 (doble frecuencia). Indicadores de precisión: Para las bases fijas, en todos los casos se obtuvieron soluciones muy satisfactorias con ambigüedades fijas y errores formales milimétricos (en el mayor error se obtuvo un estimador de calidad de ambigüedades de 9.5 y una varianza de referencia de 1.6). Para los

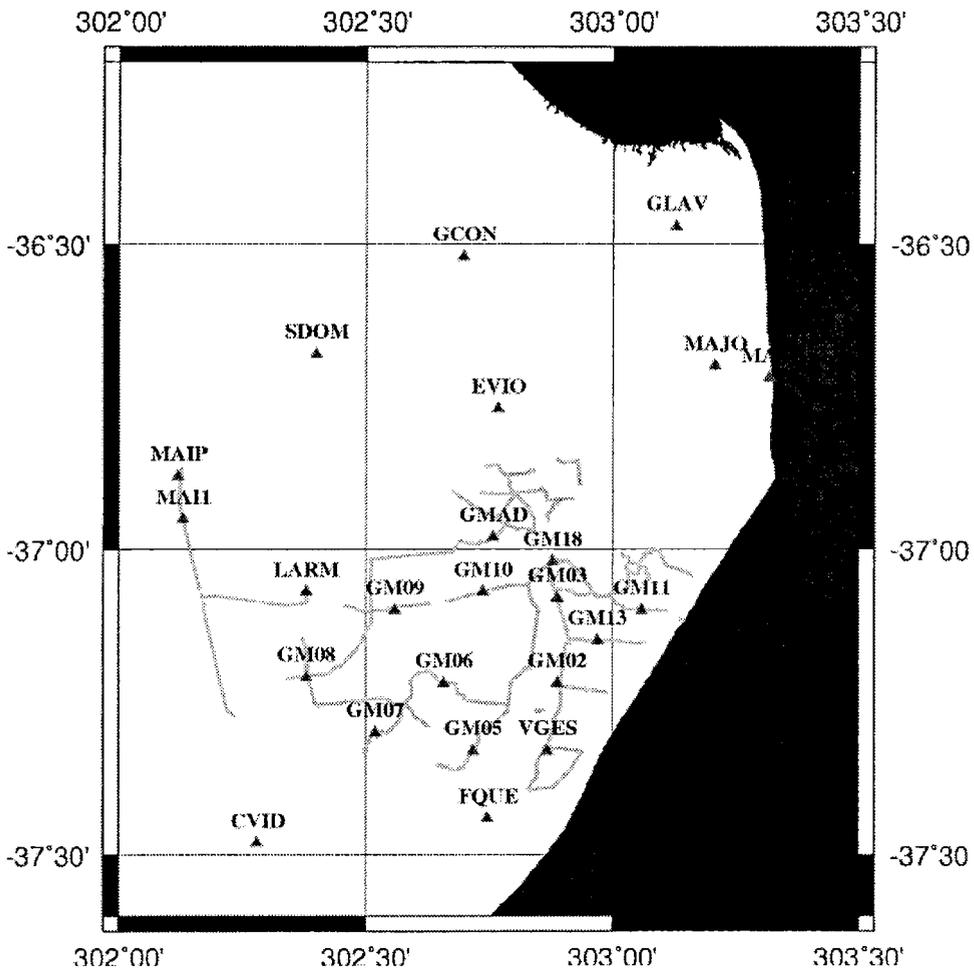


Figura 2. Rutas y caminos relevados en este trabajo. En el Este los puntos extremos se encuentran sobre la ruta Interbalnearia, y en el Oeste, sobre la ruta 2.

segmentos cinemáticos, se eliminaron tramos con mala geometría por pérdida de satélites y se mantuvieron las soluciones con errores menores a 2 cm.

Estimación de los errores reales: se midieron varios puntos comunes en distintas corridas llegando aproximadamente a la misma posición desde dos segmentos distintos. La comparación de las cotas obtenidas del procesamiento de segmentos distintos, independientes, medidos desde puntos fijos y en tiempos diferentes, permite un análisis más ajustado a la realidad.

Para este control se desarrolló un software sencillo que compara la posición de cada punto con cada uno de los aproximadamente 20000 puntos del archivo. Con una tolerancia de 2 metros, coinciden 210 puntos. Las diferencias de altura para cada uno de ellos se presenta en la Tabla 2.

