

## Aplicación del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) al mapeo de barreras y barras intermareales, Río Grande, Tierra del Fuego, Argentina

JOSE LUIS HORMAECHEA\* y GUSTAVO GABRIEL BUJALESKY\*\*

\*Estación Astronómica Río Grande (UNLP-CONICET). 9420 Río Grande, Tierra del Fuego, Argentina.

\*\*CADIC-CONICET. Av. Malvinas s/n, 9410 Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.

### RESUMEN

Con el objetivo de analizar la utilidad del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para el levantamiento planimétrico de formas litorales se realizaron tareas de mapeos en la desembocadura del Río Grande, Tierra del Fuego. Se utilizaron dos navegadores GPS Magellan 5000 Pro, aplicando posicionamiento diferencial móvil (Fase de código). La experiencia mostró que: a) el método provee, en forma rápida y a bajo costo, una medición de las formas litorales con un error menor o igual a 5 m; b) independencia de las condiciones meteorológicas y c) posibilitaría el mapeo inmediatamente posterior a la concurrencia de olas de gran energía que modifiquen substancialmente la costa.

*Palabras clave:* Zonas intermareales. Argentina.

### ABSTRACT

GPS mapping proficiency of litoral features was analyzed during a planimetric survey in the Río Grande (Tierra del Fuego, Argentina) inlet. Two GPS Magellan Nav 5000 Pro were used applying differential processing. The experience shows that: a) the method gives rapidly, and at a low cost, a litoral landforms measurement with a ( 5 m error; b) is weather independent and c) would allow for an immediate mapping of significative morphological changes along the coast due to the occurrence of high energy waves.

*Keywords:* Intertidal zones. Argentine.

### INTRODUCCION

La desembocadura del Río Grande se encuentra ubicada en el sector septentrional de la costa atlántica de

Tierra del Fuego, Argentina (Fig.1). Esta región presenta un régimen macromareal (amplitud media: 5,2 m; Servicio de Hidrografía Naval, 1994a). La desembocadura del río está parcialmente cerrada por la Punta Popper, adosada a su margen meridional (Fig.2). Esta es una espiga de 700 m de largo y 70 metros de ancho, constituida por arenas gruesas y grava, con un marcado crecimiento hacia el noroeste. Hacia el este de Punta Popper se presenta un conjunto de barras intermareales de grava, sobre una extensa plataforma de abrasión, que muestran gran movilidad. A partir del margen norte de la desembocadura del Río Grande, otra barra intermareal de grava se extiende en dirección este, apoyada sobre una plataforma de abrasión.

Los estudios de geomorfología, basados en la circulación del sedimento, las características sedimentológicas y la caracterización de los riesgos asociados, son básicos para la planificación ambiental costera. La costa de la ciudad de Río Grande se encuentra sometida a erosión y en el futuro las construcciones más próximas a la línea de ribera se verán amenazada por ella. La erosión en el margen septentrional del Río Grande se encuentra favorecida por el sentido crecimiento de la Punta Popper, que causa la migración del curso del río en esa dirección. La construcción de un muro costero en el margen de la desembocadura del río, el año 1991, deteniendo el avance de las aguas playa arriba, condujo

a una mayor reflexión de la energía de las olas y a una mayor erosión durante las pleamares máximas. El desequilibrio causado provocó el colapso del muro y la pérdida de un volumen importante de sedimentos de la playa. Cualquier acción de defensa costera deberá tener en cuenta la globalidad del comportamiento de la costa. Por tanto, el análisis de los cambios morfológicos de la espiga y de la migración de las barras intermareales en el tiempo y su vinculación a las condiciones hidrodinámicas que los originan, contribuirán a la planificación y optimización del uso del litoral urbano.

Hasta el momento del inicio del presente trabajo, la evolución morfológica de Punta Popper se siguió por medio de la aerofotografía (Koudstal *et al.*, 1973; Servicio de Hidrografía Naval, 1994b).

El objetivo del presente trabajo consiste en el análisis de la aplicación del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para el levantamiento planimétrico de formas litorales y su aplicación al caso concreto del control de la evolución morfológica del litoral de la Punta Popper, Río Grande, Argentina, mediante mapeo secuencial.

