

INSTITUTO UNIVERSITARIO NAVAL
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Tesis de Licenciatura

“Elaboración de batimetrías digitales de áreas costeras para la
aplicación de un modelo numérico de circulación oceánica,
Proyecto GEF Patagonia”

Alumna: Rocío del Valle Borjas
Director: Dr. Walter César Dragani

Mayo 2004

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Walter, por su dedicación, paciencia y confianza durante la realización de este trabajo. Debo tener palabras de agradecimiento para la Escuela de Ciencias del Mar, tanto para el cuerpo docente como para el personal administrativo y autoridades académicas, al Servicio de Hidrografía Naval en general y al Departamento Oceanografía en particular. Al C. C. Fabián Vetere y al C. C. Edgardo Di Santi por las facilidades brindadas. Me es imposible no reconocer la enorme ayuda que me brindó el personal de la Sección Dinámica Costera de este mismo Departamento, Silvia Antonietti, Carlos Mazio y Jorge Speroni.

Deseo expresar mi gratitud para quienes integran la Comisión Nacional para el Límite Exterior de la Plataforma Continental por haberme facilitado el instrumental para realizar la digitalización de las cartas.

Por último, quiero manifestar el reconocimiento para mi familia, por su constante apoyo y enorme paciencia durante la realización de este trabajo.

ÍNDICE

1. Introducción	1
1.1. Objetivo de este trabajo	3
2. Áreas de estudio	6
2.1. San Antonio Oeste - Pcia. de Río Negro	6
2.2. Bahía Camarones y de Cabo Dos Bahías a Península Aristizábal - Pcia. de Chubut	7
2.2.a. Bahía Camarones	8
2.2.b. De Cabo Dos Bahías a Península Aristizábal	9
2.3. Rada Puerto Deseado - Pcia. de Santa Cruz	9
2.4. Bahía San Sebastián - Pcia. de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur	10
2.5. Generación de batimetrías para modelos hidrodinámicos costeros	13
3. Datos utilizados y metodologías	15
3.1. Métodos para la digitalización de cartas náuticas	15
3.2. Cartas náuticas digitalizadas	17
3.2.1. Zona 1: Provincia de Río Negro - San Antonio Oeste	17
3.2.2. Zona 2: Provincia de Chubut	19
3.2.2.a Sub-Zona A: Bahía camarones	19
3.2.2.b Sub-Zona B: De Cabo Dos Bahías a Península Aristizábal	21
3.2.3. Zona 3: Provincia de Santa Cruz - Rada Puerto Deseado	23
3.2.4. Zona 4: Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur - De Bahía San Sebastián a Punta María	25
3.3. Delimitación de las áreas para el modelado matemático	27

4. Transformación de coordenadas	29
4.1. Proyección Mercator. Generalidades	29
4.1.1. Transformación de Coordenadas	30
4.2. Proyección Gauss Kruger. Generalidades	31
5. Modelado matemático del fondo marino	34
5.1. Métodos de interpolación espacial. Descripción	34
5.1.1. Funciones de base radial (FBR)	35
5.1.2. Inversa de la distancia (ID)	36
5.1.3. Kriging	37
5.1.4. Mínima Curvatura	38
5.1.5. Shepard Modificado	39
5.1.6. Triangulación con interpolación lineal	39
5.1.7. Vecino Natural	39
5.1.8. Vecino Próximo	40
5.2. Parámetros y opciones existentes en los distintos métodos de interpolación espacial	40
5.2.1. Anisotropía	40
5.2.2. Opciones de búsqueda	41
5.2.3. Resolución	42
5.3. Determinación del grado de ajuste de la superficie generada	42
6. Resultados	45
6.1. Selección de grillas batimétricas definitivas	45
6.2. Análisis estadístico de los resultados	47
7. Implementación de los modelos WQMap y OILMap a la Zona 4	53
8. Discusión y Conclusiones	54

Bibliografía	58
Apéndice I	
Cartas náuticas digitalizadas	I-1
Apéndice II	
Sondajes digitalizados para la zona 1, 2-3 y 4	II-1
Apéndice III	
Tablas	III-1
Apéndice IV	
Batimetrías generadas para la zona 1, 2-3 y 4	IV-1
Apéndice V	
Resultados de las simulaciones numéricas	V-1

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es la generación de batimetrías digitales a utilizarse en la implementación del sistema de modelado matemático WQMap para el estudio y la predicción de corrientes y fluctuaciones del nivel del mar en cuatro zonas costeras patagónicas: (1) San Antonio Oeste - Pcia. de Río Negro, (2) Bahía Camarones y de cabo Dos Bahías a península Aristizábal.- Pcia. de Chubut, (3) Rada Puerto Deseado - Pcia. de Santa Cruz y (4) Bahía San Sebastián - Pcia. de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. Esta tarea se encuadra dentro del Proyecto "Prevención de la Contaminación Costera y Gestión de la Diversidad Biológica Marina" conocido como "GEF Patagonia". Las grillas batimétricas se generaron con profundidades digitalizadas de catorce cartas náuticas disponibles. De un análisis preliminar, y para los fines hidrodinámicos, resultó que para las zonas 1 y 4, se ampliaran los límites propuestos y, para las zonas 2 y 3, se optara por modelarlas dentro de un mismo dominio computacional (zona 2-3). Las coordenadas obtenidas de la digitalización se transformaron a latitudes y longitudes geográficas y, de esta manera, pudieron ser directamente ensambladas en cada una de las zonas consideradas. Para cada una de las zonas a modelar, se generaron grillas batimétricas mediante la aplicación de ocho técnicas de interpolación espacial diferentes. Para la selección de las grillas definitivas se analizaron los errores cuadráticos medios de los residuos. Luego, las isobatas de las grillas resultantes se compararon visualmente con las cartas náuticas originales. La grilla generada con el método de mínima curvatura fue la que mostró el menor error cuadrático medio para el caso de la zona 2-3 y el método inverso de la distancia los mejores resultados para las zonas 1 y 4. Se presenta un estudio estadístico para el control de calidad realizado sobre las grillas seleccionadas. Del mismo se concluye que las grillas son apropiadas para encarar la modelación matemática de la circulación costera en las zonas propuestas por los coordinadores del Proyecto GEF Patagonia. Finalmente, se presentan algunos resultados preliminares correspondientes a la simulación hidrodinámica y al seguimiento de una "mancha" de hidrocarburo en la zona 4.

1. INTRODUCCIÓN

La plataforma continental argentina es considerada una zona geográfica de gran importancia para la conservación de la diversidad biológica y para las economías regionales y locales debido a su elevada productividad costero-marina (Ministerio de Salud, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2004a). El estudio y conocimiento de los elementos de la diversidad biológica de la zona costera marina patagónica, de la condición y dinámica poblacional de las especies, de las relaciones entre ellas, de los procesos que las mantienen y de su interacción con las actividades antrópicas son de fundamental importancia a la hora de elaborar estrategias de manejo sustentable.

Son muchas las amenazas que acechan la conservación de la diversidad biológica. Entre ellas, podemos citar, la contaminación por hidrocarburos, la sobreexplotación pesquera, la sobreexplotación de algas y/o guano, el incremento acelerado y no regulado de la actividad turística y recreativa, el deterioro y la alteración de ambientes costeros, la utilización de artes de arrastre de fondo y la introducción de especies exóticas (Fucema, 1999; Fundación Patagonia Natural, 1999).

La Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS), en el ámbito de la Dirección de Fauna Silvestre, lleva a cabo el Proyecto "Prevención de la Contaminación Costera y Gestión de la Diversidad Biológica Marina, Said - Donación FMAM Nro.28385 - AR - PNUD ARG/02/018" conocido como "GEF Patagonia", cuya finalidad es la de complementar los esfuerzos de la República Argentina para reducir la contaminación y promover la conservación de la diversidad biológica en los ambientes costeros y marinos patagónicos (Ministerio de Salud, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2004b). El ámbito geográfico del Proyecto comprende la zona costera y la plataforma continental argentina patagónica, abarcando costas y aguas jurisdiccionales de las provincias de Río Negro, Chubut, Santa Cruz, y Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur y aguas bajo jurisdicción del Estado Argentino. Este Proyecto, que será parcialmente financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), cuenta con la intervención en forma activa de los Gobiernos de las provincias mencionadas precedentemente, como también de la Prefectura Naval Argentina (PNA), el Servicio de Hidrografía Naval (SHN) y diversas

entidades públicas y privadas de la región: Dirección General de Protección Ambiental del Chubut, Consejo Provincial del Medio Ambiente de Río Negro, Subsecretaría de Medio Ambiente de Santa Cruz y Subsecretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC) y Centro Nacional Patagónico (CENPAT), dependientes de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Nación, Instituto de Biología Marina y Pesquera Almirante Storni de la Provincia de Río Negro, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP) dependiente de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación, Universidad del Comahue y diversas organizaciones no gubernamentales (ONGs) de la Patagonia, entre ellas, la Fundación Patagonia Natural y Medio Ambiente Sustentable para el III Milenio (Ministerio de Salud, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2004b). A continuación, se resumen las metas propuestas en este proyecto, con una duración prevista de tres años:

- Mejorar la calidad de vida de la población, contribuyendo al desarrollo sustentable de las economías locales y regionales.
- Apoyo a la Prefectura Naval Argentina y al Servicio de Hidrografía Naval. El Proyecto dará sostén a estas instituciones con miras a mejorar su capacidad de lucha contra los derrames de petróleo y a disminuir los riesgos de la navegación.
- Apoyo a la investigación básica y aplicada. A través del financiamiento de proyectos de innovación tecnológica e investigación aplicada.
- Protección del ecosistema marino costero. El proyecto proveerá, a los organismos involucrados, la mayor parte de los elementos y conocimientos técnicos para que estos puedan mejorar las condiciones en las que trabajan para la conservación de la costa y el mar en el área patagónica.
- Mejora en las condiciones existentes para la protección de la biodiversidad. Se mejorará la base de conocimiento de la información existente sobre la plataforma continental patagónica.
- Participación de las Provincias a través de una Comisión Consultiva. Esta comisión estará integrada por los representantes de las Provincias de Río Negro, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur ante el Consejo Federal de Medio Ambiente. Asesorará a la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable durante la

ejecución del Proyecto para consensuar la evolución del mismo y canalizar los intereses de los estados provinciales.

- Creación de un sistema de información ambiental de la plataforma continental patagónica.
- Desarrollo de un atlas de sensibilidad ambiental del mar y sus costas. El atlas contribuirá a una mejora del conocimiento sobre el mar y las costas permitiendo la identificación de áreas especialmente sensibles para una mejor gestión de los recursos naturales.
- Estandarización de metodologías. Mediante la intercalibración de los laboratorios más importantes del área, los datos obtenidos podrán ser comparados y utilizados en forma integral, de acuerdo a parámetros y normativas internacionales (Di Salvo, 2002).

El objetivo central de este Proyecto es: *“contribuir a la conservación de la diversidad biológica y a la prevención y mitigación de la contaminación costera, con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes de la región”*. Las tareas a realizar por el Servicio de Hidrografía Naval, en el marco de este Proyecto, pueden sintetizarse en dos líneas de trabajo bien definidas. La primera, se refiere a la reducción de los riesgos para la navegación y, la segunda, a la implementación de un sistema de información ambiental para la plataforma continental patagónica.

1.1. Objetivo de este trabajo

El objetivo y las tareas desarrolladas en este Trabajo Final se encuadran dentro de las actividades previstas en la segunda línea de trabajo del SHN, mencionada precedentemente, y están relacionados directamente con la implementación de un modelo matemático para el estudio y la predicción de corrientes y fluctuaciones del nivel del mar en zonas costeras patagónicas de interés.

El conocimiento de la circulación costera es fundamental desde el punto de vista de la seguridad náutica, el transporte de sedimentos, la contaminación, el impacto ambiental y para el óptimo aprovechamiento de los recursos. Para la modelación matemática de la circulación de las aguas es necesario incluir a las principales fuerzas y fenómenos intervinientes, entre ellos, la marea, el viento y las corrientes marinas asociadas a los grandes sistemas de

circulación oceánica. La circulación resultante de este tipo de modelos costeros depende, entre otras cosas, de la bondad de la batimetría adoptada y del grado de detalle de la representación de los accidentes costeros del recinto a modelar. En consecuencia, el estudio particular y muy cuidadoso de ambos aspectos mencionados es altamente recomendado. En el presente trabajo se elaboran las batimetrías digitales de cuatro áreas del litoral patagónico, las cuales serán utilizadas para el modelado numérico de la circulación costera inducida por el esfuerzo del viento y la marea.

Las batimetrías digitales serán utilizadas como información de base para la generación y estudio de la corriente y la marea en cada una de las zonas propuestas por los coordinadores del Proyecto. Se utiliza para ese fin el sistema de modelación costera WQMap (Applied Science Associates, 2004) el cual será aplicado inicialmente a las siguientes áreas de interés: San Antonio (Pcia. de Río Negro), Bahía Camarones, Cabo Dos Bahías y Península Aristazábal (Pcia. de Chubut), Rada Puerto Deseado (Pcia. de Santa Cruz) y plataforma continental fueguina (Pcia. de Tierra del Fuego, Antártida e islas del Atlántico Sur). Los resultados de la modelación matemática permitirán describir con un alto grado de detalle las corrientes y el comportamiento del nivel del mar, pudiéndose discriminar cuantitativamente los efectos determinísticos, asociados a la componente astronómica, de los aleatorios, inducidos por el viento. La información hidrodinámica resultante será utilizada, fundamentalmente, para dar seguridad a la navegación, para la predicción de eventuales trayectorias de “manchas” producidas por posibles derrames de hidrocarburos y para la investigación científica. Por otro lado, la información resultante nutrirá la componente oceanográfica de las cartas de sensibilidad ecológica y los sistemas de información geográfica, ambos previstos en el marco de este proyecto.

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se especifican los límites y se describen sucintamente las cuatro áreas de interés propuestas por los coordinadores del Proyecto. En la sección 3, se describe el método empleado para la digitalización de las cartas náuticas utilizadas y, en la 4, se presentan algunas consideraciones relativas a las proyecciones cartográficas utilizadas en este trabajo. En la sección 5, se explican los métodos de interpolación espacial empleados para la elaboración de las batimetrías digitales y, en la 6, se estudia la calidad de las batimetrías resultantes comparando

los valores de profundidad generados mediante procesos de interpolación con los valores de profundidad digitalizados. En la 7, se presentan a modo de ejemplo, algunos resultados preliminares obtenidos con WQMap y con la simulación de un hipotético derrame de crudo realizado mediante el sistema OILMap. Finalmente, en la sección 8, se exponen las conclusiones más relevantes obtenidas a lo largo de este trabajo.

2. ÁREAS DE ESTUDIO

A continuación se presentan los límites geográficos para cada una de las zonas seleccionadas por el Proyecto. Para cada una de ellas, se brindan las latitudes de los bordes Norte (latitud 1) y Sur (latitud 2) y longitudes de los bordes Este (longitud 1) y Oeste (longitud 2) y, además, un sucinto resumen de la importancia geográfica, biológica, social y económica de cada zona.

2.1. San Antonio Oeste - Pcia. de Río Negro

Zona 1	PROVINCIA DE RÍO NEGRO	San Antonio Oeste	Latitud 1	40° 42' S
			Latitud 2	40° 58' S
			Longitud 1	64° 42' W
			Longitud 2	65° 10' W

Tabla 2.1. Delimitación de la Zona 1.

En la Zona 1 (Fig. 2.1) se ubica el puerto de San Antonio Este. En el año 1977, se iniciaron las obras de esta terminal portuaria internacional en punta Villarino, habilitándose oficialmente el puerto de Aguas Profundas el día 9 de febrero de 1983. Punta Villarino determina el extremo oeste de la península Villarino, y marca el extremo más oriental de la entrada al puerto de San Antonio. Tiene 38 m de altura y se identifica por estar formada por médanos sin vegetación, que son los más elevados de la península. El puerto es el nudo convergente de rutas que posibilitan su vinculación con las principales zonas de la provincia y la región (Patagonia Argentina, 2004a).

A través de este puerto se produce la exportación del 95% de las manzanas del valle y peras del Alto Valle y Neuquén, con destino a los puertos de ultramar. También se exporta uva, ciruela, cítricos, echalotes, ajo, cebolla, papa, semillas y cloruro de sodio. Con respecto

al recurso pesquero, a partir de la habilitación del muelle flotante, las actividades relacionadas a la exportación se desarrollan ininterrumpidamente, registrándose los mayores movimientos entre mediados de enero y fines de mayo (SHN, 2000a).

La Provincia de Río Negro creó en junio de 1993 el “Área Natural Protegida” de bahía San Antonio (Ley Provincial 2670), extendiéndose desde faro-baliza San Matías (en la zona de San Antonio Este, 16 km al este de punta Villarino) hasta El Sótano (12 km al oeste de Las Grutas), incluyendo casi 45 km de playas. Esta reserva incluye la franja costera que se extiende 50 metros mar adentro desde la línea de la bajamar más baja. El motivo principal para la creación de esta área fue la protección y conservación de los ambientes que sirven como zonas para la reproducción, el descanso y la alimentación de diversas aves, tanto residentes como migratorias. La Red Hemisférica de Reserva para Aves Playeras, organismo internacional que protege los ambientes críticos usados por estas aves, reconoció a esta región como “Sitio Internacional”, porque al menos una cuarta parte de la población americana de Playeros Rojizos la utiliza, de alguna manera, a lo largo de su vida. Se estima que un total de 100.000 aves playeras de diferentes especies utilizan esta reserva (Patagonia Argentina, 2004b).