En este proceso de comparación, es inevitable que se deslicen accidentalmente algunas diferencias grandes porque la comparación se realiza en un entorno de 2 m sobre un vehículo en movimiento sobre caminos de tierra siguiendo trayectorias que en muchos casos son de sentido opuesto (es decir, que la camioneta no viene pisando necesariamente la misma huella). Este resultado valida satisfactoriamente la metodología, en lo relativo a la precisión buscada (mejor que 10 cm).

Tabla 2. Resumen de las diferencias de altura encontradas.

Valor absoluto de las diferencias	# Puntos	%
entre 0 y 5 cm	133	63
entre 5 y 10 cm	54	26
entre 10 y 15 cm	20	10
entre 15 y 20 cm	3	1

Obtención de cotas sobre el nivel del mar

El modelo existente FCAG98 de transformación de alturas elipsoidales (h) en cotas sobre el nivel del mar (H) contiene unos 200 puntos distribuidos en toda la provincia de Buenos Aires con la doble información, h y H. Se trata de un modelo puramente numérico que consiste en una grilla equiespaciada de las diferencias h - H obtenida a partir de los datos conocidos y un algoritmo apropiado de interpolación que permite estimar esta diferencia en función de la latitud y longitud dadas. Determinando h con GPS para cualquier punto y restando el valor h-H obtenido del modelo, es posible estimar H para el punto medido.

Cuando esta operación se realiza sobre puntos cuya H es previamente conocida, en este caso GM05, GM06, GM07, GM13, es posible “controlar el modelo”. En este caso, el acuerdo entre H conocida y H del modelo fue muy satisfactorio para GM05 y GM13 (mejor que 2 cm), pero alcanzó los 4 y 9 cm para GM06 y GM07 respectivamente. Este resultado es natural dado que el partido de Gral. Madariaga se encuentra en zona de borde del modelo y cualquier interpolación “en borde” debe ser analizada especialmente.

Para mejorar la calidad del modelo se incorporaron los datos de los cuatro puntos de control a la información de toda la provincia y se reconstruyó el modelo obteniendo una grilla especialmente mejorada para la región.

La totalidad de los aproximadamente 20000 puntos relevados en cinemático fueron interpolados utilizando esta nueva grilla para convertir alturas elipsoidales h en alturas sobre el nivel del mar H. Una representación esquemática de estas cotas (relevadas siempre sobre rutas y caminos) puede verse en la Figura 3.

Discusión de la precisión

Los errores residuales del modelo de transformación de alturas deben ser necesari-

riamente menores a los 9 cm por la nueva información incorporada al modelo con los cuatro nuevos puntos agregados en la región de trabajo. El 89 % de los puntos de control medidos sobre distintas trayectorias presenta diferencias inferiores a los 10 cm. Los restantes puntos de control con errores entre 10 y 20 cm parecen producto de diferencias accidentales propias de la metodología de relevamiento.

CONCLUSIONES

Los errores estimados en las cotas presentadas en este trabajo para la rasante de todos los caminos del partido de Gral. Madariaga están dentro de lo razonable. Como ya se mencionó, casi todos estos caminos son de tierra y las cotas puntuales cambian a nivel de varios centímetros según las huellas que se forman tras las lluvias o el trabajo de má-