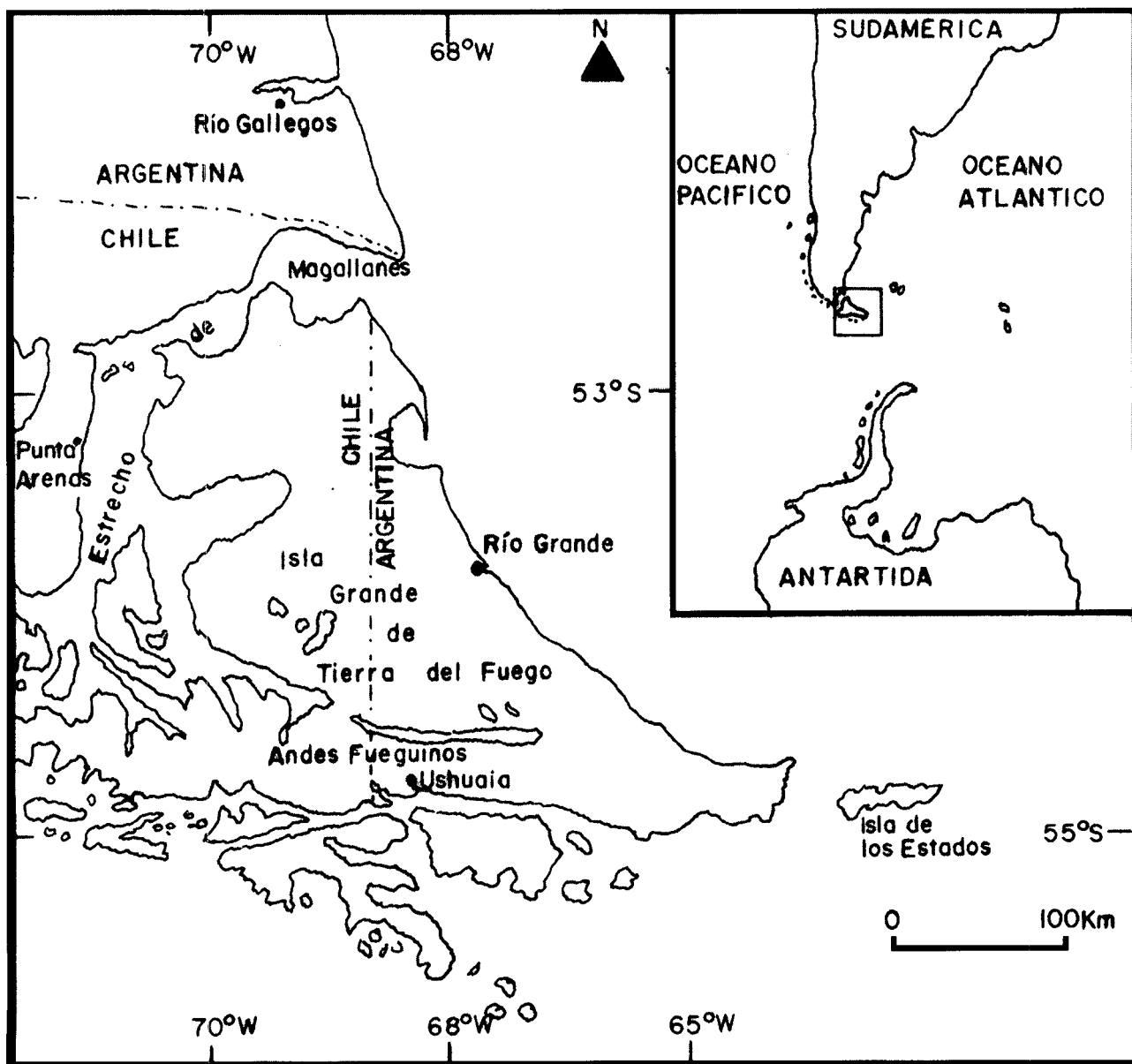


Figura 1.- Ubicación geográfica de la ciudad de Río Grande, Provincia de Tierra del Fuego, República Argentina.