2.2. Bahía Camarones y de Cabo Dos Bahías a Península Aristizábal - Pcia. de Chubut

Zona 2	PROVINCIA DE CHUBUT	Bahía Camarones	Latitud 1	44° 20' S
			Latitud 2	45° 08' S
			Longitud 1	65° 00' W
			Longitud 2	65° 45' W
		Cabo Dos Bahías a Península Aristizábal	Latitud 1	44° 52' S
			Latitud 2	45° 38' S
			Longitud 1	65° 10' W
			Longitud 2	66° 45' W

Tabla 2.2. Delimitación de la Zona 2.

La Zona 2 está compuesta por las Sub-Zona A y B (Fig. 2.1). La A corresponde a Bahía Camarones y la B a la región comprendida entre Cabo Dos Bahías y Península Aristizábal. Ambas Sub-Zonas se encuentran ubicadas al norte del golfo San Jorge. Este golfo tiene 245 km de ancho en su boca, entre el cabo Dos Bahías y el cabo Tres Puntas, y unos 148 km de saco (entrada del mar en la tierra). Su costa norte es en general acantilada y tiene varias bahías y puntos protegidos.

2.2.a. Bahía Camarones

La bahía Camarones, ubicada entre punta Roja y cabo Dos Bahías, tiene aproximadamente unos 41 km de ancho y 18.5 de saco. La playa es peñascosa hasta punta Fabián y, de ahí en adelante, es de conchillas y pedregullo hasta punta Gaviota, en donde presenta nuevamente característica peñascosa. La punta Roja, extremo norte de la bahía, es de suave pendiente y se interna en el mar presentando gran cantidad de escollos y restingas. Desde la bahía San Sebastián, la costa presenta una orientación predominante sudoeste con puntas salientes y restingas uniformemente espaciadas (SHN, 2000a).

En el centro de bahía Camarones se observan las Islas Blancas, un sistema insular constituido por tres islas rocosas. Si bien éstas son de color gris amarillento, aparecen a la vista con tonalidad blanca por estar cubiertas en gran parte por guano. En las adyacencias de estas islas el fondo es de pedregullo y conchilla. En esta zona viven gran cantidad de lobos y aves marinas, notándose en los meses de mayo y junio la presencia de ballenas de regular tamaño (SHN, 2000a).

La actividad económica se basa en la cría de ganado ovino, la pesca, la recolección, secado y enfardado de algas marinas y la producción de agar agar (sustancia mucilaginosa utilizada como medio de cultivo, en farmacia, en bacteriología y en ciertas industrias). En el golfo San Jorge se encuentra el atracadero Bahía Camarones (44° 33' S, 65° 22' W). La actividad principal de este muelle es la descarga de pescado fresco (Puertos de Argentina, 2001).

2.2.b. De Cabo Dos Bahías a Península Aristizábal

Cabo Dos Bahías se caracteriza por ser alto, rocoso y visible a gran distancia. En el lugar se encuentra instalada una Reserva Natural de Fauna donde conviven pingüinos y lobos marinos de dos pelos. La costa entre cabo Dos Bahías y la isla Leones es muy sinuosa y presenta gran número de pequeñas entradas (SHN, 2000a). Un punto importante para ser mencionado es la bahía Cayetano, constituida por rocas de color rojizo, alcanzando una altura máxima de 53 m. En su extremo oriental, bastante bajo, emergen algunos islotes. Al oeste de esta bahía la costa forma la bahía Melo, cuya mitad oriental constituye el puerto Melo. En la entrada de la bahía y del puerto se encuentran una gran cantidad de isla e islotes. Hacia el oeste se encuentra la bahía Bustamante, que puede considerarse cerrada hacia el este por una serie de escollos y por pequeñas islas. La costa está constituida por escarpados rocosos, interrumpidos por extensas playas de pedregullo (SHN, 2000a). En la zona costera se encuentran numerosas rocas que, por lo general, se cubren de agua en pleamar. Finalmente, pueden observarse numerosas islas, pudiéndose mencionar, entre las más importantes, la isla Arce, la isla Leones, la isla Valdés y la isla Tova, siendo esta última la más importante del golfo San Jorge.

2.3. Rada Puerto Deseado - Pcia. de Santa Cruz

Zona 3	PROVINCIA DE SANTA CRUZ	Rada Puerto Deseado	Latitud 1	47° 41.5' S
			Latitud 2	47° 58' S
			Longitud 1	65° 38.5' W
			Longitud 2	65° 58' W

Tabla 2.3. Delimitación de la Zona 3.

En la Zona 3 (Fig. 2.1) se ubica la ciudad de Puerto Deseado, muy próxima a la boca del río Deseado. Al aproximarse a esta zona, la costa, que se presenta baja desde cabo Blanco,

comienza a elevarse a la altura de la roca Sorrell, formando una serie de colinas, entre las que se destaca el cerro Alonso (66 m). Al sur de este cerro hasta punta Cavendish (en la boca del río) la costa se dispone paralela a una serie de colinas de 50 m de altura, las que al llegar a la punta Cavendish se convierten en barrancos pedregosos a pique (SHN, 2000a).

La economía de la región se basa en la explotación petrolera, la cría del ganado ovino, el procesamiento de algas (para las industrias alimenticias, textil y cosmética) y, fundamentalmente, en la industria pesquera. Puerto Deseado se ubica en el tercer puesto en importancia del país en cuanto a exportaciones pesqueras, participando con un porcentaje significativo del total de las exportaciones nacionales. Posee una completa infraestructura portuaria, eficientes servicios terrestres, comunicaciones, capacidad de almacenamiento frigorífico, servicio de reparaciones navales, dique seco y suministro de combustible a buques (Secretaría de Comunicaciones, Municipalidad de Puerto Deseado, 2004). Por estas características, y considerando su estratégica ubicación y las inmejorables condiciones naturales, se lo considera un puerto seguro y operable todo el año.

2.4. Bahía San Sebastián - Pcia. de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur

Zona 4	PROVINCIA DE TIERRA DEL FUEGO, ANTÁRTIDA E ISLAS DEL ATLÁNTICO SUR	Bahía San Sebastián a Punta María	Latitud 1	52° 59' S
			Latitud 2	53° 57' S
			Longitud 1	67° 23.5' W
			Longitud 2	68° 38' W

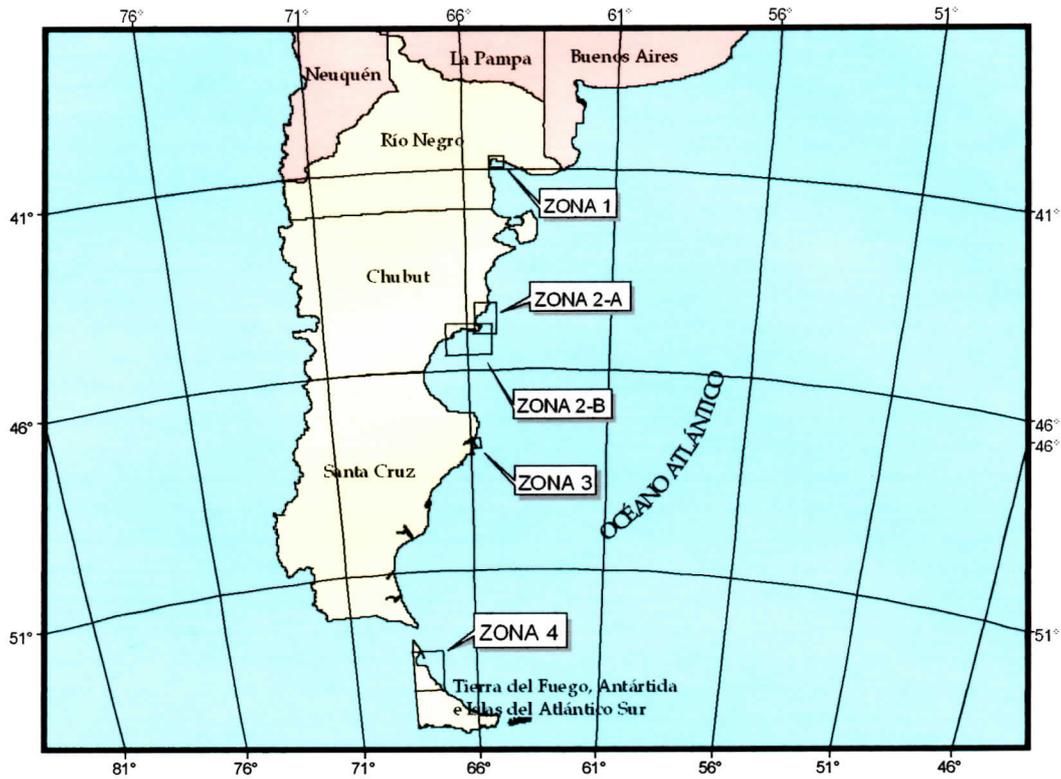
Tabla 2.4. Delimitación de la Zona 4.

La Zona 4 (Fig. 2.1) se extiende entre la bahía San Sebastián y la Punta María. La bahía San Sebastián se ubica entre la punta de Arenas y el cabo San Sebastián. Tiene 25 km de saco y una boca de 18.5 km de ancho. Las costas son en general bajas y se prolongan en playas de arena, arcilla y fango. El límite norte de la bahía, punta de Arenas, se encuentra en

el extremo sur de la península El Páramo (SHN, 1997). Hacia el sur, el cabo San Sebastián, es un promontorio de 60 metros de altura, escarpado y de color oscuro. En dicho cabo termina la sierra Carmen Sylva, que más hacia el occidente se eleva hasta alcanzar alturas de 300 m. Ubicada a 80 km al norte de Río Grande se encuentra la Reserva de San Sebastián. En ella se pueden avistar guanacos, zorros colorados, cisnes, cóndores y una gran variedad de aves migratorias. Hacia el sur de dicha Reserva se encuentra el cabo Domingo, que está constituido por una barranca muy notable de 80 m de altura, de color ligeramente rojizo y cortada a pique hacia el mar. A 15 km en dirección SE del cabo Domingo se encuentra la desembocadura de Río Grande, siendo éste el de mayor caudal de la isla de Tierra del Fuego (SHN, 1997).

La Ciudad de Río Grande está situada sobre la margen izquierda, frente a la desembocadura del río del mismo nombre, a 200 m de la costa y al pie de las barrancas. Cuenta con aproximadamente 40.000 habitantes. Muchos de ellos migraron desde diferentes partes del país atraídos por la ley de promoción industrial. Actualmente, la tendencia laboral es hacia el sector turístico (Patagonia Austral, 2004).

PROVINCIAS DE RÍO NEGRO, CHUBUT, SANTA CRUZ,
TIERRA DEL FUEGO, ANTÁRTIDA E ISLAS DEL ATLÁNTICO SUR
ÁREAS DE ESTUDIO



VISTA GENERAL



PROYECCIÓN GAUSS KRUGER

ESCALA
1:18.000.000

Figura 2.1. Áreas de Estudio.

2.5. Generación de batimetrías para modelos hidrodinámicos costeros

Las batimetrías generadas en este trabajo se utilizarán para alimentar al sistema de modelado numérico de circulación costera, verticalmente integrado, WQMap versión 5.0, desarrollado por Applied Science Associates (2004) bajo los requerimientos específicos suministrados por el SHN. Este tipo de herramienta simula un amplio rango de procesos físicos para una gran variedad de cuerpos acuáticos. Las simulaciones generadas con este modelo ayudarán a dilucidar problemas vinculados fundamentalmente a la dinámica de las aguas y serán utilizadas para predecir los impactos ambientales bajo condiciones reales o hipotéticas.

Para la modelación matemática de la circulación costera es necesario resolver conjuntamente a las ecuaciones de conservación de masa y de cantidad de movimiento, considerando y parametrizando las principales fuerzas intervinientes (asociadas a los gradientes horizontales de presión, al efecto de Coriolis, a la fricción que ejerce el fluido sobre el fondo y a los procesos de mezcla turbulenta). Por otro lado, deben incluirse todos los fenómenos físicos que actúan sobre el medio acuático, entre ellos, la marea de origen astronómico y las tensiones sobre la superficie del agua generadas por el viento. No obstante, los resultados que se obtienen a través de este tipo de modelos dependen, en gran medida, de la representación del fondo marino (batimetría) y del grado de detalle utilizado para la representación de los accidentes costeros. Ambos aspectos están íntimamente ligados a la fuente u origen del dato batimétrico, a la metodología aplicada en la interpolación espacial y a la resolución utilizada para la generación de la matriz de profundidades, frecuentemente denominada “grilla” o “retícula”.

Para estudios vinculados al modelado numérico, frecuentemente las batimetrías se generan partiendo de valores de profundidad digitalizados de cartas náuticas disponibles. Sobre la base de la distribución irregular de valores digitalizados se obtienen grillas (matrices de datos regularmente espaciados) mediante la aplicación de diferentes métodos de interpolación espacial. Cada elemento constituye un nodo de la grilla y este valor de profundidad deberá ser representativo del área comprendida en el rectángulo (celda) centrado en dicho nodo, cuyos lados tienen la medida de la distancia entre nodos. La separación entre

9

nodos (generalmente dispuestos a lo largo de paralelos y meridianos) define la resolución de la grilla, es decir, cuando la distancia es pequeña la resolución es alta, y viceversa. Idealmente, lo mejor sería conseguir una grilla con muy alta resolución para representar exactamente el recinto a estudiar y, además, lograr una descripción de la línea de costa con gran semejanza a la real. Sin embargo, hay básicamente dos factores que gobiernan la resolución de grillas aplicadas a la modelación matemática, el primero, la dispersión de los datos de base (es decir, la distribución espacial de los datos digitalizados) y, en segundo lugar, el compromiso existente entre la resolución y el intervalo de integración temporal del modelo (a mayor resolución implica menor paso temporal y, en consecuencia, mayor tiempo de integración numérica que a veces puede resultar inviable por la lentitud de las simulaciones). En la práctica, la separación entre nodos para modelos costeros es del orden de 1 km.

Es importante tener en cuenta, además, que las grillas batimétricas deben representar principalmente todas las características destacables de la zona a estudiar cuyas dimensiones sean iguales o superiores al tamaño de la celda. Es decir, los criterios que aquí se manejan son muy distintos a los empleados en cartografía: mientras que una roca muy delgada que aflora desde el fondo hasta casi la superficie del mar debe ser resaltada en una carta elaborada con fines náuticos, ésta pasa inadvertida en una grilla batimétrica generada con fines hidrodinámicos.

3. DATOS UTILIZADOS Y METODOLOGÍAS

3.1. Métodos para la digitalización de cartas náuticas

Las batimetrías elaboradas en este trabajo se realizaron sobre la base de datos de profundidad (sondajes) presentes en diferentes cartas náuticas que cubren parcialmente las cuatro zonas elegidas por los coordinadores del Proyecto. El traspaso de esta información de base a formato digital se realizó a través de la digitalización electrónica de los datos presentes en las cartas náuticas seleccionadas. Este proceso se aplicó sobre sondajes, costas e isobatas. Para la digitalización de las cartas náuticas se utilizó un tablero digitalizador marca "Summa Grid" modelo "GTCO Calcomp Peripherals SG53648", facilitado por la Comisión Nacional para el Límite Exterior de la Plataforma Continental (COPLA).

Para la digitalización de isolíneas (costas e isobatas) existen dos métodos de trabajo. El primero de ellos se basa en la digitalización automática y continua de puntos a intervalos regulares y, el otro, en la digitalización punto a punto de coordenadas seleccionadas (Moldes Teo, 1995). En el primero de los métodos, a medida que se recorre la isolínea con el cursor, el sistema de adquisición de datos almacena automáticamente las coordenadas de los puntos a intervalo regular y prefijado de antemano. En cambio, en el segundo, se eligen los puntos cuyas coordenadas serán almacenadas.

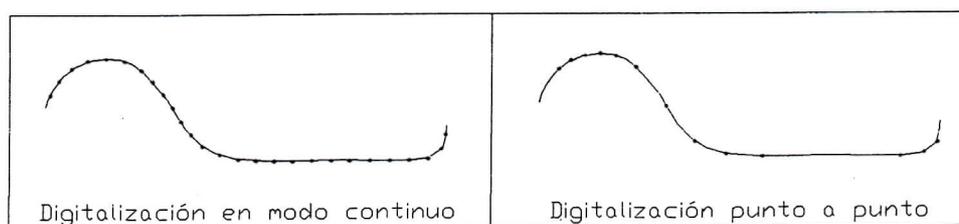


Figura 3.1. Métodos para la digitalización de líneas.

En la figura 3.1 se ejemplifican ambas metodologías. El gráfico del panel izquierdo corresponde al método de digitalización automático o continuo, observándose que la

adquisición de datos se realiza a intervalos constantes. Por otro lado, el gráfico del panel derecho ejemplifica al método de digitalización punto a punto. Puede observarse que, en este caso, se seleccionaron subjetivamente los puntos considerados como más convenientes para la representación de la línea.

Para la digitalización de costas e isobatas se adoptó el modo continuo o automático ya que, para este trabajo, se lo consideró más conveniente, práctico y objetivo que al método de adquisición puntual (aunque, debe mencionarse que los archivos de datos así digitalizados ocupan más espacio de almacenamiento en disco). Se estableció de antemano la distancia entre coordenadas consecutivas a almacenarse, ΔS , en 0.2 mm (medida sobre la carta). Consecuentemente, la distancia en el terreno correspondiente a la separación entre puntos consecutivos puede calcularse con la escala de la carta sobre la que se trabaja. En la Tabla 3.1 se presentan las distancias reales entre coordenadas digitalizadas consecutivas, utilizando ΔS igual a 0.2 mm.