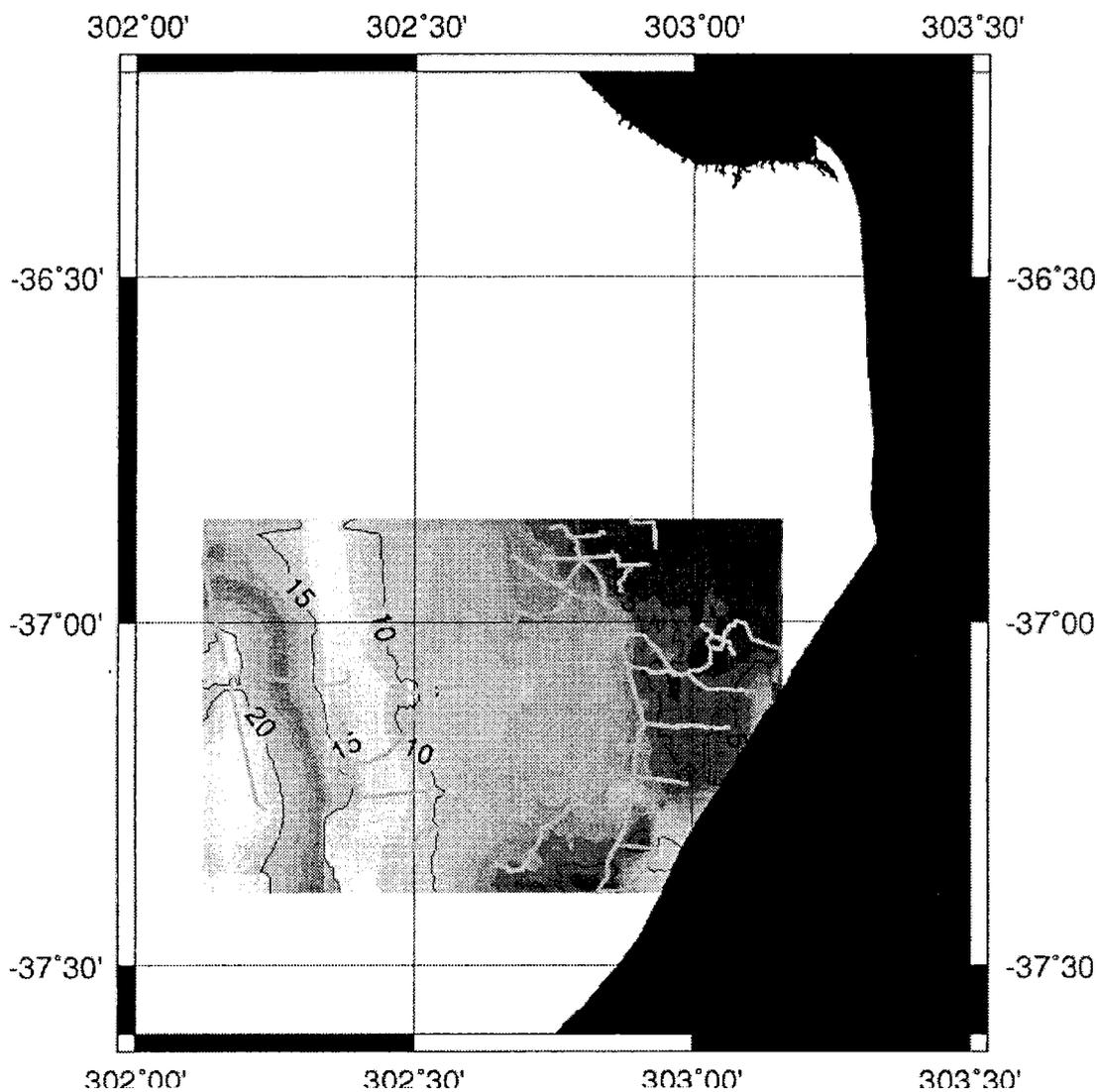


Figura 3. Curvas de nivel aproximadas, basadas solo en las mediciones sobre rutas y caminos. Muestran un rango de variación desde algo más de 20 m en el Oeste hasta 3 m en el Noreste.

quinas viales. La metodología presentada en detalle en este trabajo resulta muy apropiada para el fin establecido por la precisión, cortos tiempos de ejecución y bajo costo.

REFERENCIAS

- Mendoza L., 2001, Desarrollo de un software para transformación de alturas, comunicación privada.
- Perdomo R. and Del Cogliano D., 1999, The geoid in Buenos Aires region, International Geoid Service, Bull. N9.
- Dirección de Geodesia, MOSP, PBA y Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas, UNLP, 1998, Red Geodésica de Alta Precisión de la Provincia de Buenos Aires.
- Dirección de Geodesia, MOSP, PBA y Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas, UNLP, 2002, Red Geodésica de la Provincia de Buenos Aires, densificación 2002.
- Perdomo R., Mendoza L. y Del Cogliano D., 2004, Una Aplicación del modelo de transformación de alturas de la Pcia. de Bs. As. (Altimetría con GPS en el Partido de Gral. Lavalle), Actas de la XXII Reunión Científica de la Asoc. Arg. de Geof. y Geod., Bs. As.