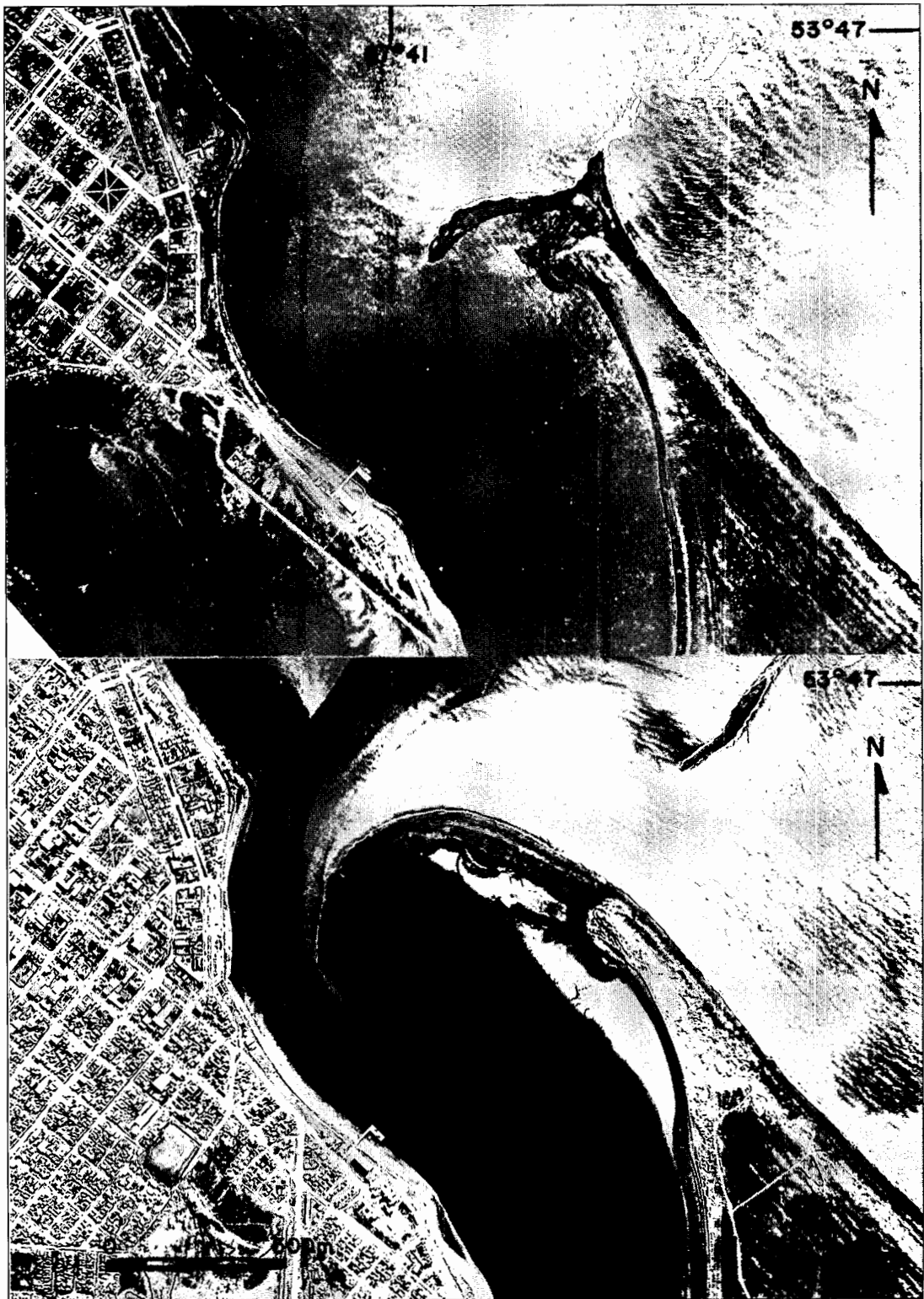


Figura 2.- Desembocadura del Río Grande y espiga Punta Popper. El ancho de la desembocadura se redujo, debido al crecimiento de la espiga, de 600 m a 300 m, entre el 12/02/70 y el 16/09/91 (alturas de marea: 7,0 m y 4,98 m, respectivamente; referidas al plano de reducción que pasa 4,5 m debajo del nivel medio). Las fotografías aéreas fueron realizadas por el Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina (escala original: 1:20:000). Los cálculos de mareas fueron realizados por Enrique D'Onofrio (SHN).

## EQUIPAMIENTO Y MÉTODOS

El GPS brinda una técnica especialmente apropiada para el mapeo periódico de formas litorales de gran movilidad. Contando con un buen punto de referencia, se puede mapear la forma a investigar posicionando estáticamente una adecuada cantidad de puntos (método estático) o recorriendo el contorno (método cinemático).

Para el desarrollo del plan de trabajo se postularon las siguientes condiciones:

- 1) Utilización de un equipo económico.
- 2) Facilidad de realización del mapeo.
- 3) Resultados comparables en calidad con los de la fotografía aérea sin apoyo (en cuanto a la definición y medición de formas, error:  $\pm 5$  m).

Se utilizaron para este trabajo dos navegadores GPS Magellan 5000 Pro modelos 92/93 sin Submeter Kit

(cumpliendo con la primera condición). El objetivo era obtener una "instantánea" de la Punta Popper en condiciones de bajamar. En el desarrollo del trabajo se empleó el método de posicionamiento diferencial móvil (fase de código). La utilización de este método plantea lo siguiente:

- a) definir un criterio para el recorrido;
- b) capacidad de almacenamiento de la memoria del 5000 Pro y duración de las sesiones;
- c) estación de control y
- d) error del método.