Denominador de la escala	Distancia sobre el terreno (km)
35.000	0.007
50.000	0.010
100.000	0.020
300.000	0.060
350.000	0.070
400.000	0.080
500.000	0.100
1.500.000	0.300

Tabla 3.1. Distancia entre datos digitalizados utilizando ΔS igual a 0.2 mm.

Por otro lado, para la digitalización de sondajes se utilizó el método de adquisición punto a punto. Para ello, se ubicó el cursor del digitalizador sobre cada valor de sondaje que se deseaba adquirir y, a través del teclado de la computadora, se ingresó el valor

correspondiente. Cabe señalar que en algunas cartas náuticas utilizadas los sondeos estaban indicados en metros y en otras en brazas (1.852 m). Con el objeto de unificar unidades, en el presente trabajo todas las profundidades se convirtieron a metros y, en consecuencia, todos los resultados obtenidos se presentan en esta unidad. Los datos resultantes de la digitalización correspondientes a la costa, a las isobatas y a los sondeos fueron almacenados en archivos tipo ASCII. Las coordenadas x e y obtenidas de la digitalización, en milímetros, están referidas a un origen arbitrario definido sobre cada una de las cartas náuticas utilizadas.

3.2. Cartas náuticas digitalizadas

A continuación se presenta una descripción sucinta de cada una de las Cartas Náuticas utilizadas en este trabajo. Para cada una se brinda el nombre y número de la carta, el tipo de proyección, la escala, las unidades en la que se presentan las profundidades, los límites geográficos, el año y el número de edición. En el Apéndice I se encuentra la representación en proyección Gauss Kruger (ver 4.2) de cada una de las Cartas Náuticas digitalizadas.

3.2.1. Zona 1: Provincia de Río Negro - San Antonio Oeste

Nombre	Puerto San Antonio (Provincia de Río Negro)		
	Carta Náutica H-262 (SHN, 1983a)		
Proyección	Mercator		
Escala	1/50.000 (en latitud media)		
Profundidades	metros		
Límites	Norte:	40° 42' S	
	Sur:	40° 57' S	
	Este:	64° 42,5' W	
	Oeste:	65° 10' W	
Año	1983		
Edición	2da.		

Compilación de levantamientos hidrográficos efectuados por el SHN del Comando en Jefe de la Armada hasta 1982. Actualización aerofotogramétrica año 1980. Publicada por el SHN de la Armada Argentina – Buenos Aires – IV – 1969.

Nombre **De Faro Segunda Barranca a Faro Punta Bajo** (Provincias de Buenos Aires, de Río Negro y de Chubut)
Carta Náutica H-214 (SHN, 1970)

Proyección Mercator

Escala 1/275.000 (en latitud media)

Profundidades en metros

Límites Norte: 40° 30' S
Sur: 42° 26' S
Este: 61° 33' W
Oeste: 65° 15' W

Año 1970

Edición 1ra.

Compilación de levantamientos hidrográficos efectuados por el SHN del Comando en Jefe de la Armada hasta 1995. Relevamiento aerofotogramétrico con apoyo - 1967. Publicada por el SHN del Comando en Jefe de la Armada – Buenos Aires – XI – 1970.

Nombre **De Faro Punta Norte a Faro San José** (Provincia de Chubut)
Carta Náutica H-215 (SHN, 1983b)

Proyección Mercator

Escala 1/275.000 (en latitud media)

Profundidades en metros

Límites Norte: 41° 50' S
Sur: 44° 36' S
Este: 62° 49' W
Oeste: 65° 25' W

Año 1983

Edición 2da.

Compilación de levantamientos hidrográficos efectuados por el SHN del Comando en Jefe de la Armada hasta el año 1995. Restituciones Aerofotogramétricas, con apoyo, año 1965. publicado por el SHN del Comando en Jefe de la Armada – Buenos Aires – VII – 1977. Las cartas H-214 y H-215 fueron digitalizadas para un trabajo previo en el cual se implementó un modelo hidrodinámico bidimensional en los Golfos Norpatagónicos (Mazio y Dragani, 2000), por lo tanto no se incluyen en el Apéndice I.

	Límites de la Zona 1	H-262 (1/50.000)	H-214 (1/275.000)	H-215 (1/275.000)
Latitud 1	40° 42' S	40° 42' S	40° 30' S	41° 50' S
Latitud 2	40° 58' S	40° 57' S	42° 26' S	44° 36' S
Longitud 1	64° 42' W	64° 42,5' W	61° 33' W	62° 49' W
Longitud 2	65° 10' W	65° 10' W	65° 15' W	65° 25' W

Tabla 3.1. Coordenadas de los límites de la zona requerida y de la zona digitalizada para cada una de las cartas náuticas utilizadas.

En la Tabla 3.1 se presentan las coordenadas de los límites de la Zona 1, como así también los límites de las zonas digitalizadas para cada una de las cartas náuticas utilizadas.

3.2.2. Zona 2: Provincia de Chubut

3.2.2.a Sub-Zona A: Bahía Camarones

Nombre	Bahía Camarones (Provincia de Chubut)		
	Carta Náutica 3 (Servicio Hidrográfico, 1928)		
Escala	1/50.000 (en latitud media)		
Profundidades	en brazas		
Límites	Norte:	44° 33,8' S	
	Sur:	44° 56' S	
	Este:	65° 20' W	

Oeste: 65° 46' W

Año 1928

Edición 3ra.

Cañonero "Patria", Capitán de Fragata Félix Mac Carthy - 1926. Publicado por el Servicio Hidrográfico del Ministerio de Marina – Buenos Aires – II – 1901.

Nombre **De Punta Ninfas a Isla Tova** (Provincia de Chubut)

Carta Náutica 58 (SHN, 1928)

Proyección Mercator

Escala 1/300.000 (en latitud media)

Profundidades en brazas

Límites Norte: 42° 50' S

Sur: 45° 10' S

Este: 64° 00' W

Oeste: 66° 10' W

Año 1928

Edición 1ra.

Compilación de trabajos del SHN de la Secretaría de Marina. Buque Hidrógrafo 1ro. de mayo. Capitán de Fragata Félix Mac Carthy – 1926. Teniente de Navío Alberto D. Brunet – 1927. Publicado por el SHN de la Armada Argentina – Buenos Aires – 1928.

Nombre **Golfo San Jorge** (Provincias de Chubut y Santa Cruz)

Carta Náutica H-3 (SHN, 2000b)

Proyección Mercator

Escala 1/1.500.000 (en latitud media)

Profundidades en metros

Límites Norte: 44° 00' S

Sur: 51° 00' S

Este: 52° 30' W

Oeste: 69° 30' W

Año 2000

Edición 5ta.

Publicado por el SHN del Comando en Jefe de la Armada – Buenos Aires – IX – 2000.

	Límites de la Sub-Zona A	Carta 3 (1/50.000)	Carta 58 (1/300.000)	H-3 (1/1.500.000)
Latitud 1	44° 20' S	44° 33,8' S	44° 00' S	44° 00' S
Latitud 2	45° 08' S	44° 56' S	45° 10' S	48° 00' S
Longitud 1	65° 00' W	65° 20' W	64° 00' W	61° 00' W
Longitud 2	65° 45' W	65° 46' W	66° 10' W	69° 30' W

Tabla 3.2. Coordenadas de los límites de la zona requerida y de la zona digitalizada para cada una de las cartas náuticas utilizadas.

En la Tabla 3.2 se presentan las coordenadas de los límites de la Zona 2, Sub-Zona A, como así también los límites de las zonas digitalizadas para cada una de las cartas náuticas utilizadas.

3.2.2.b Sub-Zona B: De Cabo Dos Bahías a Península Aristizábal

Nombre	De Cabo Dos Bahías a Punta Médanos (Provincia de Chubut) Carta Náutica 12 (Servicio Hidrográfico, 1927)		
Escala	1/100.000 (en latitud media)		
Profundidades	en brazas		
Límites	Norte:	44° 52' S	
	Sur:	45° 15' S	
	Este:	65° 20' W	
	Oeste:	66° 13' W	
Año	1927		
Edición	1ra.		

Cañonero "Patria", Capitán de Fragata Adolfo Perna – 1925. Publicado por el Servicio Hidrográfico del Ministerio de Marina – Buenos Aires – X – 1927.

Nombre **Golfo San Jorge De Punta Médanos a Isla Quintanos** (Provincia de Chubut)
Carta Náutica 13 (SHN, 1927)

Escala 1/100.000 (en latitud media)

Profundidades en brazas

Límites Norte: 44° 57' S
Sur: 45° 20' S
Este: 66° 05' W
Oeste: 66° 55' W

Año 1927

Edición 1ra.

Cañonero "Patria", Capitán de Fragata Adolfo Perna – 1925. Publicado por el Servicio de Hidrografía Naval de la Armada Argentina – XI– 1927.

Nombre **Golfo San Jorge** (Provincia de Chubut y Santa Cruz)
Carta Náutica 59 (Servicio Hidrográfico, 1934)

Escala 1/400.000 (en latitud media)

Profundidades en brazas

Límites Norte: 44° 50' S
Sur: 47° 15' S
Este 65° 00' W
Oeste 68° 00' W

Año 1934

Edición 2da.

Recopilación de trabajos del Servicio Hidrográfico completados por el cañonero "Patria", Capitán de Fragata A. Perna – 1925 y Buque Hidrógrafo "1ro. de Mayo" Teniente de Navío P.

Luisioni – 1928. Publicado por el Servicio Hidrográfico del Ministerio de Marina – Buenos Aires – XII – 1928.

	Límites de la Sub-Zona B	Carta 12 (1/100.000)	Carta 13 (1/100.000)	Carta 59 (1/400.000)	H-3 (1/1.500.000)
Latitud 1	44° 52' S	44° 52' S	44° 57' S	44° 50' S	44° 00' S
Latitud 2	45° 38' S	45° 15' S	45° 20' S	47° 15' S	48° 00' S
Longitud 1	65° 10' W	65° 20' W	66° 05' W	65° 00' W	61° 00' W
Longitud 2	66° 45' W	66° 13' W	66° 55' W	68° 00' W	69° 30' W

Tabla 3.3. Coordenadas de los límites de la zona requerida y de la zona digitalizada para cada una de las cartas náuticas utilizadas

En la Tabla 3.3 se presentan las coordenadas de los límites de la Zona 2, Sub-Zona B, como así también los límites de las zonas digitalizadas para cada una de las cartas náuticas utilizadas.

3.2.3. Zona 3: Provincia de Santa Cruz – Rada Puerto Deseado

Nombre	Rada Puerto Deseado (Provincia de Santa Cruz)	
	Carta Náutica H-360 (SHN, 1973)	
Proyección	Mercator	
Escala	1/35.000 (en latitud media)	
Profundidades	en metros	
Límites	Norte:	47° 41' S
	Sur:	47° 55' S
	Este:	65° 42' W
	Oeste:	65° 56' W
Año	1973	
Edición	1ra.	

Compilada de levantamientos hidrográficos y aerofotogramétricos del SHN del Comando en Jefe de la Armada hasta el año 1969. Publicado por el SHN del Comando en Jefe de la Armada – Buenos Aires – II – 1973.

Nombre	De Cabo Tres Puntas a Cabo San Francisco de Paula (Provincia de Santa Cruz)		
	Carta Náutica 60 (Servicio Hidrográfico, 1933)		
Escala	1/350.000 (en latitud media)		
Profundidades	en brazas		
Límites	Norte:	47° 00' S	
	Sur:	49° 46' S	
	Este:	65° 00' W	
	Oeste:	68° 00' W	
Año	1933		
Edición	1ra.		

Compilada con datos del Servicio Hidrográfico y de la Dirección de Tierras y Colonias – 1932. Publicado por el Servicio Hidrográfico del Ministerio de Marina – Buenos Aires – II – 1933.

	Límites de la Zona 3	H-360 (1/35.000)	Carta 60 (1/350.000)
Latitud 1	47° 41,5' S	47° 41' S	47° 00' S
Latitud 2	47° 58' S	47° 55' S	49° 46' S
Longitud 1	65° 38,5' W	65° 42' W	65° 00' W
Longitud 2	65° 58' W	65° 56' W	68° 00' W

Tabla 3.4. Coordenadas de los límites de la zona requerida y de la zona digitalizada para cada una de las cartas náuticas utilizadas

En la Tabla 3.4 se presentan las coordenadas de los límites de la Zona 3, como así también los límites de las zonas digitalizadas para cada una de las cartas náuticas utilizadas.

3.2.4. Zona 4: Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur – De Bahía San Sebastián a Punta María

Nombre **De Bahía San Sebastián a Punta María** (Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur)
Carta Náutica H-425 (SHN, 1992)

Proyección Mercator

Escala 1/100.000 (en latitud media)

Profundidades en metros

Límites Norte: 52° 59' S
Sur: 53° 57' S
Este: 67° 23,6' W
Oeste: 68° 38' W

Año 1992

Edición 1ra.

Compilación de levantamientos hidrográficos del SHN de la Armada Argentina hasta 1987. Restitución aerofotogramétrica año 1982. Publicada por el SHN de la Armada Argentina – Buenos Aires – XII – 1992.

Nombre **Archipiélago Fueguino e Islas Malvinas** (Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur)
Carta Náutica H-4 (SHN, 2002)

Proyección Mercator

Escala 1/500.000 (en latitud media)

Profundidades en metros

Límites Norte: 49° 00' S

Sur: 57° 00' S
 Este: 51° 30' W
 Oeste: 75° 00' W

Año 2002

Edición 4ta.

Compilada de levantamientos hidrográficos del SHN de la Armada Argentina hasta 1998. Completada con cartas chilenas, británicas y del Lamont Geological Observatory e información del Instituto Geográfico Militar Argentino. Publicado por el SHN de la Armada Argentina – VIII – 1968.

	Límites de la Zona 3	H-425 1/100.000	H-4 1/500.000
Latitud 1	52° 59' S	52° 59' S	50° 00' S
Latitud 2	53° 57' S	53° 57' S	56° 00' S
Longitud 1	67° 23,5' W	67° 23,6' W	62° 00' W
Longitud 2	68° 38' W	68° 38' W	70° 00' W

Tabla 3.5. Coordenadas de los límites de la zona requerida y de la zona digitalizada para cada una de las cartas náuticas utilizadas

En la Tabla 3.5 se presentan las coordenadas de los límites de la Zona 4, como así también los límites de las zonas digitalizadas para cada una de las cartas náuticas utilizadas.

Durante el proceso de digitalización se investigó sobre la existencia de levantamientos batimétricos recientes, realizados en alguna de las zonas de interés, y que al presente no hubiesen sido incluidos en cartas náuticas utilizadas, pero no se hallaron novedades al respecto.

3.3. Delimitación de las áreas para el modelado matemático

Una zona determinada (como por ejemplo, alguna de las que se proponen en este Proyecto) puede tener interés económico, ecológico, social o geográfico pero, tal como está dada, puede no ser la apropiada para la modelación matemática de la circulación costera. Esto sucede generalmente cuando sus bordes abiertos están dispuestos de manera poco conveniente para el estudio hidrodinámico (es decir, por ejemplo, cuando los bordes abiertos están cruzando la boca de un golfo o dentro de una bahía). Se realizó un estudio preliminar con el objeto de evaluar si los límites de las cuatro zonas eran adecuados para la modelación numérica. De dicho análisis surgió la necesidad de replantear – desde el punto de vista hidrodinámico - los límites de las cuatro zonas tales que, las nuevas, cubriesen completamente las definidas por los coordinadores del proyecto y, simultáneamente, fuesen adecuadas para la modelación matemática de la circulación costera. Para las zonas 1 y 4, se decidió simplemente extender los límites propuestos, tomando toda la extensión del golfo San Matías y una mayor parte de la plataforma continental fueguina, respectivamente. En cambio, para el caso de las zonas 2 y 3, ubicadas una al norte y otra al sur del Golfo San Jorge, se consideró más conveniente modelarlas dentro de un mismo dominio computacional y, por lo tanto, se creó una zona de mayor extensión conteniendo a ambas. Así se generó la Zona 2-3, cuyos límites se especifican en la Tabla 3.6, cubriendo totalmente al golfo San Jorge y parte de la plataforma continental argentina adyacente.

	Norte	Sur	Este	Oeste
Zona 1	Costa	42°27'30" S	63°50' W	Costa
Zona 2-3	43°20' S	49°20' S	61° W	Costa
Zona 4	50° S	54°47' S	62° W	Costa

Tabla 3.6. Límites de las zonas para el modelado matemático

Una vez establecidos los nuevos límites, los archivos de sondajes (uno para cada una de las cartas náuticas digitalizadas) se ensamblaron para componer uno para cada zona

redefinida. Para el caso de los archivos correspondientes a las isobatas y a las líneas de costa digitalizadas, se optó por utilizar las de mayor resolución.

Finalmente, para el caso de la zona 2-3 se observó una escasa densidad de sondajes en el sector ubicado a la latitud de la ciudad de Rawson. Por lo tanto, para aumentar la densidad de puntos en dicho sector, se digitalizaron algunos sondajes de la carta náutica 50. A continuación se brindan las especificaciones correspondientes a la carta previamente mencionada.

Nombre	Mar Argentino
	Carta Náutica 50 (SHN, 1986)
Proyección	Mercator
Escala	1/3.000.000 (en latitud media)
Profundidades	en brazas
Límites	Norte: 33° S
	Sur: 57° S
	Este: 50° W
	Oeste: 76° W
Año	1986
Edición	4ta.

Compilación de trabajos del SHN de la Armada Argentina, Instituto Geográfico Militar y Ministerio de Obras Públicas completadas con datos de los Servicios Hidrográficos Chileno, Uruguayo, Inglés y Alemán hasta 1986.

En el Apéndice II se presentan las figuras correspondientes a las distribuciones de los sondajes digitalizados para las zonas 1, 2-3 y 4, definidas para la modelación matemática de la circulación costera.

4. TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS

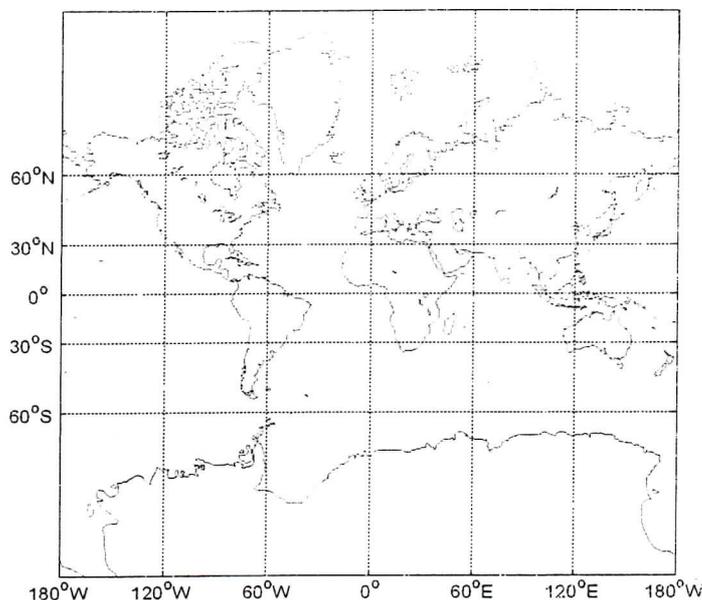
Como se mencionara en el capítulo 3, todas las cartas náuticas utilizadas están dadas en proyección Mercator. Durante el proceso de digitalización de sondajes e isolíneas se obtuvieron pares de coordenadas (x, y) referidas a un origen arbitrario fijado de antemano por el usuario. Dado que para la generación de la batimetría de cada zona se utilizarán datos provenientes de al menos dos cartas náuticas, las coordenadas Mercator digitalizadas (referidas a orígenes diferentes sobre cartas náuticas distintas) debieron transformarse a coordenadas geográficas (latitud: ϕ y longitud: λ) para lograr un conjunto de datos homogéneos, referidos a un sistema de coordenadas común. A continuación (4.1) se brinda una descripción sintética de la proyección Mercator y de las ecuaciones utilizadas en las transformaciones de coordenadas (4.1.1).

4.1. Proyección Mercator. Generalidades

La proyección Mercator es una proyección con desarrollo cilíndrico siendo éste tangente en el Ecuador. En esta proyección, los meridianos son rectas paralelas entre sí, que cortan en ángulo recto a los paralelos, cuya separación aumenta en forma progresiva hacia los polos para asegurar la propiedad conforme (Asín, 1990; López Amador, 2002). Esta última propiedad es la que asegura que en esta proyección sólo se alteren las superficies y las distancias manteniéndose constante la magnitud de los ángulos (Asín, 1990). En esta proyección la variación de la distancia entre paralelos es tal que las deformaciones en la latitud son iguales a las deformaciones en longitud. Esta proyección tiene la propiedad de ser la única en la que las líneas que corresponden a rumbos magnéticos (loxodrómicas) son rectas. Esta propiedad, muy útil en navegación, le dio fama y reconocimiento indiscutido a la proyección Mercator.

Un inconveniente de la proyección Mercator es que la deformación de las superficies aumenta exageradamente en altas latitudes. Por ejemplo, al comparar las áreas de Groenlandia y de América del Sur, la segunda aparenta tener menor superficie que la isla dinamarquesa cuando, en realidad, tiene el doble. Las proyecciones de los polos estarían teóricamente en el infinito, siendo imposibles de representar en esta proyección.

En la Figura 4.1 se presenta, a modo de ejemplo, el mapa mundial en proyección Mercator apreciándose las características previamente descritas.



Mapa 4.1. Proyección Mercator del mapa mundial.

A pesar de las deformaciones que se observan en la representación de las superficies, esta proyección es la base de otras proyecciones y, en navegación, constituye una herramienta básica. (López Amador, 2002).

4.1.1. Transformación de Coordenadas

Para cada una de las zonas propuestas por el Proyecto se utilizaron más de una carta náutica en proyección Mercator. Para cada una de ellas, se obtuvieron las coordenadas x e y referidas a un origen particular. Consecuentemente, los archivos de datos así obtenidos eran incompatibles entre sí. Con el objeto de hacer compatibles las batimetrías correspondientes a cada zona, las coordenadas x e y obtenidas se transformaron a latitudes y longitudes

geográficas y, de esta manera, los datos resultantes de cada carta pudieron ser directamente ensamblados.

Las ecuaciones que gobiernan la transformación Mercator son (ver, por ejemplo, Haltiner, 1971):

$$x = a' \cdot \lambda \quad (4.1)$$

$$y = -a' \ln \frac{\cos \varphi}{1 + \operatorname{sen} \varphi} \quad (4.2)$$

en donde a' representa al radio terrestre.

Por otra parte, con el objeto de unificar las unidades de los sondeos, todas las profundidades se convirtieron a metros. A las profundidades indicadas en las cartas náuticas, referidas al nivel o plano de reducción, se le sumó la altura del nivel medio antes de realizar el ensamble entre cartas náuticas.

4.2. Proyección Gauss Kruger. Generalidades

Para representar gráficamente cada una de las zonas (1, 2-3 y 4, redefinidas para la modelación numérica, Apéndice II) se utilizó la proyección Gauss Kruger. A continuación se brinda una breve reseña de esta proyección.

La proyección Gauss Kruger utiliza como superficie de desarrollo un cilindro tangente a lo largo de un meridiano. Al igual que la Mercator, se trata también de una proyección conforme. Las deformaciones aumentan, a lo largo de los paralelos, a medida que la distancia medida desde el meridiano central se incrementa. Por esta razón, al territorio de la República Argentina se lo dividió en fajas de 3° de ancho en longitud, siendo el cilindro de desarrollo tangente al meridiano central de cada faja. En nuestro país, el Instituto Geográfico Militar adoptó este sistema, fijando siete fajas cuyos meridianos centrales y límites de las fajas se presentan en la siguiente tabla.

Faja	Meridiano central de la faja	Meridianos límites de faja
1	-72 (1.500.000)	-70° 30' -73° 30'
2	-69 (2.500.000)	-67° 30' -70° 30'
3	-66 (3.500.000)	-64° 30' -67° 30'
4	-63 (4.500.000)	-61° 30' -64° 30'
5	-60 (5.500.000)	-58° 30' -61° 30'
6	-57 (6.500.000)	-55° 30' -58° 30'
7	-54 (7.500.000)	-52° 30' -55° 30'

Tabla 4.1. Fajas Gauss Kruger utilizadas en la República Argentina. Entre paréntesis se indican las coordenadas correspondientes a los meridianos centrales.

Como puede apreciarse en la Tabla 4.1, la cifra que indica los millones de esta coordenada indica el número de faja en la que se encuentra el punto proyectado. En el siguiente mapa se presentan las fajas (equiespaciadas 3°) correspondientes al territorio de la República Argentina.

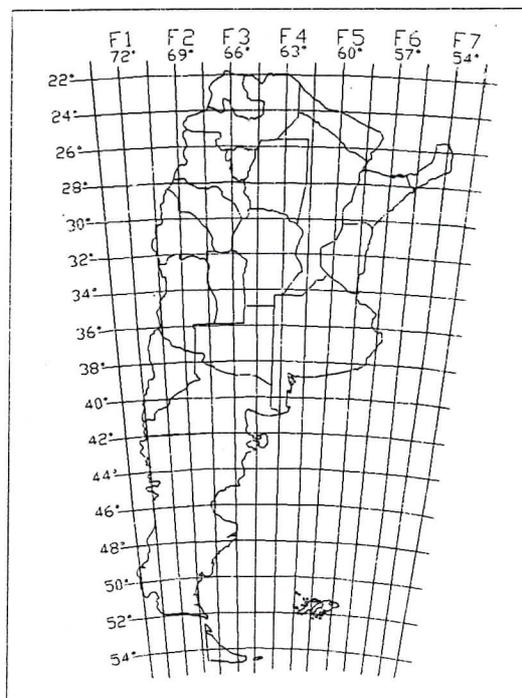


Figura 4.2. Fajas Gauss Kruger correspondiente a la República Argentina.

Las coordenadas planas (X , Y) Gauss Kruger de un punto dado, cuyas coordenadas geográficas son φ y λ , se calculan mediante las siguientes expresiones (ver, por ejemplo, D'Alvia, 1998):

$$X = S + \frac{(1 \cos \varphi)^2 N \cdot t}{2} + \frac{(1 \cos \varphi)^4 N \cdot t}{24} (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \frac{(1 \cos \varphi)^6 N \cdot t}{720} \cdot (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330t^2\eta^2) \quad (4.3)$$

$$Y = n \cdot 1.000.000 + 500.000 + 1 \cos \varphi \cdot N + \frac{(1 \cos \varphi)^3 N}{6} (1 - t^2 + \eta^2) + \frac{(1 \cos \varphi)^5 N}{120} \cdot (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58t^2\eta^2) \quad (4.4)$$

donde S representa la longitud del arco de meridiano entre el Polo Sur y el punto dado, N el radio normal, t la tangente de φ , η se define como $\sqrt{e^2 \cos^2 \varphi}$ (donde $e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b}}$ es la segunda excentricidad del elipsoide, siendo a y b los semiejes mayor y menor del elipsoide de referencia) y n la característica de la faja.

5. MODELADO MATEMÁTICO DEL FONDO MARINO

Con los datos obtenidos, según la metodología presentada en el capítulo 3, y mediante la aplicación de técnicas de interpolación espacial se generaron grillas batimétricas para cada una de las zonas a modelar. Como se adelantara previamente, la calidad de las batimetrías a generar juega un papel preponderante en los resultados de las modelaciones futuras.

La calidad de cualquier superficie a generar (en este caso el fondo oceánico) es dependiente de las características propias del terreno, los datos de base, el método de elaboración adoptado y de un conjunto de parámetros (particulares del método de interpolación) definidos en la generación (Morillo Barragán et al., 2002). Vale aclarar, además, que algunos métodos de interpolación espacial equivalentes pueden funcionar mejor que otros cuando se los aplican en sitios diferentes (Felicísimo Pérez et al., 2001). Por este motivo, se compararán diversos modelos generados con diferentes métodos y, a través de criterios cuantitativos se optará por el que se ajuste mejor a los sondeos obtenidos de las cartas náuticas utilizadas.

5.1. Métodos de interpolación espacial. Descripción

Se compararon resultados obtenidos con ocho métodos de interpolación espacial, con diferentes parámetros y resoluciones de grilla. Los métodos de interpolación utilizados en este trabajo son: funciones de base radial, inverso de la distancia, Kriging, mínima curvatura, Shepard modificado, triangulación con interpolación lineal, vecino natural y vecino próximo. Los métodos de interpolación utilizados se clasifican en dos grupos: exactos y de suavizado. Los primeros reproducen el valor del dato (sondaje) cuando la posición de éste coincide con la del nodo. En cambio, los métodos de suavizado generan valores interpolados diferentes y, en general, son empleados cuando la calidad y resolución de los datos es más baja (Golden Software, 1999). A continuación se brinda una breve descripción de cada método.

5.1.1. Funciones de base radial (FBR)

El método basado en funciones de base radial emplea expresiones dependientes de la distancia entre el punto interpolado y los puntos muestrales vecinos (Aguilar et al., 2001). En la siguiente ecuación, puede apreciarse la expresión propuesta para el cálculo del valor de la variable Z a interpolar (en este caso la profundidad) para el nodo (i, j) :

$$Z(i, j) = \sum_{i=1}^N a_i \cdot F(d_i) \quad (5.1)$$

en donde $F(d_i)$ es la función de base radial, d_i la distancia entre los puntos muestrales y el nodo y a_i los coeficientes que deben ser calculados mediante la resolución de un sistema lineal de N ecuaciones, siendo N el número de puntos muestrales vecinos que intervienen en el cálculo (Aguilar et al., 2001). Las siguientes expresiones corresponden a las funciones que se utilizan en el presente trabajo. En las mismas, al factor de suavizado se lo indica con s^2 .

Multicuadrática $F(d_i) = \sqrt{d_i^2 + s^2} \quad (5.2)$

“Spline” laminar $F(d_i) = (d_i^2 + s^2) \log(d_i^2 + s^2) \quad (5.3)$

El tipo de función define la ponderación aplicada a los datos durante el proceso de interpolación. El papel de estas funciones es análogo a los variogramas que se utilizan en el método de Kriging. La función más recomendada, es decir, con la que se obtienen mejores resultados, es la múlticuadrática. Esto surge de la evaluación estadística y de la comparación visual de las superficies modeladas (Aguilar et al., 2001). No obstante, en otras publicaciones, se recomienda la utilización de la función “spline” laminar (Golden Software, 1999). En este trabajo (ver Apéndice III) se presentan comparativamente resultados obtenidos con ambas funciones.

Como se mencionara previamente, en este método puede introducirse un factor de suavizado. Con la inclusión de este factor se generan superficies más suaves y,

consecuentemente, convierte al método en uno de suavizado. Cuando el valor de este factor es elevado produce superficies excesivamente suavizadas que, generalmente, se alejan sensiblemente de la geometría de la superficie real. No existe un método universalmente aceptado para el cálculo óptimo del factor de suavizado. Por este motivo, se recomienda ensayar distintos valores hasta obtener los mejores resultados (Aguilar et al., 2001).

5.1.2. Inversa de la distancia (ID)

Este método es ampliamente usado para la modelación de superficies del terreno. Es un método exacto y local (Golden Software, 1999; Aguilar et al., 2001). Se basa en que las observaciones más cercanas deben tener más peso que las lejanas en la determinación del valor interpolado para cada punto dado. El valor de profundidad a determinar se calcula con la siguiente expresión:

$$Z(i, j) = \frac{\sum_{i=1}^n w(d_i) \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n w(d_i)} \quad (5.4)$$

donde $w(d_i)$ denota a la función de peso de los puntos muestrales que intervienen en el cálculo, d_i es la distancia de cada punto involucrado en el cálculo con respecto al nodo (i, j) , z_i las profundidades digitalizadas y n la cantidad de datos (Aguilar et al., 2001). En este método, las distancias están elevadas a una potencia determinada. La utilización de exponentes elevados implica dar menos peso relativo a los puntos más alejados al nodo (Aguilar et al., 2001; López Amador, 2003). Uno de los inconvenientes que presenta este método es que tiende a generar lo que se conoce comúnmente como “patrones de ojos de buey”, que son curvas concéntricas alrededor de los puntos dato (Golden Software, 1999; López Amador, 2003). Esto se puede reducir aplicando un factor de suavizado a la grilla generada pero, al procederse de esta manera, el método se convierte en uno de suavizado (Golden Software, 1999).

Otro inconveniente que presenta este método es que los valores interpolados son simplemente medias ponderadas, cuyos valores están comprendidos entre el máximo y el mínimo de los puntos muestrales utilizados, lo cual lo hace poco efectivo para modelar cotas máximas y mínimas (Aguilar et al., 2001). Diversos autores (Aguilar et al., 2001; López Amador, 2003) recomiendan utilizar el método con exponente 2. Sin embargo, es conveniente mencionar que la calidad de la interpolación espacial dependerá, entre otros factores, de cada base de datos en particular (Morillo Barragán et al., 2002). Por lo tanto, es recomendable realizar diversos ensayos con potencias distintas y analizar, para cada caso particular, con cual se obtienen los mejores resultados.

5.1.3. Kriging

Este método, utilizado sobre todo en geoestadística, es reconocido como uno de los más flexibles y válidos para casi todos los tipos de datos (Golden Software, 1999; López Amador, 2003). El método supone que la distancia y la distribución de los puntos muestrales tienen una cierta correlación espacial la cual puede utilizarse para explicar la variación de la profundidad en la superficie a generar (Morillo Barragán et al., 2002). El primer paso consiste en elaborar el variograma (una función que mide cuán rápidamente la variable cambia respecto del promedio) a partir de la distribución inicial de puntos. El variograma consta de una parte experimental y de otra basada en un modelo matemático teórico. Sea Z el valor de la cota a interpolar, el variograma experimental se genera calculando la varianza de cada punto del conjunto con respecto a los demás puntos (Martínez Marín et al., 2001).