### Criterio para el recorrido

El plan de trabajo prevé la realización de un mapeo sistemático cada seis meses y mapeos ocasionales, en el caso de que se produzcan olas de tormenta (storm waves)

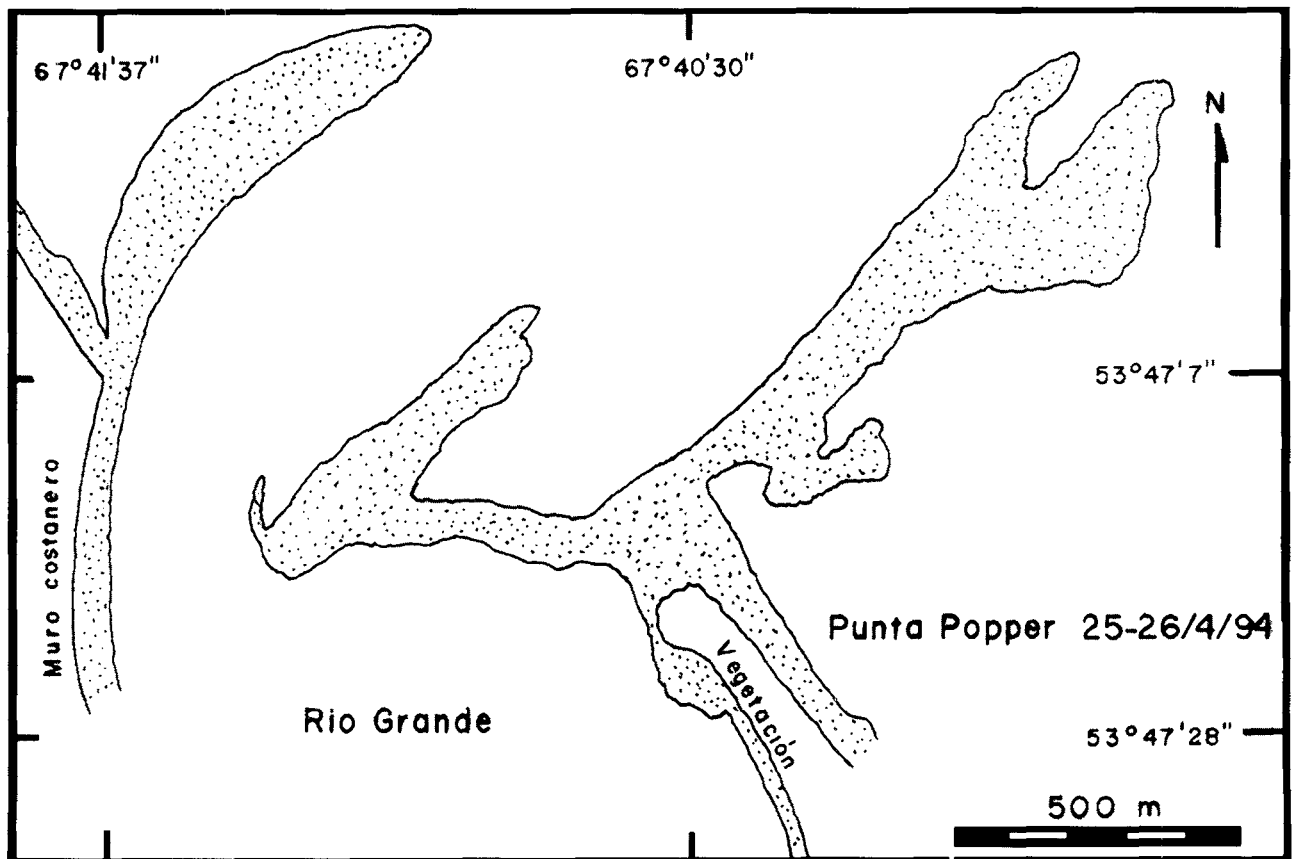


Figura 3.- Cartografía planimétrica de formas litorales realizada en la desembocadura del Río Grande utilizando navegadores GPS (abril 1994).

o grandes olas de mar de leva (swell) que puedan modificar substancialmente las formas.

Como criterio para determinar el contorno de la forma se adoptó recorrer el pie de playa. El primer mapeo se realizó en dos tardes de trabajo consecutivas el 25 y 26 de abril de 1994, mapeando Punta Popper, las barras intermareales asociadas, la playa de la margen norte del Río Grande y la barra intermareal adosada a ella. El 7 de mayo, en un recorrido rápido, se completó, agregando la línea de vegetación en Punta Popper y el muro costero. En total, fueron 7 sesiones, tres el 25/4, dos el 26/4 y dos el 07/5, de las cuales tres alcanzaron casi 40 minutos de duración (Fig.3).

### Capacidad de almacenamiento del 5000 Pro

La memoria del 5000 Pro puede almacenar hasta 1500 "fixes". A razón de un "fix" por segundo esto representa unos 20 minutos de posicionamiento continuo. Para traducir esto a distancia hace falta conocer la velocidad con

que se hará el recorrido: caminando, unos 2 Km; en vehículo a 20 Km/h, unos 6 Km. Se decidió utilizar un "sampling rate" de 2 segundos, lo que duplicaba los tiempos y las distancias. Se subestimó la longitud de las barras intermareales, y por consiguiente, lo que en principio se supuso cubrir con una o dos sesiones, requirió finalmente cuatro. Este primer mapeo se llevó a cabo a pie.