El variograma teórico se genera mediante ajuste estadístico y es el que se utiliza en los cálculos de interpolación o extrapolación. Se supone que los puntos cercanos entre sí tienen varianzas parecidas y que, a partir de una cierta distancia, éstas comienzan a cambiar, aunque su valor medio tiende a ser constante (Martínez Marín et al., 2001). Para calcular los pesos de ponderación se utiliza el variograma teórico. La ecuación básica para la interpolación espacial está dada por:

$$Z(i, j) = \sum_{i=1}^N w_i z_i \quad (5.5)$$

donde $Z(i, j)$ es la profundidad interpolada, N es el número de puntos, z_i es la cota de cada punto y w_i es el peso asignado a cada uno de ellos obtenido a través del variograma. En este trabajo se utilizan las variantes “puntual” y “en bloque” del método de Kriging. La variante puntual estima los valores interpolados en los nodos de la grilla. En cambio, la variante en bloque estima el valor promedio de los bloques rectangulares centrados en los nodos de las grillas. Los bloques son del tamaño y forma de la celda de la grilla. El hecho de que se calcule el valor promedio del bloque hace que se generen contornos más suavizados.

5.1.4. Mínima Curvatura

Este método es generalmente usado en las Ciencias de la Tierra. La superficie de interpolación generada se asemeja a una delgada capa elástica que pasa por cada uno de los valores, que corresponden a los datos, con una mínima cantidad de curvas. Es decir, este algoritmo intenta ajustar sobre los datos una “superficie laminar” sin ningún pliegue o rugosidad. El método de mínima curvatura no es un interpolador exacto (Golden Software, 1999; López Amador, 2003).

Para la utilización de esta técnica deben definirse algunos parámetros propios del método. Se recomienda utilizar un valor para el residuo máximo (cuyas unidades son iguales a la de los datos) cercano al 10% de la precisión de los datos. Una particularidad del método es que entre los puntos (datos) del terreno la superficie a ajustar tiende a arquearse. Este efecto se controla mediante el parámetro de tensión (a mayor tensión menor arqueamiento y viceversa). Por ejemplo, una tensión excesivamente alta crea áreas entre observaciones parecidas a las facetas de una gema. La proporción del arqueamiento en los márgenes es controlada por el parámetro de tensión limítrofe. Finalmente, debe definirse un factor de relajación. Un valor óptimo para éste se obtiene a través del método de ensayo y error. Por lo general se recomienda comenzar las pruebas con un valor unitario (Golden Software, 1999).

5.1.5. Shepard Modificado

Este método es similar al de inversa de la distancia (5.1.2), pero aquí se utiliza la técnica de mínimos cuadrados para ajustar una superficie cuadrática alrededor de cada punto (para reducir al efecto “ojos de buey”). El método de Shepard Modificado puede funcionar tanto como un interpolador exacto como uno de suavizado (Golden Software, 1999; López Amador, 2003). Para la utilización de este método deben definirse dos parámetros. El primer parámetro, “vecinos cuadráticos”, determina el tamaño del “vecindario local”. Este último es un círculo de radio suficiente tal que en él se incluyen exactamente la cantidad total de “puntos vecinos” especificados. Los valores interpolados con este método son generados usando una distancia ponderada media, que surge del ajuste cuadrático mencionado. El parámetro “vecinos ponderados” especifica el número de punto vecinos involucrados en el cálculo (Golden Software, 1999).

5.1.6. Triangulación con interpolación lineal

Este método utiliza la triangulación óptima de Delaunay. El algoritmo crea los triángulos a través del trazado de líneas entre los datos. Los puntos originales son conectados de tal manera que los lados del triángulo no sean interceptados con los de otro triángulo. El resultado es un mosaico con las caras de los triángulos sobre la extensión de la grilla. Este método es un interpolador exacto. El cálculo de la profundidad, en cada nodo, se realiza mediante interpolación lineal utilizando los valores de profundidad ubicados en los vértices del triángulo que contiene a dicho nodo (Golden Software, 1999). Este es un método vastamente utilizado en trabajos hidrográficos, especialmente en dragados.

5.1.7. Vecino Natural

Este algoritmo de interpolación considera un conjunto de polígonos de Thiessen, cumpliendo con la condición de que la circunferencia que circunscribe los vértices de cada triángulo, no incluya ningún otro vértice, con lo cual los triángulos de la red son

prácticamente equiláteros. El algoritmo selecciona los puntos más cercanos tal que se generen polígonos de Voronoi convexos alrededor del punto en cuestión. Los pesos de cada punto son proporcionales al área de estos polígonos (Golden Software, 1999; Morillo Barragán et al., 2002). El método de interpolación vecino natural no genera valores más allá de los límites de la información de base (es decir, hasta el contorno de los polígonos de Thiessen). Es un método de interpolación exacto (Golden Software, 1999).

5.1.8. Vecino Próximo

Este método asigna a cada uno de los nodos de la grilla el valor del punto más próximo al mismo. Este método es ventajoso cuando los datos están distribuidos en forma equidistante y es necesario guardarlos en forma de grilla. Por otro lado, es muy efectivo para completar “huecos” que pueden aparecer en algunas distribuciones espaciales. Éste es un método de interpolación exacto (Golden Software, 1999).

5.2. Parámetros y opciones existentes en los distintos métodos de interpolación espacial

Cada uno de los diferentes métodos de interpolación explicados posee diversos parámetros que deben definirse durante el procesamiento. Algunos de éstos parámetros son generales, es decir, se presentan en diferentes métodos, pero otros, en cambio, son particulares de algún método específico. A continuación se brinda una descripción de los parámetros más frecuentemente utilizados para la generación de grillas.

5.2.1. Anisotropía

Los fenómenos naturales son creados por procesos físicos. A menudo estos procesos físicos tienen orientaciones espaciales determinadas. La anisotropía toma en cuenta, durante el proceso de interpolación, la tendencia u orientación de los datos provenientes de los fenómenos naturales. La anisotropía de un conjunto de datos se define con un parámetro de proporción y con el ángulo de la orientación o tendencia de los valores. En general, se trabaja

con elipses de anisotropía y la proporción (o ponderación relativa) se define como el cociente entre los ejes mayor y menor (Golden Software, 1999). La proporción de la anisotropía es considerada suave cuando es menor que dos, mientras que con un valor mayor que cuatro es considerada severa. Por otro lado, el ángulo (en grados) mide la orientación (o dirección) preponderante del eje mayor de la elipse. La anisotropía puede ser utilizada en cualquiera de los métodos de interpolación descritos precedentemente, excepto el de vecino próximo. En las zonas costeras que se estudian en este trabajo no se observa ninguna tendencia u orientación espacial definida y, por lo tanto, se consideró que los datos de profundidad están distribuidos isotrópicamente.

5.2.2. Opciones de búsqueda

Con las opciones de búsqueda se seleccionan los datos que se utilizarán durante el proceso de interpolación espacial. Estas opciones no están disponibles en los métodos de mínima curvatura, Shepard modificado, vecino natural y triangulación con interpolación lineal, ya que éstos utilizan todos los datos en el momento de generar cada valor del nodo. Independientemente de lo recién expresado, si se definiera un parámetro de búsqueda (conocido como radio) lo suficientemente grande, cada nodo podría generarse involucrando al conjunto total de observaciones. Sin embargo, esta opción no es utilizada en este trabajo, aunque es recomendada para conjuntos de datos reducidos (menos de 250 valores). Existen otros métodos de búsqueda basados en la definición de sectores. El círculo o elipse de búsqueda, donde caen los datos a interpolar, es dividido en sectores, los cuales deben especificarse de antemano.

En el caso de optar por una búsqueda según sectores de rastreo deben definirse ciertas pautas o reglas. Éstas son las que definen el número de puntos incluidos en la interpolación del valor de un nodo de la grilla. Estas reglas trabajan en conjunto con la elipse de búsqueda. La elipse de búsqueda determina el tamaño del vecindario local donde se rastrean los datos, y las reglas de búsqueda especifican el número de puntos a utilizar dentro de este vecindario. Para el cálculo de la grilla batimétrica deben especificarse la cantidad de datos máxima y mínima que se utilizarán en cada sector. Si durante el proceso de rastreo en un sector de la

elipse hay menos datos que la cantidad mínima estipulada, el nodo resultará “blanqueado”, es decir, vacío. En las representaciones gráficas, los efectos que producen los nodos “blanqueados” son truncamientos en las líneas de contornos. El efecto de nodos “blanqueados” es indeseable y, en consecuencia, en el presente trabajo se tuvo especial precaución para evitar su presencia. Por otro lado, también puede estipularse la cantidad máxima de sectores vacíos aceptables. Si en el proceso de rastreo se encuentran más sectores vacíos que el número prefijado, entonces al nodo le corresponde un valor de “blanqueo”.

La elipse de búsqueda define el tamaño del “vecindario local” que se utilizará en el momento de interpolar el valor de un nodo de la grilla. Obviamente, los puntos que no caigan dentro de la elipse no serán considerados en la interpolación. Los parámetros que definen a la elipse de búsqueda son sus ejes y el ángulo de inclinación con respecto a alguno de los ejes del sistema de referencia adoptado. En este trabajo se optó por realizar la búsqueda en un “vecindario” de forma circular. Consecuentemente, dado que ambos ejes son iguales, no es necesario especificar ningún valor para el ángulo de inclinación.

5.2.3. Resolución

La resolución de la grilla queda definida por la densidad de nodos generados. Una medida de la resolución está dada simplemente por la longitud de los lados de las celdas (generalmente rectangular) que constituyen la grilla. Dicha medida puede tener unidades de longitud (m o km) o puede estar dada en grados de latitud. Para una zona determinada, la resolución de una grilla aumenta con el incremento del número de filas y de columnas.

5.3. Determinación del grado de ajuste de la superficie generada

Una manera de evaluar la calidad de la superficie generada es a través del cálculo y posterior análisis de los residuos o errores (δ_{zi} : diferencia vertical entre el dato y el valor interpolado). Los residuos dan una medida cuantitativa del grado de ajuste entre la grilla y los datos originales. Los residuos pueden ser positivos, negativos o cero. Si el valor del dato es

mayor que el interpolado, el residuo es positivo. Por otro lado, Felicísimo Pérez (1992) define al error en un nodo como la diferencia entre la profundidad en este punto y el valor “real” o de referencia (en nuestro caso, el valor que surge de la digitalización de las cartas náuticas). Sin embargo, por razones de practicidad, en el presente trabajo se opta por utilizar la definición de residuos, debido a que el valor real en los nodos rara vez se conoce.

El error medio (EM) en una distribución de N datos se define de la siguiente manera:

$$EM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{zi} \quad (5.6)$$

el cual no es útil para la evaluación de la calidad de la interpolación ya que las desviaciones positivas pueden cancelarse con las desviaciones negativas (Felicísimo Pérez, 1992; Carvacho Bart et al., 1997). Para solucionar este inconveniente puede optarse por promediar los valores absolutos de las desviaciones o calcular el error cuadrático medio. Las expresiones utilizadas para calcular al error medio absoluto (EMA) y el error cuadrático medio (ECM) son (Spiegel, 1991; Felicísimo Pérez, 1992):

$$EMA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\delta_{zi}| \quad (5.7)$$

$$ECM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \delta_{zi}^2} \quad (5.8)$$

En general se acepta utilizar al estadístico error cuadrático medio para realizar una evaluación global de la calidad o grado de ajuste de las grillas generadas con diferentes técnicas de interpolación espacial (Felicísimo Pérez, 1992; Carvacho Bart et al., 1997; Aguilar et al., 2001; Morrillo Barragán et al., 2002).

En las tablas que se presentan en el Apéndice III, se muestran los parámetros utilizados para la generación de cada grilla, para cada una de las zonas. Para cada caso, se indica el método de interpolación utilizado y la resolución de la grilla en términos de $\Delta\lambda$ y

$\Delta\phi$; la potencia, para el método de inversa de la distancia; el tipo de función adoptada, para el método de funciones de base radial (en este trabajo se utilizaron las funciones multicuadrática y la “Spline” laminar). Para Kriging, se utilizó la variante puntual y en bloque. En los casos en que se aplicó suavizado se indica con S (aplicable en los métodos de inversa de la distancia, funciones de base radial y Shepard modificado).

Algunos parámetros no fueron incluidos en estos cuadros ya que son exclusivos de algún método en particular. Al aplicar el método de mínima curvatura se utilizaron valores de 0.22, 0.22 y 0.90 para los máximos residuos, para las zonas 1, 2-3 y 4, respectivamente. Se utilizaron valores máximos de iteración de 8000, 9000 y 6500 para las zonas 1, 2-3 y 4, respectivamente. Las tensiones interna y limítrofe se establecieron en cero y el factor de relajación en uno para todos los casos ensayados. Para el método de Shepard modificado, se utilizaron valores de 13 y 19 para los parámetros de “vecinos cuadráticos” y “vecinos ponderados”, respectivamente. Con respecto a los parámetros de búsqueda en ningún caso se detectaron sectores vacíos. Finalmente, se muestra el error cuadrático medio calculado para cada una de las grillas generadas, expresado en metros.

6. RESULTADOS

6.1. Selección de grillas batimétricas definitivas

Una vez generado un conjunto de grillas batimétricas, con las características y parámetros mostrados en las tablas del Apéndice III, se debió seleccionar una para cada zona a modelar (zonas 1, 2-3 y 4). Para la selección de las grillas se utilizaron dos criterios, uno cuantitativo y otro cualitativo. El primero de ellos, consistió exclusivamente en el análisis del error cuadrático medio (ECM), reteniéndose las grillas que presentaban valores más bajos. El segundo criterio, cualitativo, se basó en la comparación visual de las isobatas asociadas a las grillas, optándose finalmente por aquellas que reproducían con mayor realismo los rasgos predominantes que se pueden apreciar en las cartas náuticas que contienen los sondeos digitalizados. Al comparar los ECM de las grillas resultantes se observó que los métodos y parámetros de interpolación se comportaron de manera similar para las zonas 1 y 4, notándose algunas diferencias con respecto a los resultados de la zona 2-3.

En primer lugar, del análisis global de los resultados (Apéndice III) se observa que los métodos de interpolación triangulación con interpolación lineal (5.1.6.), vecino natural (5.1.7.) y vecino próximo (5.1.8.) son los que ofrecen los ECM más altos y, en consecuencia, las grillas así generadas han sido descartadas. Por otro lado, con el método de funciones de base radial, utilizado con las funciones más recomendadas (5.1.1.) se obtienen resultados razonables, pero no alcanzan la calidad de los obtenidos con los otros métodos. El método de Kriging (5.1.3.) se utilizó en las modalidades puntual y en bloque. Aunque es un método muy robusto y altamente recomendado en muchas áreas de la geociencia, en este trabajo en particular no produjo los mejores resultados. La aplicación del método de Shepard modificado (5.1.5), utilizando los mismos parámetros, mostró resultados muy diferentes entre las zonas 1 y 4 y la zona 2-3. Para las zonas 1 y 4, las grillas obtenidas son casi tan buenas como las seleccionadas definitivamente. Sin embargo, para la zona 2-3, las grillas generadas con este método presentan el error cuadrático medio más alto.

La grilla generada con el método de mínima curvatura (5.1.4.) es la que mostró el menor ECM para el caso de la zona 2-3 y, en consecuencia, tras la evaluación visual, se

adoptó como grilla definitiva. Aunque para el caso de las zonas 1 y 4 la aplicación de dicho método no produjo los mejores resultados, es de destacar que los ECM obtenidos no son muy elevados. Para las zonas 1 y 4 los mejores resultados se obtuvieron con el método de inverso de la distancia (5.1.2.). Es de destacar que, aunque en la bibliografía se recomiende potencia igual a dos, los mejores resultados se obtuvieron con una potencia igual a cuatro. Por otra parte, con este método se generó una grilla muy razonable para la zona 2-3, aunque ésta no alcanzó la calidad de la obtenida con el método de mínima curvatura.

En las tablas del Apéndice III, se destacan en gris las filas que contienen los parámetros utilizados para la generación de las grillas finalmente seleccionadas. En las figuras del Apéndice IV, se presentan las batimetrías generadas para cada zona. Notar que en las representaciones gráficas de los mapas no se utiliza ninguna proyección en particular (se grafican longitudes en abscisas y latitudes en ordenadas) ya que ésta es la manera en que el modelo hidrodinámico WQMap está preparado para incorporar la información batimétrica.

En la Tabla 6.1 se presentan los ECM, desvíos estándar y las resoluciones correspondientes para cada una de las grillas seleccionadas. En la misma, $\Delta\phi$ y $\Delta\lambda$ son la separación entre nodos en latitud y longitud, respectivamente.

Zona 1			Zona 2-3			Zona 4		
$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	ECM	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	ECM	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	ECM
0.006°	0.006°	1.5	0.026°	0.026°	5.0	0.02°	0.02°	1.5
(0.666)	(0.49)	[0.97]	(2.886)	(1.99)	[1.52]	(2.22)	(1.35)	[0.85]

Tabla 6.1. Resolución, ECM (m) y desvío estándar (m, entre corchetes) de los residuos correspondientes a las grillas generadas. Entre paréntesis se indica la resolución en km.

El proceso de generación de modelos digitales de superficies puede considerarse compuesto por tres fases bien diferenciadas, a saber, (i) la captura de la información, (ii) el proceso de generación de la grilla y (iii) el control de calidad de la grilla generada (Delgado García et al., 2002). Este capítulo está dedicado exclusivamente al control de calidad de las grillas seleccionadas. A continuación, se presentan los resultados principales obtenidos del

estudio estadístico realizado sobre las profundidades observadas (es decir, las digitalizadas de cartas náuticas), las que resultan de la interpolación espacial y los residuos o errores correspondientes a las grillas definitivas.