Las sesiones se programaron para aprovechar al máximo la capacidad de la memoria. La constelación a observar se debió elegir muy cuidadosamente, pues debería estar vigente, con buen PDOP, por un tiempo mínimo de cuarenta minutos. Facilitó la tarea el hecho de trabajar en 2D. Terminada la sesión se llevaban ambos navegadores a la base (estación de control), se transfería la información al ordenador, se definía la nueva constelación y, desde el punto final de la sesión, anterior, se reiniciaba el recorrido.

En el caso de extenderse demasiado el tiempo de mapeo, la subida de la marea podía afectar el recorrido previsto. Para solucionar esto se intentó mapear las zonas más bajas en el instante de la bajamar.

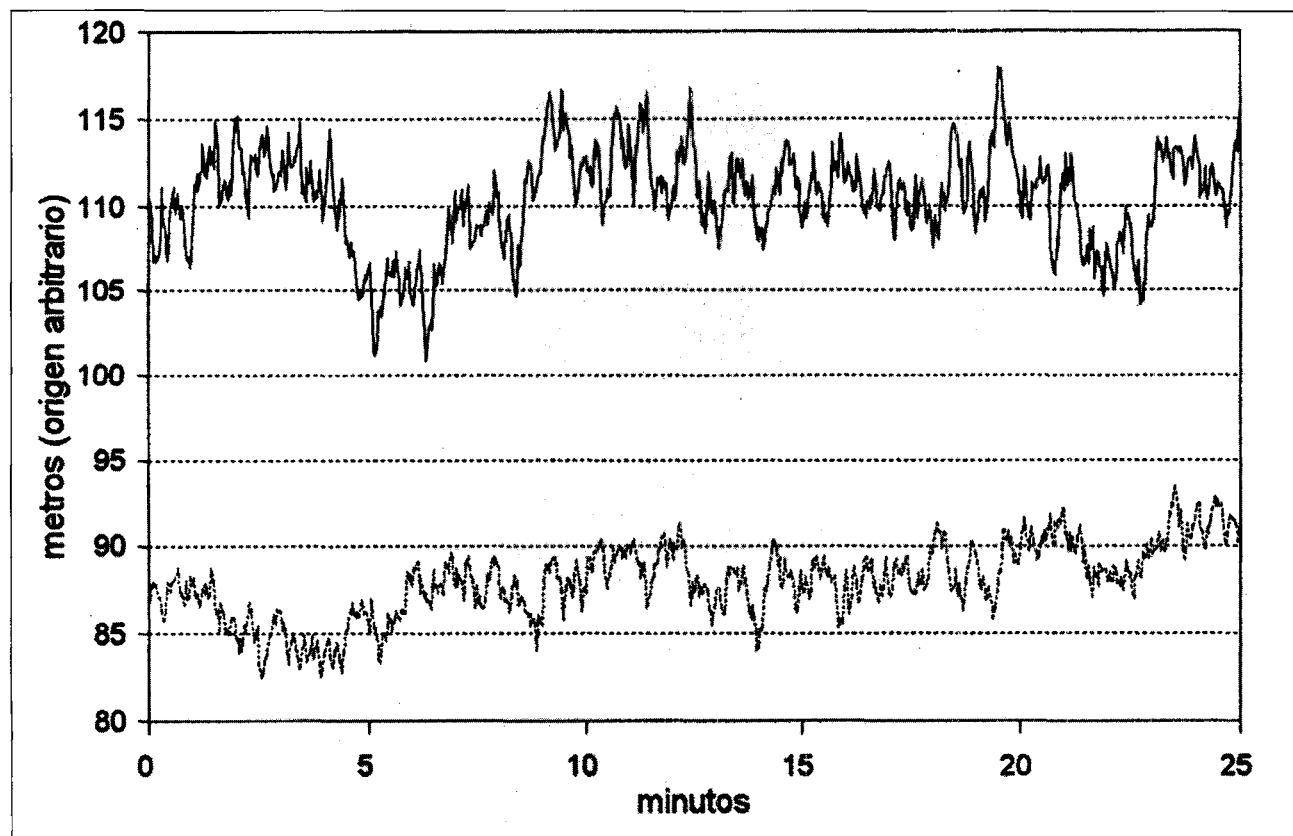


Figura 4.- Evolución en el tiempo de las diferencias de latitud y longitud entre las estaciones de control y remota, obtenidas a partir del posicionamiento de dos equipos en puntos de coordenadas conocidas.