6.2. Análisis estadístico de los resultados

En primer lugar, se calcularon los valores medios y desvíos estándar para los residuos correspondientes a cada una de las zonas estudiadas. Los valores obtenidos para las medias fueron -0.03 , 0.09 y 0.00 m y, para los desvíos estándar, σ , 0.97 , 1.82 y 0.95 m, respectivamente. Los valores medios próximos a cero indican que los valores generados en los nodos tienden a no sobrestimar ni subestimar a las profundidades. Por otro lado, los desvíos estándar muestran que los valores obtenidos son siempre inferiores a los ECM correspondientes.

En las Figuras 6.1, 6.2 y 6.3 se muestran los diagramas de dispersión para cada una de las grillas seleccionadas. En las mismas, se presentan las profundidades correspondientes a las cartas (es decir, los datos digitalizados) y las correspondientes a las de las coordenadas de los sondajes, obtenidas estas últimas mediante la interpolación bilineal de las profundidades de los nodos de las grillas generadas. En las tres figuras se aprecia una marcada relación lineal creciente entre ambos conjuntos de datos, indicando una fuerte correlación positiva (Berry, 2000). Para cada conjunto de datos se calculó el coeficiente de correlación. Un valor tendiente a cero implica que no hay correlación entre los datos observados y los datos estimados y, en cambio, uno tendiente a 1 significa que los datos se ajustan en forma casi perfecta. El coeficiente de correlación, r^2 , está definido de la siguiente manera (Spiegel, 1991):

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (z_{est} - z_{med})^2}{\sum_{i=1}^N (z_i - z_{med})^2} \quad (6.1)$$

en donde Z_{est} , Z_i y Z_{med} son las profundidades estimadas (generadas), observadas y medias, respectivamente. Para cada una de las tres distribuciones se obtuvieron coeficientes de correlación igual a 0.99, indicando que el ajuste alcanzado es altamente satisfactorio.

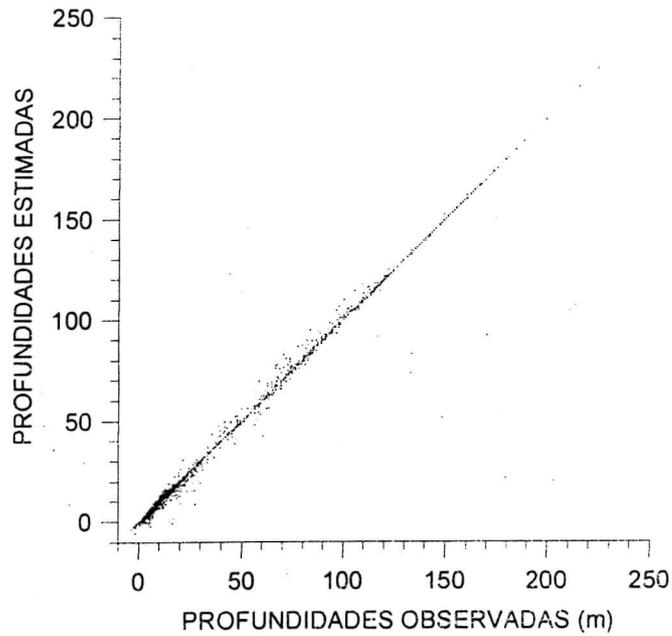


Figura 6.1. Diagrama de dispersión para los datos (en metros) de la Zona 1.

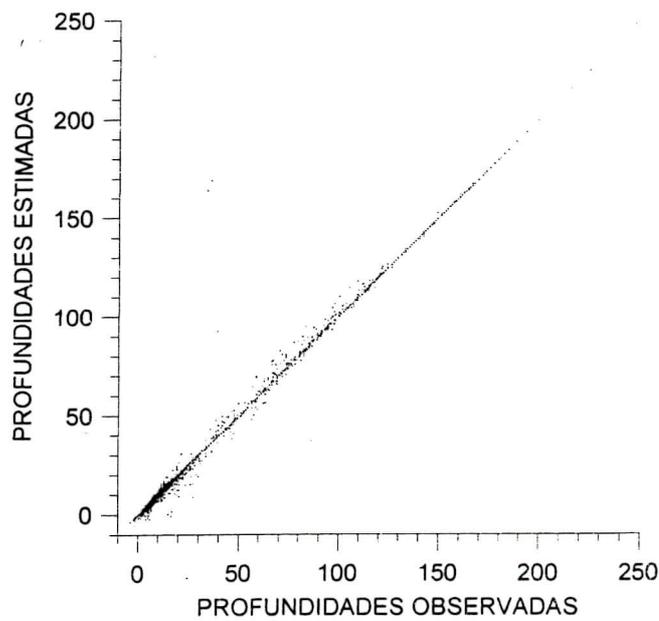


Figura 6.2. Diagrama de dispersión para los datos (en metros) de la Zona 2-3.

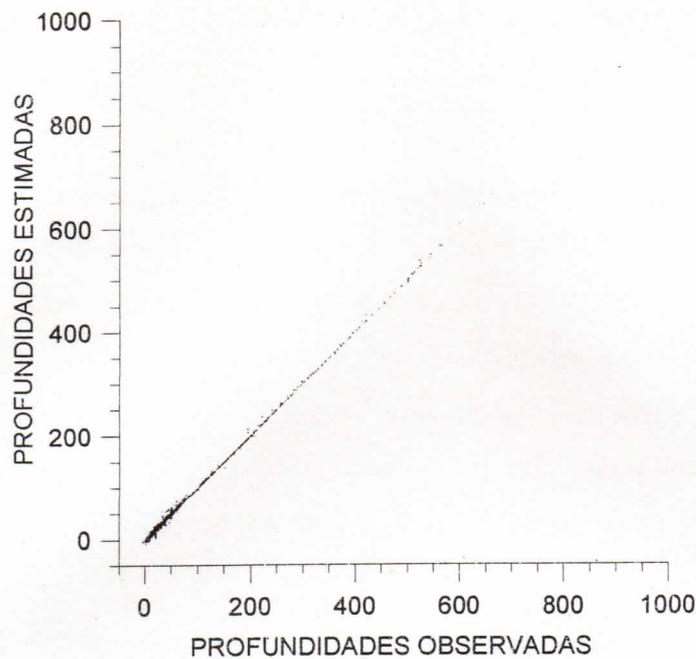


Figura 6.3. Diagrama de dispersión para los datos (en metros) de la Zona 4.

En la Tabla 6.2 se presenta la distribución de los errores o residuos (dato observado menos dato generado) tomando rangos de profundidades de 0 a 3 m, de 3 a 6 m, de 6 a 12 m y más de 12 m. Notar que se trabaja con los valores absolutos de los errores.

Errores o residuos	Porcentajes		
	Zona 1	Zona 2-3	Zona 4
0 a 3 metros	95.2 %	73.1 %	95.2 %
3 a 6 metros	3.4 %	13.3 %	3.4 %
6 a 12 metros	1.3 %	9.3 %	1.2 %
Más de 12 metros	0.1 %	4.3 %	0.2 %

Tabla 6.2. Distribución de los residuos.

En la Tabla 6.2 se aprecia que los residuos están agrupados mayoritariamente en la clase inferior (0 a 3 m). Para las zonas 1 y 4 se observa que el 95.2% de los datos presentan diferencias de a lo sumo tres metros. En la zona 2-3, el porcentaje es un poco menor (73.1%).

No obstante, desde el punto de vista de la modelación hidrodinámica, el grado de ajuste alcanzado es altamente satisfactorio.

En las Figuras 6.4, 6.5 y 6.6 se presentan los histogramas de los residuos, con el objeto de tener una visión completa de la distribución de las diferencias entre los valores observados (sondajes) y los generados a través de la interpolación espacial. En los mismos sólo se incluyen los residuos comprendidos entre -5 y $+5$ m (agrupando más del 92 % del total de los datos) para evitar que el histograma presente clases vacías. Los datos cuyos residuos están fuera del rango indicado precedentemente corresponden a sitios costeros caracterizados por marcados gradientes de profundidad o por la presencia de afloramientos rocosos. Los histogramas de las Zonas 1, 2-3 y 4 se construyeron con 3525, 8289 y 9458 datos, respectivamente. A continuación se presentan los histogramas obtenidos.

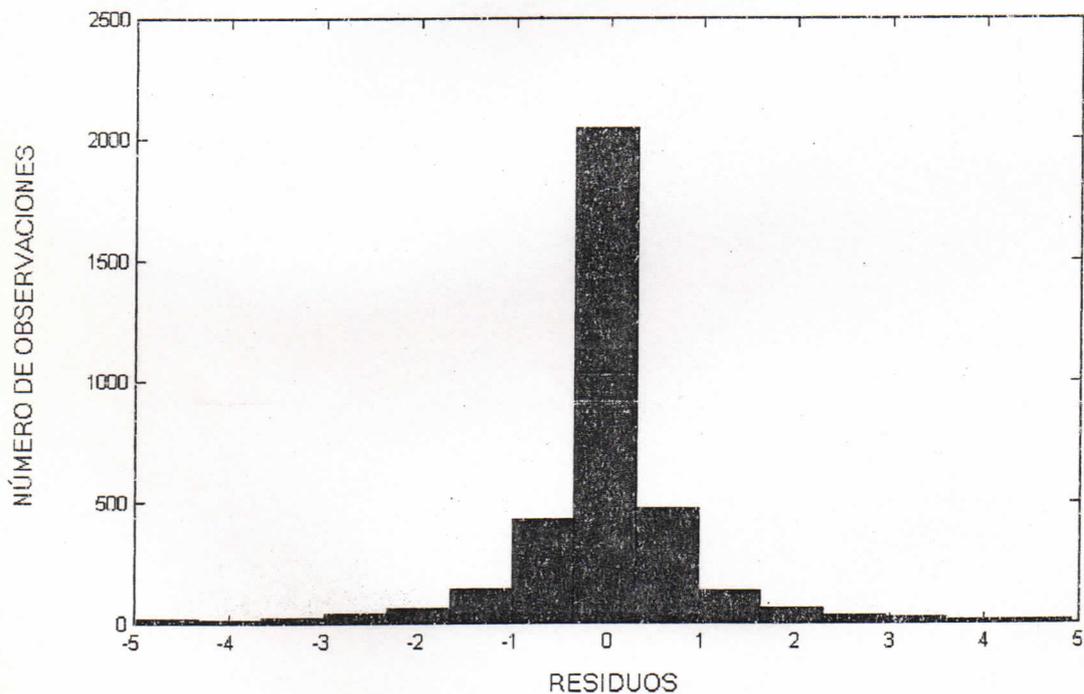


Figura 6.4. Histograma de los residuos (m) correspondiente a la Zona 1.

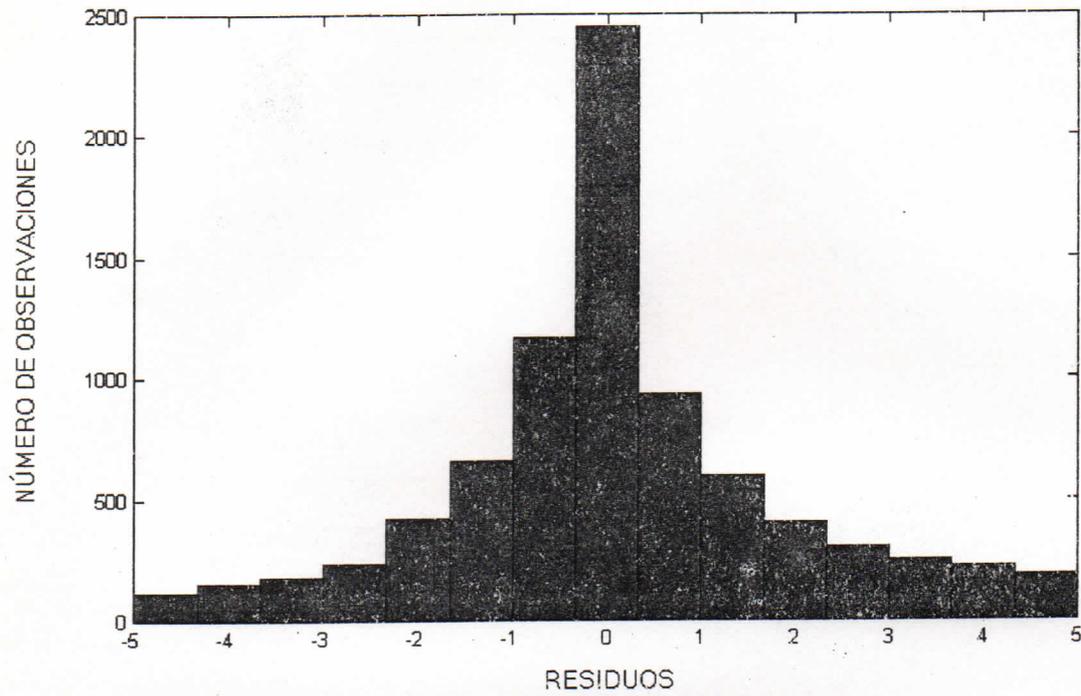


Figura 6.5. Histograma de los residuos (m) correspondiente a la Zona 2-3.

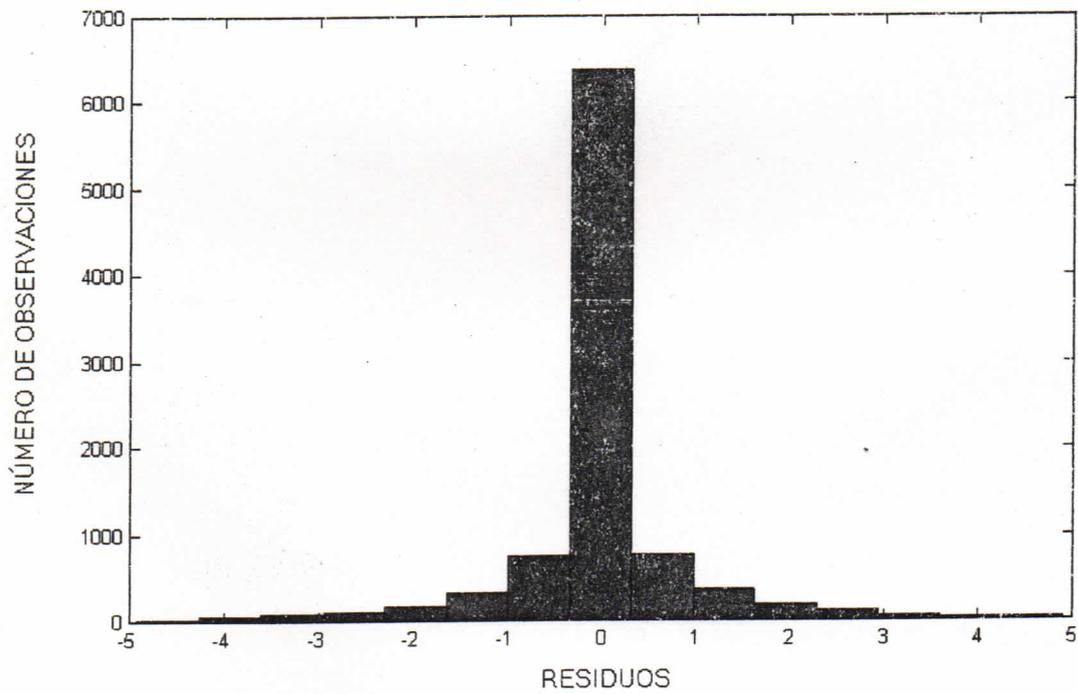


Figura 6.6. Histograma de los residuos (m) correspondiente a la Zona 4.

En dichas figuras se observa que los histogramas tienen características similares a la distribución de Gauss, es decir, presentan simetría alrededor del valor medio, poseen un solo máximo, dos zonas de inflexión y una tendencia asintótica en ambos sentidos. Sin embargo, luego de aplicar el test χ^2 , con un nivel de significancia del 95%, se determinó que, en todos los casos, se estaba muy lejos de satisfacer la hipótesis nula de distribución gaussiana y, en consecuencia, las distribuciones de datos no pueden ser consideradas normales (Spiegel, 1991).

Una de las causas que hace que estas distribuciones se alejen de la de Gauss es la excesiva concentración de datos alrededor del valor medio. En el rango de residuos comprendido entre $\pm\sigma$ (desvío estándar) se concentran el 83%, 72.9 % y 82.7% del total de los datos, para las zonas 1, 2-3 y 4, respectivamente. Este hecho queda claramente manifestado mediante el estadístico curtosis, cuyos valores obtenidos son 9.9, 3.7 y 9.9, para las zonas 1, 2-3 y 4, respectivamente. Considerando que la distribución normal tiene curtosis igual 3, los resultados obtenidos indican que las distribuciones presentadas son marcadamente leptocúrticas. Esta característica, para éste estudio en particular, es altamente favorable ya que indica que los residuos están significativamente concentrados alrededor de las medias, cuyos valores son próximos a cero.

7. IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS WQMAP Y OILMAP A LA ZONA 4

Finalmente, con el objeto de ilustrar la aplicabilidad de la batimetría generada, la grilla correspondiente a la zona 4 se utilizó para alimentar al modelo hidrodinámico WQMap y, de esta manera, se obtuvieron algunos resultados preliminares correspondientes a la región de bahía San Sebastián. En el Apéndice V se muestran algunos resultados obtenidos con el modelo utilizando la batimetría presentada en el Apéndice IV. Estos resultados son preliminares y sólo se muestran a modo de ejemplo. Para esta simulación numérica el modelo fue forzado en los bordes abiertos con marea astronómica proveniente del modelo global OSU (Oregon State University). Para este caso particular no se incluye el efecto del viento.

En el Apéndice V se presenta la grilla hidrodinámica implementada para la modelación y la batimetría utilizada (que surge de la generada en este trabajo). La resolución espacial adoptada para esta simulación fue 10.3 km en longitud y 10.5 km en latitud. Las cartas de corrientes incluidas en el apéndice corresponden a situaciones particulares de flujo (agua entrante) y reflujo (agua saliente) en la bahía San Sebastián. Por último, se presentan series temporales de las componentes este (U, en ms^{-1}) y norte (V, en ms^{-1}) de la corriente en un punto ubicado en latitud: $53^{\circ} 10' \text{ S}$ y longitud: $68^{\circ} 12' \text{ W}$, de la boca de la bahía San Sebastián. Sobre la base de los resultados hidrodinámicos obtenidos se realizó mediante el sistema OILMap (Applied Science Associates) la simulación de un hipotético derrame de crudo. Este módulo es operado actualmente por Prefectura Naval Argentina. Se simuló la evolución de la "mancha" de un derrame instantáneo de 10000 barriles de crudo en latitud: $52^{\circ} 48' \text{ S}$ y longitud: $67^{\circ} 24' \text{ W}$ considerando viento constante de 25 nudos del Noreste. En el apéndice V se presentan las salidas gráficas de OILMap correspondientes a 1 hora y a 37 horas luego del derrame, como así también la correspondiente a la llegada del hidrocarburo a la costa. Cuando el crudo llega a la costa se indica con color rojo.

Se deja expresamente establecido que estos resultados son preliminares, necesitan ser validados con mediciones directas disponibles y sólo fueron presentados para ilustrar la inclusión de las batimetrías generadas en este Trabajo Final en los sistemas de modelado WQMap y OILMap.

8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El objetivo y las tareas desarrolladas en este Trabajo Final fueron la generación de batimetrías digitales a utilizarse en la implementación del modelo matemático WQMap para el estudio y la predicción de corrientes y fluctuaciones del nivel del mar en cuatro zonas costeras patagónicas: (i) San Antonio Oeste - Pcia. de Río Negro, (ii) Bahía Camarones y de Cabo Dos Bahías a Península Aristizábal.- Pcia. de Chubut, (iii) Rada Puerto Deseado - Pcia. de Santa Cruz y (iv) Bahía San Sebastián - Pcia. de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. Esta tarea se encuadra dentro del Proyecto "Prevención de la Contaminación Costera y Gestión de la Diversidad Biológica Marina" conocido como "GEF Patagonia".

Las grillas batimétricas se generaron con valores de profundidad digitalizados sobre catorce cartas náuticas disponibles. Para la digitalización de costas e isobatas se adoptó el modo continuo o automático estableciéndose una distancia (medida sobre la carta) entre coordenadas consecutivas a almacenarse de 0.2 mm. Por otro lado, para la digitalización de sondajes se utilizó el método de adquisición punto a punto.

Se realizó un estudio preliminar con el objeto de evaluar si los límites de las cuatro zonas eran adecuados para la modelación numérica, resultando que, para las zonas 1 y 4, se debió ampliar los límites propuestos, tomando toda la extensión del golfo San Matías y una mayor parte de la plataforma continental fueguina, respectivamente y, para las zonas 2 y 3, se consideró más conveniente modelarlas dentro de un mismo dominio computacional, creándose una zona de mayor extensión la cual cubre totalmente al golfo San Jorge y parte de la plataforma continental argentina adyacente.

Para cada una de las zonas propuestas por el Proyecto se utilizaron más de una carta náutica en proyección Mercator. Para cada una de ellas, se obtuvieron las coordenadas x e y referidas a un origen particular. Consecuentemente, los archivos de datos así obtenidos eran incompatibles entre sí. Con el objeto de hacer compatibles las batimetrías correspondientes a cada zona, las coordenadas x e y obtenidas se transformaron a latitudes y longitudes geográficas y, de esta manera, los datos resultantes de cada carta pudieron ser directamente ensamblados.

Con los datos obtenidos se generaron diferentes grillas batimétricas para cada una de las zonas a modelar mediante la aplicación de ocho técnicas diferentes de interpolación espacial: (i) funciones de base radial, (ii) inversa de la distancia, (iii) Kriging, (iv) mínima curvatura, (v) Shepard modificado, (vi) triangulación con interpolación lineal, (vii) vecino natural y (viii) vecino próximo, utilizando diferentes parámetros de configuración.

Para la selección de las grillas definitivas se utilizaron dos criterios, uno cuantitativo y otro cualitativo. El primero de ellos, consistió exclusivamente en el análisis del error cuadrático medio, reteniéndose las grillas que presentaron valores más bajos. El segundo criterio, cualitativo, se basó en la comparación visual de las isobatas asociadas a las grillas, optándose finalmente por aquellas que reproducían con mayor realismo los rasgos predominantes que se pueden apreciar en las cartas náuticas que contenían los sondeos digitalizados.

Del análisis global de los resultados se observa que los métodos de interpolación vecino natural, vecino próximo y triangulación con interpolación lineal son los que mostraron los errores cuadráticos medios más altos y por lo tanto las grillas así generadas fueron descartadas. Los resultados obtenidos con el método de funciones de base radial fueron razonables, pero no alcanzaron la calidad de los obtenidos con los otros métodos.

En este trabajo, el método de Kriging se utilizó en las modalidades puntual y en bloque. Debe destacarse que dado los buenos resultados que produce, en algunos trabajos, el método de Kriging fue utilizado para obtener grillas de referencia para comparaciones. Por ejemplo, en un estudio comparativo entre diferentes métodos de interpolación para la generación de modelos digitales del terreno (García, 2004) se compararon las grillas obtenidas con distintos métodos de interpolación aplicados a un mismo conjunto de datos con una grilla de referencia obtenida con el método de Kriging. No obstante, aunque Kriging es reconocido como un método muy robusto y altamente recomendado en muchas áreas de la geociencia, en este trabajo en particular, no produjo los mejores resultados.

La aplicación del método de Shepard modificado mostró resultados muy diferentes entre las zonas 1 y 4 y la zona 2-3. Para las zonas 1 y 4, las grillas obtenidas son casi tan

buenas como las seleccionadas definitivamente. Sin embargo, para la zona 2-3, la grilla generada con este método presentó el error cuadrático medio más alto.

La grilla generada con el método de mínima curvatura (5.1.4.) fue la que mostró el menor ECM para el caso de la zona 2-3 y, en consecuencia, tras la evaluación visual, se adoptó como grilla definitiva. Aunque para el caso de las zonas 1 y 4 la aplicación de dicho método no produjo los mejores resultados, es de destacar que los ECM obtenidos fueron bastante razonables. Para las zonas 1 y 4 los mejores resultados se obtuvieron con el método de inversa de la distancia (5.1.2.). Debe notarse que, aunque en la bibliografía se recomienda potencia igual a dos, los mejores resultados se obtuvieron con una potencia igual a cuatro. Por otra parte, con este método se generó una grilla muy razonable para la zona 2-3, aunque ésta no alcanzó la calidad de la obtenida con el método de mínima curvatura. Por lo tanto, sobre la base de lo obtenido en este estudio y ante la necesidad de obtener una grilla batimétrica se sugiere no utilizar un método de interpolación recomendado por la bibliografía disponible sino, en cambio, realizar diferentes ensayos con distintos métodos y variando los diversos parámetros de interpolación hasta lograr la grilla más adecuada.

Los valores medios de los residuos calculados (diferencias verticales entre los datos digitalizados y los valores obtenidos de la interpolación bilineal entre los nodos de la grilla) correspondientes a cada una de las zonas estudiadas mostraron valores cercanos a cero, indicando que los valores generados tienden a no sobrestimar ni subestimar a las profundidades. Por otro lado, para las tres zonas estudiadas, se observó que más del 75% de las profundidades digitalizadas presentaban residuos inferiores a 3 m (en valor absoluto). Esta característica se apreció también en los histogramas construidos, mostrando en la clase central (alrededor de cero) la mayor concentración de residuos. Este máximo en el centro del histograma hace que la distribución sea notablemente leptocúrtica, alejándose así de la distribución de Gauss. Otra medida de la bondad del ajuste entre las grillas seleccionadas y los datos digitalizados puede observarse a través del análisis de los coeficientes de correlación calculados, obteniéndose en los tres casos valores superiores a 0.99.

En consecuencia, tras el control de calidad cualitativo y cuantitativo realizado sobre las grillas seleccionadas se concluye que las mismas son apropiadas para encarar la

modelación matemática de la circulación costera en las zonas propuestas por los coordinadores del Proyecto GEF Patagonia.

Para ilustrar lo señalado en el capítulo 7 se brindaron algunos resultados de la simulación numérica utilizando el sistema WQMap. Se presentó la grilla hidrodinámica adoptada para la modelación, la batimetría utilizada (que es la resultante de este trabajo), las condiciones de borde empleadas, como así también, dos cartas de corrientes para una región de la zona 4 y las series temporales de las componentes este y norte de la corriente correspondientes a un punto del dominio de integración. Se incluyó además la simulación de un hipotético derrame de petróleo en la zona de bahía San Sebastián utilizando el sistema OILMap. Se simuló el derrame instantáneo de 10000 barriles de crudo en latitud: $52^{\circ} 48' S$ y longitud: $67^{\circ} 24' W$ con viento constante de 25 nudos del Noreste. Quiere dejarse claramente establecido que los resultados de estas simulaciones son preliminares y que necesitan un trabajo adicional para su validación, el cual escapa a los objetivos propuestos en este trabajo.

Bibliografía¹

Aguilar, M. A., Aguilar, F. J., Carvajal, F., Agüera, F., 2001. *Evaluación de diferentes técnicas de interpolación espacial para la generación de modelos digitales del terreno agrícola*, Mapping Interactivo, N° 74, Noviembre de 2001. Disponible en Internet: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=22

Applied Science Associates, 2004. *WQPAP User Manual, Version 5.0*, Applied Science Associates, Inc, Narraganset, RI, USA, 58 pp.

Asín, F. M., 1990. *Geodesia y Cartografía Matemática*, Ed. Fernando Martín Asín, 3ª Ed., Madrid, 422 pp.

Berry, J. K., 2000. *Comprensión de la correlación de mapas a través de la dispersión de puntos*, Geoinformación, Noviembre / Diciembre de 2000, 30-32.

Carvacho Bart, L., Sánchez Martínez, M., 1997. *Modelos digitales del terreno: comparación entre el modelo TIN y el INTERCON*, Trabajo del Curso de Doctorado sobre Modelos Digitales del Terreno, Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá de Henares. Disponible en Internet: <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/Invitados/carvacho/texto.html>

D'Alvia, A., 1998. *Cartografía Matemática*, Publicación del Centro Argentino de Cartografía, Ciudad de Buenos Aires, 65 pp.

Delgado García, J., Cardenal Escarcena, F. J., Gómez Molina, A., 2002. *Generación de Modelos Digitales del Terreno mediante la aplicación de Métodos de Estimación Estocásticos*, XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Santander, España, 5-7 de junio de 2002, 10 pp. Disponible en Internet: <http://departamentos.unican.es/digteg/ingegraf/cd/ponencias/139.pdf>

¹ Las citas bibliográficas disponibles de Internet han sido chequeadas al mes de mayo de 2004.

Di Salvo, A. L., 2002. *Gacetilla del Proyecto: Prevención de la Contaminación Costera y Gestión de la Diversidad Biológica Marina*. Disponible en Internet:

http://www.medioambiente.gov.ar/noticias/gacetillas/2002/g_062702_01.htm

Felicísimo Pérez, A. M., 1992. *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*, Pentalfa Ediciones, Oviedo, 118 pp. Disponible en Internet:

<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/pdf/libromdt.pdf>

Felicísimo Pérez, A. M., Morán López, R., Sánchez Guzmán, J. M., Pérez Mayo, D., 2001. *Elaboración del Atlas climático de Extremadura mediante un sistema de información geográfica*, GeoFocus, N° 1, 17-23. Disponible en Internet:

<http://geofocus.rediris.es/articulo/articuloIN1-2.html>

Fucema, 1999. *Consultoría en Análisis de Pesquerías (resumen)*, Documento del Proyecto: Prevención de la Contaminación Costera y Gestión de la Diversidad Biológica Marina, 23 pp.

Disponible en Internet:

<http://www.medioambiente.gov.ar/gef/documentos/default.htm>

Fundación Patagonia Natural, 1999. *Biodiversidad Marina*, Documento del Proyecto: Prevención de la Contaminación Costera y Gestión de la Diversidad Biológica Marina, 32 pp.

Disponible en Internet:

<http://www.medioambiente.gov.ar/gef/documentos/default.htm>

García, F., 2004. *Estudio comparativo entre diferentes métodos de interpolación para la generación de Modelos Digitales del Terreno*, versión preliminar de la Tesis de Licenciatura, Instituto Universitario Naval, Escuela de Ciencias del Mar, 106 pp.

Golden Software, Inc, 1999. *Surfer User's Guide*, Golden Software, Inc, Colorado, 619 pp.

Haltiner, G. J., 1971. *Numerical Weather Prediction*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 317 pp.

López Amador, S., 2002. *La proyección Mercator*, Mapping Interactivo, N° 79, Julio / Agosto de 2002. Disponible en Internet:

http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=169

López Amador, S., 2003. *Desarrollo de un modelo de geoide para la C.A.M.*, Mapping Interactivo, N° 84, Marzo de 2003. Disponible en Internet:

http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=209

Martínez Marín, R., González Gámez, F., Gordo Murillo, C., 2001. *Análisis de las metodologías habituales para la generación de modelos digitales del terreno*, Mapping Interactivo, N° 71, Julio de 2001. Disponible en Internet:

http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=71

Mazio, C. A. y Dragani, W. C., 2000. *Hidrodinámica de los Golfos Norpatagónicos*, Comunicación en las Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar 2000, Puerto Madryn, entre el 11 y el 15 de septiembre de 2000.

Ministerio de Salud, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2004a. *Prevención de la Contaminación Costera y Gestión de la Diversidad Biológica Marina, Dirección de Fauna Silvestre, Resumen Ejecutivo*. Disponible en Internet:

<http://www.medioambiente.gov.ar/gef/resumen.htm>

Ministerio de Salud, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2004b. *Arreglos Institucionales e Informes*, Documento del Proyecto: Prevención de la Contaminación Costera y Gestión de la Diversidad Biológica Marina, 6 pp. Disponible en Internet:

http://www.medioambiente.gov.ar/gef/arreglos_institucionales/default.htm

Moldes Teo, F. J., 1995. *Tecnología de los Sistemas de Información Geográfica*, Ra-Ma, 1ª Ed., Madrid, 190 pp.

Morillo Barragán, J., Pozo Baselga, J., Pérez Preciado, F., Rodríguez Gordillo, M. C., Rebollo Castillo, F. J., 2002. *Análisis de calidad de un modelo digital de elevaciones generado con distintas técnicas de interpolación*, XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Santander, España, 5-7 de junio de 2002, 12 pp. Disponible en Internet:
<http://departamentos.unican.es/digteg/ingegraf/cd/ponencias/11.pdf>

Patagonia Argentina, 2004a. *Puerto de San Antonio Este, El escenario de la Exportación Frutícola*. Disponible en Internet:
<http://www.patagonia.com.ar/rionegro/sanantonio/puertosaeste.php>

Patagonia Argentina, 2004b. *Reserva Ecológica, Bahía de San Antonio*. Disponible en Internet:
<http://www.patagonia.com.ar/rionegro/sanantonio/bahisanantonio.php>

Patagonia Austral, 2004. *Río Grande – Jardín de Tierra del Fuego*. Disponible en Internet:
http://www.patagoniaaustral.com.ar/PA_Turismo_ExcTDF_RGrande_Ppal.htm

Puertos de Argentina, 2001. *Puerto Bahía Camarones*. Disponible en Internet:
<http://www.puertosdeargentina.com.ar/>

Secretaría de Comunicaciones, Municipalidad de Puerto Deseado, 2004. *Ria Deseado, Puerto Deseado, Breve descripción del Puerto*. Disponible en Internet:
<http://www.civitas.gov.ar/municipios/ver.asp?MID=22&tipo=nota&Id=1002>

Servicio Hidrográfico, 1927. *De Cabo Dos Bahías a Punta Médanos*, Carta Náutica 12, 1ª Ed., Servicio Hidrográfico, Ministerio de Marina.

Servicio Hidrográfico, 1928. *Bahía Camarones*, Carta Náutica 3, 3ª Ed., Servicio Hidrográfico, Ministerio de Marina.

Servicio Hidrográfico, 1933. *De Cabo Tres Puntas a Cabo San Francisco de Paula*, Carta Náutica 60, 1ª Ed., Servicio Hidrográfico, Ministerio de Marina.

Servicio Hidrográfico, 1934. *Golfo San Jorge*, Carta Náutica 59, 2ª Ed., Servicio Hidrográfico, Ministerio de Marina.

SHN, 1927. *Golfo San Jorge. De Punta Médanos a Isla Quintano*, Carta Náutica 13, 1ª Ed., Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina.

SHN, 1928. *De Punta Ninfas a Isla Tova*, Carta Náutica 58, 1ª Ed., Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina.

SHN, 1970. *De Faro Segunda Barranca a Faro Punta Bajo*, Carta Náutica H214, 1ª Ed., Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina.

SHN, 1973. *Rada Puerto Deseado*, Carta Náutica H360, 1ª Ed., Servicio de Hidrografía Naval, Comando en Jefe de la Armada.

SHN, 1983a. *Puerto San Antonio*, Carta Náutica H262, 2ª Ed., Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina.