## Estación de Control

Dada la proximidad de la ciudad, se disponía de numerosos puntos de control, en el rango de distancias 1-5 Km. Sin embargo, como era necesario trabajar rápidamente, se determinó un punto de control sobre Punta Popper. Esto permitió que fueran necesarias sólo dos personas para realizar todo el mapeo. La distancia entre la estación fija y la móvil nunca superó los 1000 metros aproximadamente.

## Error del método

La estimación del error cometido al emplear esta técnica se realizó mediante las siguientes pruebas: medición de una base conocida; mapeo de un recorrido recto; repetición de un tramo del recorrido real.

## RESULTADOS

La evolución de las diferencias de latitud y longitud entre las estaciones de control y remota se observan en la Figura 4. Esto corresponde a una sesión de 25 minutos, en la cual se colocaron dos equipos fijos en puntos de coordenadas conocidas, obteniéndose una dispersión de 3 metros o mejor. Aparecen en latitud algunos residuos de 7-8 metros. Si la estación remota fuera móvil, la trayectoria se vería afectada por esos valores. La Figura 5 muestra las desviaciones de las posiciones medidas por el equipo con respecto a la posición verdadera (punto de coordenadas conocidas) y si bien, el promedio de las mediciones da un error radial absoluto de aproximadamente 1 m, existen desviaciones de hasta 9 metros. Las separaciones máximas con respecto a una trayectoria rectilínea (recorrido recto realizado a pie ida y vuelta) resultaron ser de 5 m (Fig. 6).

Parte del mapeo de Punta Popper, que fue repetido, se observa en la Figura 7. Se registraron otros errores además de los intrínsecos del método y el equipo. Las dos trayectorias mostradas fueron realizadas por distintos individuos que, si bien intentaban aplicar el mismo criterio, podían tener diferentes interpretaciones en aquellos lugares donde el contacto entre las formas litorales no era neto. A esto se le debe sumar la diferencia de mareas entre ambos momentos (0,6 y 1,8 m).

Las diferencias más importantes en los trazados obtenidos se deben al primer factor. El desplazamiento general del flanco oeste, se debería al segundo factor.

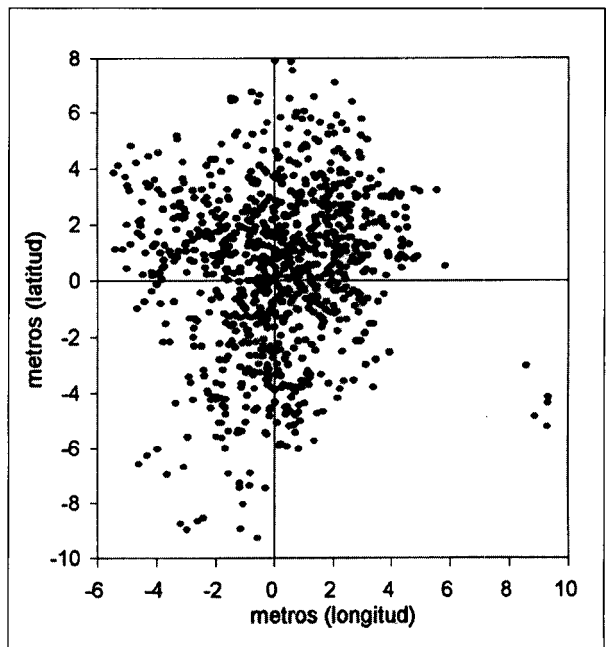
Las restantes diferencias pueden adjudicarse al error propio del método (máximo 10 metros), manteniendo relación con los resultados obtenidos para la medición de la base conocida y el mapeo de un recorrido recto.

## DISCUSION

Existen una amplia variedad de equipos GPS y en particular, los geodésicos de alta precisión habrían resuelto extraordinariamente este trabajo. Pero se descartó el uso de estos equipos debido a su alto costo. Una de las condiciones establecidas para llevar a cabo este trabajo fue la utilización de equipo económico.

Equipos como los que se emplearon brindan las siguientes posibilidades de trabajo:

- Posicionamiento puntual absoluto (Fase de código).
- Posicionamiento diferencial estático (Fase de código).
- Posicionamiento diferencial estático con adquisición de "raw data" (Fase de código).
- Posicionamiento diferencial móvil (Fase de código).



Figuras 5.- Diferencias entre las posiciones medidas en el equipo y la posición verdadera (punto de coordenadas conocidas en el origen de los ejes).

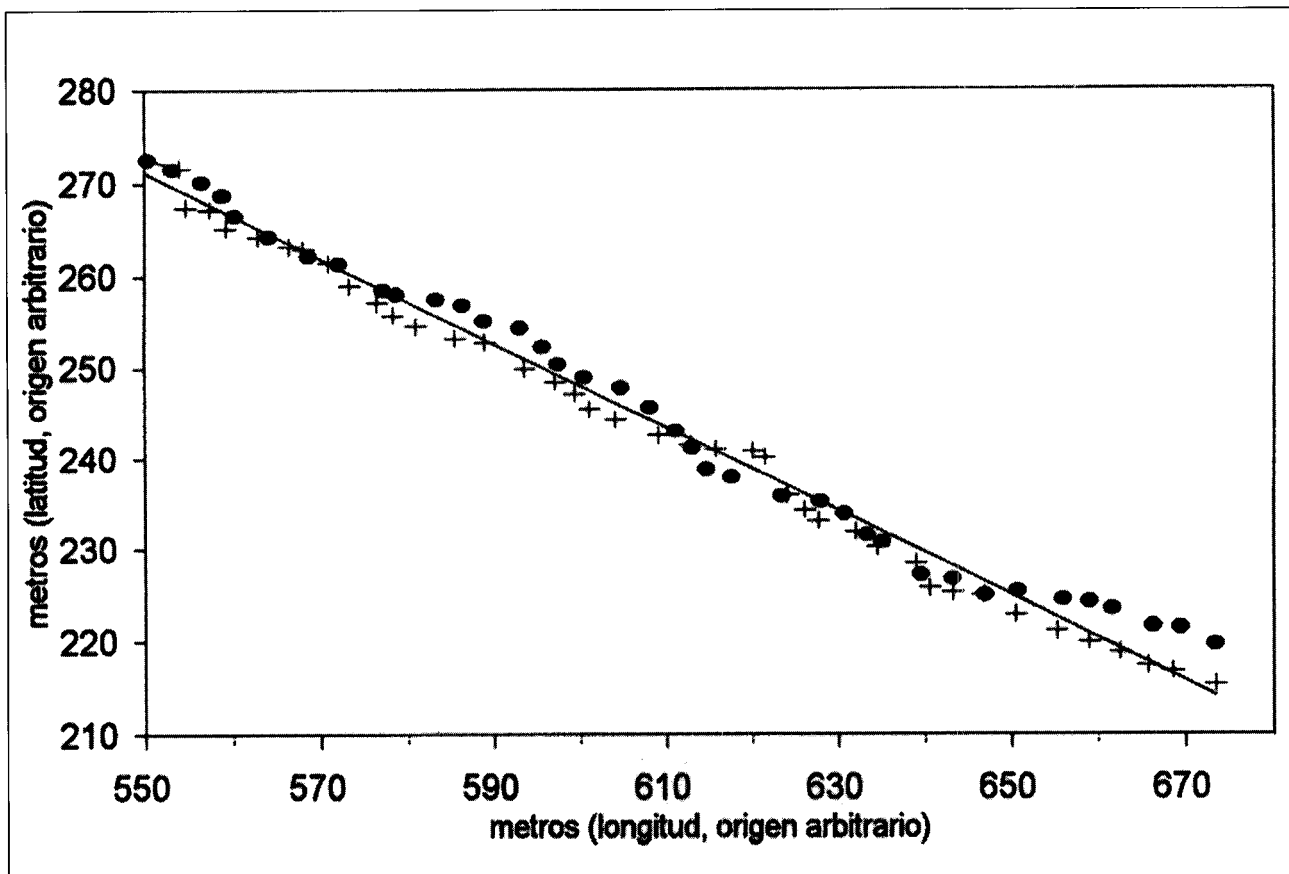


Figura 6.- Desviaciones máximas con respecto a un recorrido rectilíneo, realizado a pie. Ida y vuelta.

e) Posicionamiento diferencial estático con Submeter Kit (Fase de portadora).

El posicionamiento absoluto se descartó por no obtener un resultado final de precisión comparable con los de la fotografía aéreas sin apoyo. El posicionamiento diferencial estático, si bien produce resultados de buena precisión, habría requerido unos 70 puntos estáticos para obtener una representación fiel de la forma. Considerando el poco tiempo de trabajo que permite el nivel de las bajamareas, esta modalidad resulta inaplicable. Para los posicionamientos diferencial estático con adquisición de "raw data" (Fase de código) y diferencial estático con Submeter Kit (Fase de portadora) valen las mismas consideraciones que para el posicionamiento diferencial estático, con el agravante de tener que utilizar un ordenador portátil en ambiente marino.

La ubicación de la estación de control puede afectar en gran medida a la organización del trabajo si, como este caso, se debe realizar más de una sesión con la necesi-

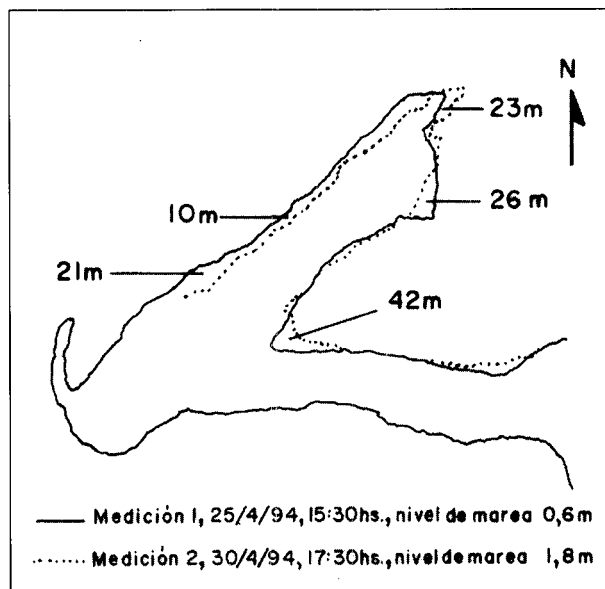


Figura 7.- Repetición de una sección del recorrido realizada por distintos observadores y en diferentes momentos.

dad de transferir datos al ordenador. La intercomunicación entre la estación de control y la remota tiene, también, un papel importante. Si se dispone de equipos de comunicaciones y dos computadoras, para independizar las actividades de cada estación, se tendrá amplia libertad para elegir un punto de control apropiado. En caso contrario, la distancia entre la estación de control y la móvil deberá ser la menor posible.

La aerofotografía es el método tradicional para el mapeo de formas litorales. Para formas que evidencian cambios morfológicos significativos en períodos cortos de tiempo se requeriría una elevada frecuencia de tomas fotográficas y resultaría un método poco económico. Por otra parte, la toma de fotografías aéreas de formas intermareales es directamente dependiente de buenas condiciones meteorológicas coincidentes con el instante del nivel inferior de la bajamar, lo cual, no es condicionante para la utilización del GPS.

El método puede proporcionar un control de los cambios morfológicos inmediatamente posterior a la ocurrencia de procesos episódicos de alta energía (olas de tormenta), que modifiquen significativamente la costa. Estas variaciones son alteradas rápidamente por la acción de las olas en condiciones ordinarias de energía.

Otra aplicación en el campo de la Geología de Costas sería el control del transporte de sedimentos. Una de las técnicas de monitoreo de transporte litoral en playas de grava es la tinción de cantos rodados (en distintas estaciones a lo largo de la costa) en marea baja y el control del desplazamiento, comúnmente con brújula y cinta métrica, una vez pasada la pleamar (o bien en un período de tiempo prolongado si el transporte es poco significativo). La utilización de GPS implica rapidez en el mapeo de las trayectorias y su transferencia a un mapa de base.

## CONCLUSIONES

La experiencia dejó las siguientes conclusiones en cuanto a la aplicabilidad del método a la cartografía planimétrica de formas litorales:

- 1) El error máximo no superará los 10 m, estando la mayor parte del recorrido definido con un error menor o igual a 5 m. Para una forma litoral de las dimensiones de Punta Popper este error es considerado aceptable.
- 2) El método es independiente del factor meteorológico.
- 3) El investigador recorre el terreno pudiendo tomar decisiones en el instante y recolectar información adicional.
- 4) Digitalización inmediata.
- 5) Bajo costo.
- 6) Posibilidad de mapeo de formas inmediatamente posterior a la ocurrencia de olas de gran energía que modifican substancialmente la costa.

## AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Secretaría Obras y Servicios Públicos y a la Dirección de Defensa Civil de la Municipalidad de Río Grande por el apoyo logístico que nos brindaron.

La Dirección General de Recursos Naturales y la Dirección de Geodesia facilitaron dos navegadores GPS para parte de los trabajos de campo.

## BIBLIOGRAFÍA

KOUDSTAL, R., PETRONI, R. y ESCALANTE, R., 1973: *Estudio sobre el modelo del Puerto de Río Grande, Tierra del Fuego, Argentina* (Información de campo-Resumen final, capítulo IV). Delft Hydraulics, Laboratory y Laboratorio Nacional de Hidráulica Aplicada, Informe Técnico (inédito), Buenos Aires, 39p.

SERVICIO DE HIDROGRAFIA NAVAL, 1994a, *Tablas de marea para el año 1994*. Puertos de la República Argentina y puertos principales de Brasil, Uruguay y Chile. Publicación H 610, Armada Argentina.

SERVICIO DE HIDROGRAFIA NAVAL, 1994b. Informe de avance: búsqueda y análisis de antecedentes. Informe técnico del Convenio entre la Municipalidad de Río Grande y el Servicio de Hidrografía Naval: Tareas a desarrollar en el marco de estudios para la defensa de la desembocadura de Río Grande; Informe Técnico (inédito).