SHN, 1983b. *De Faro Punta Norte a Faro San José*, Carta Náutica H215, 2ª Ed., Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina.

SHN, 1986. *Mar Argentino*, Carta Náutica 50, 4ª Ed., Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina.

SHN, 1992. *De Bahía San Sebastián a Punta María*, Carta Náutica H425, 1ª Ed., Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina.

SHN, 1997. *Derrotero Argentino Parte III*, publicación H203, 6ª Ed., Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina, 453 pp.

SHN, 2000a. *Derrotero Argentino Parte II*, publicación H202, 9ª Ed., Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina, 534 pp.

SHN, 2000b. *Golfo San Jorge*, Carta Náutica H3, 5ª Ed., Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina.

SHN, 2002. *Archipiélago Fueguino e Islas Malvinas*, Carta Náutica H4, 4ª Ed., Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina.

Spiegel, M. R., 1991. *Estadística*, Mc Graw-Hill, 2ª Ed., Madrid, 556 pp.

APÉNDICE I

CARTAS NÁUTICAS DIGITALIZADAS

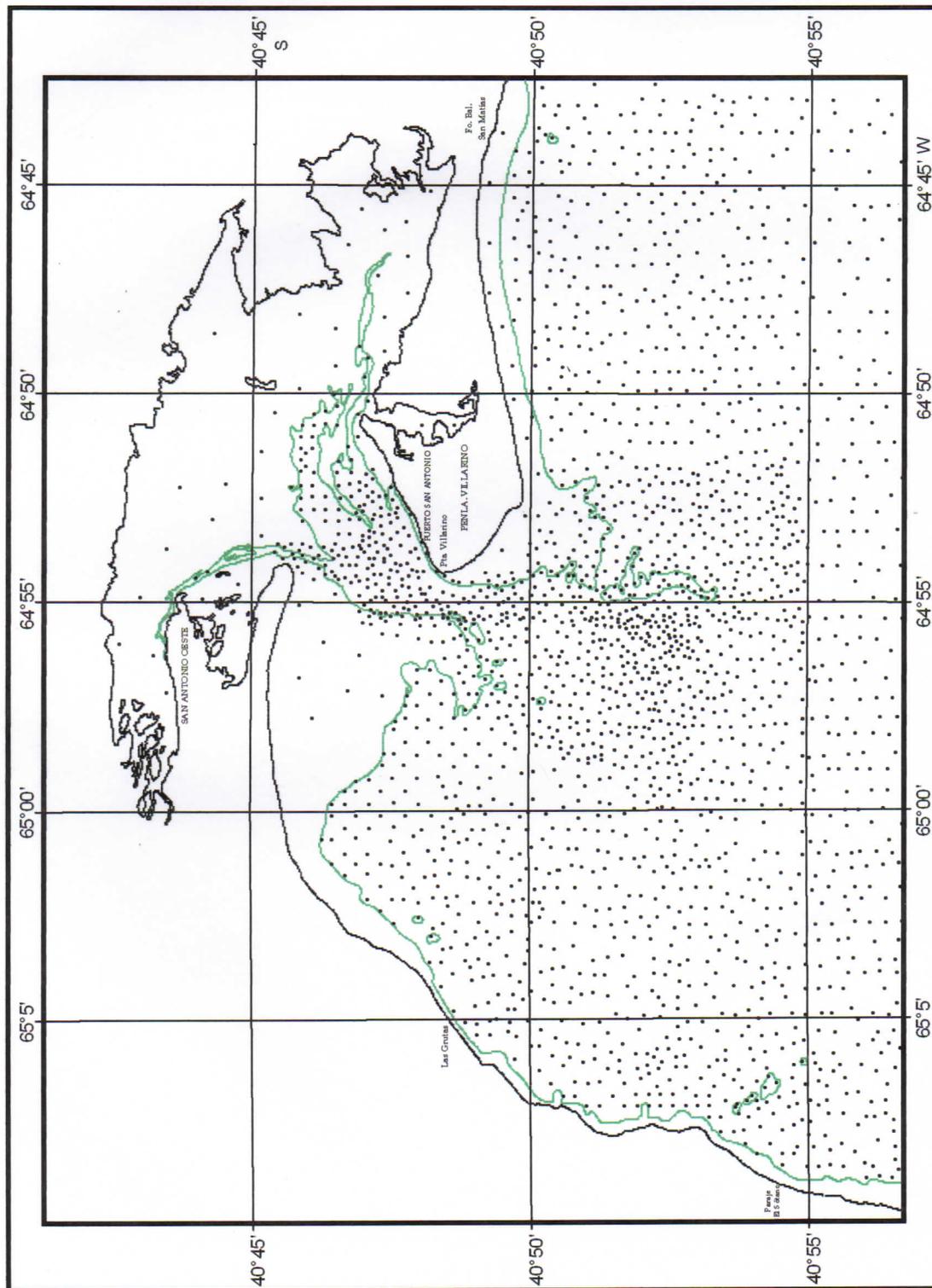
ÍNDICE DEL APÉNDICE I

Carta Náutica H-262	I-3
Carta Náutica 3	I-4
Carta Náutica 58	I-5
Carta Náutica H-3	I-6
Carta Náutica 12	I-7
Carta Náutica 13	I-8
Carta Náutica 59	I-9
Carta Náutica H-360	I-10
Carta Náutica 60	I-11
Carta Náutica H-425	I-12
Carta Náutica H-4	I-13

DIGITALIZACIÓN DE LA CARTA NAÚTICA H262

PROYECCIÓN GAUSS KRUGER

ESCALA 1:225.000



REFERENCIAS



Línea de Costa



Isobata de 0 m.



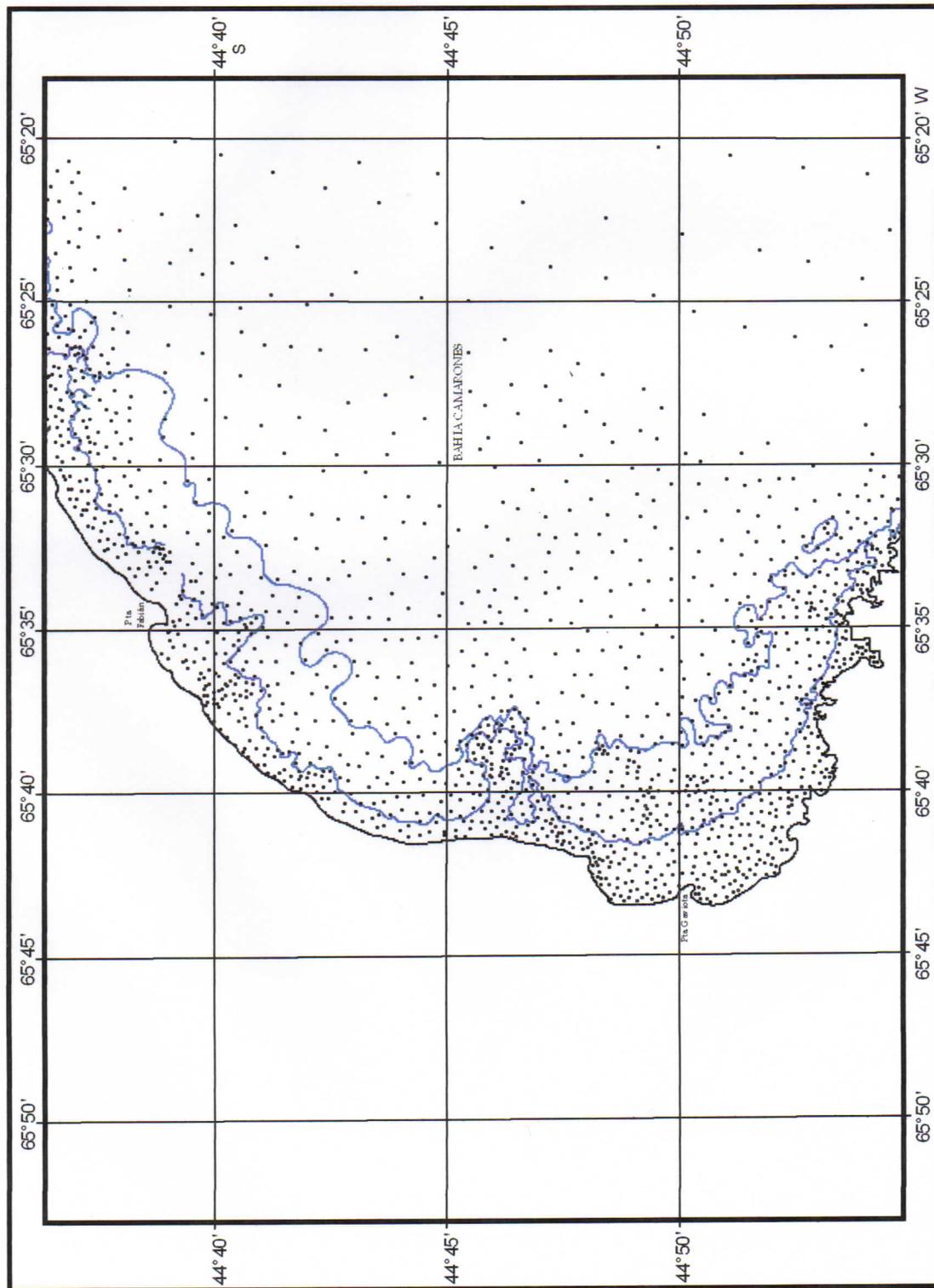
Sondajes

CANTIDAD DE SONDAJES: 2215

DIGITALIZACIÓN DE LA CARTA NÁUTICA 3

PROYECCIÓN GAUSS KRUGER

ESCALA 1:300.000

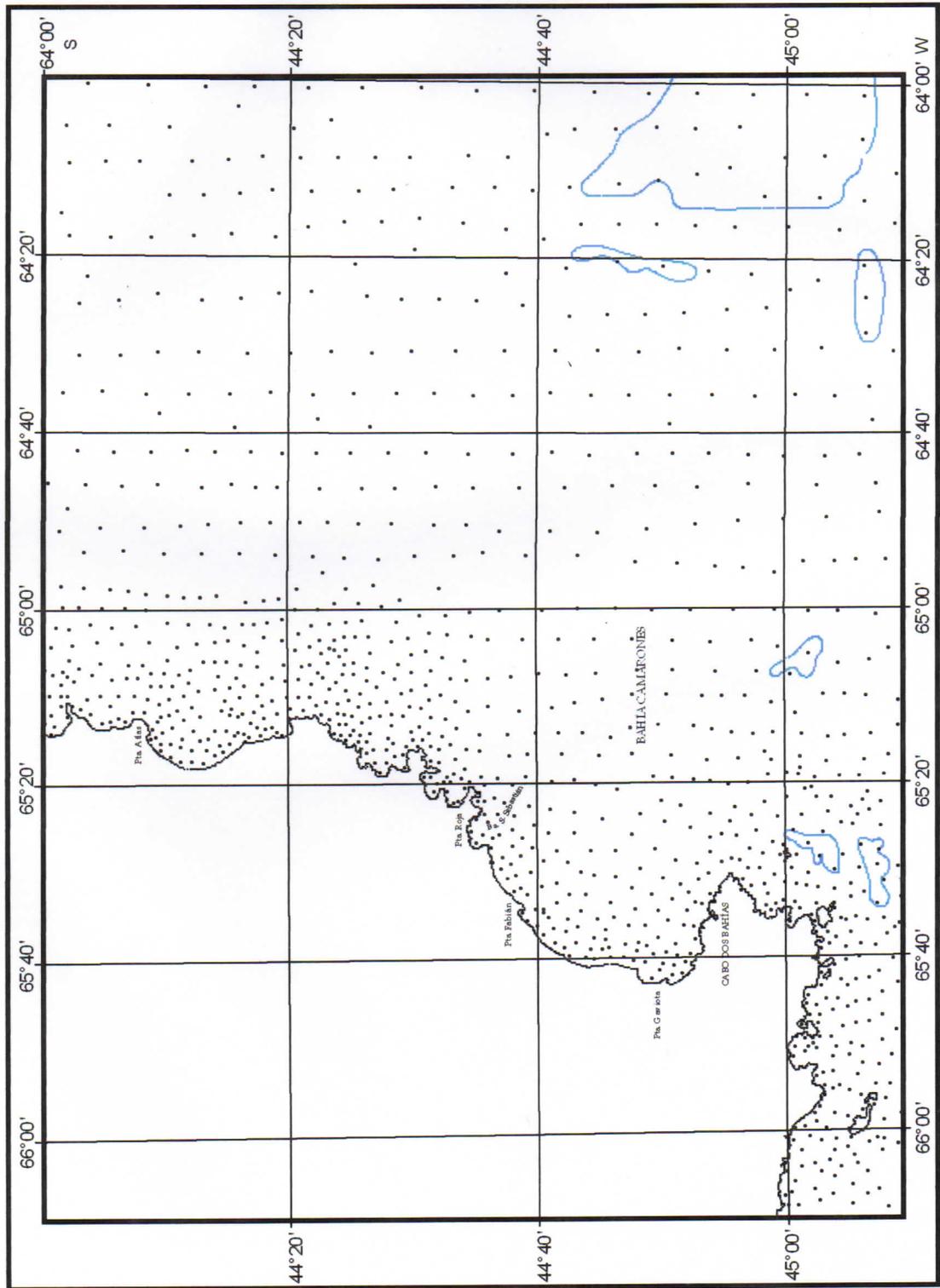


CANTIDAD DE SONDAJES: 1737

DIGITALIZACIÓN DE LA CARTA NAÚTICA 58

PROYECCIÓN GAUSS KRUGER

ESCALA 1:1.000.000

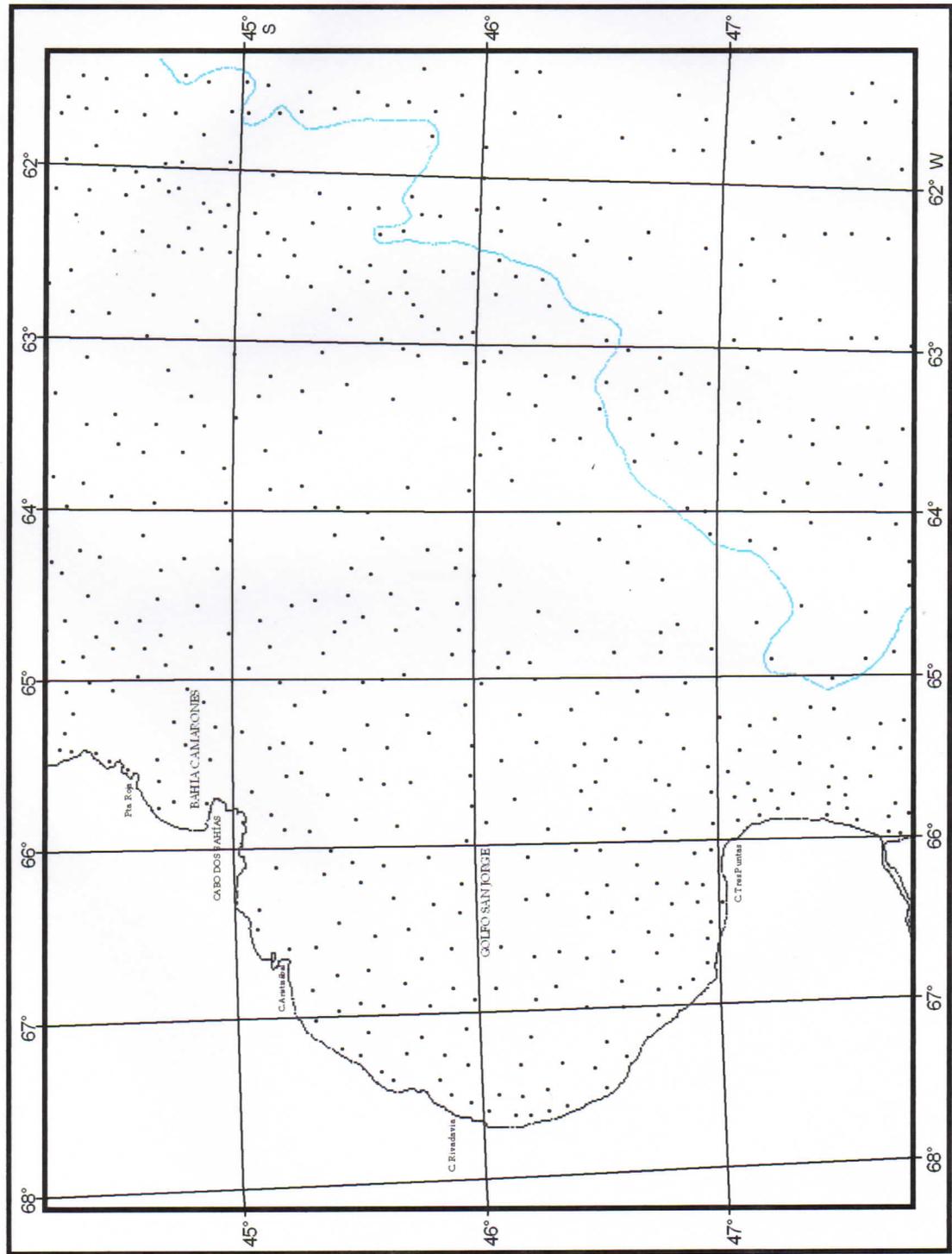


CANTIDAD DE SONDAJES: 1029

DIGITALIZACIÓN DE LA CARTA NÁUTICA H3

PROYECCIÓN GAUSS KRUGER

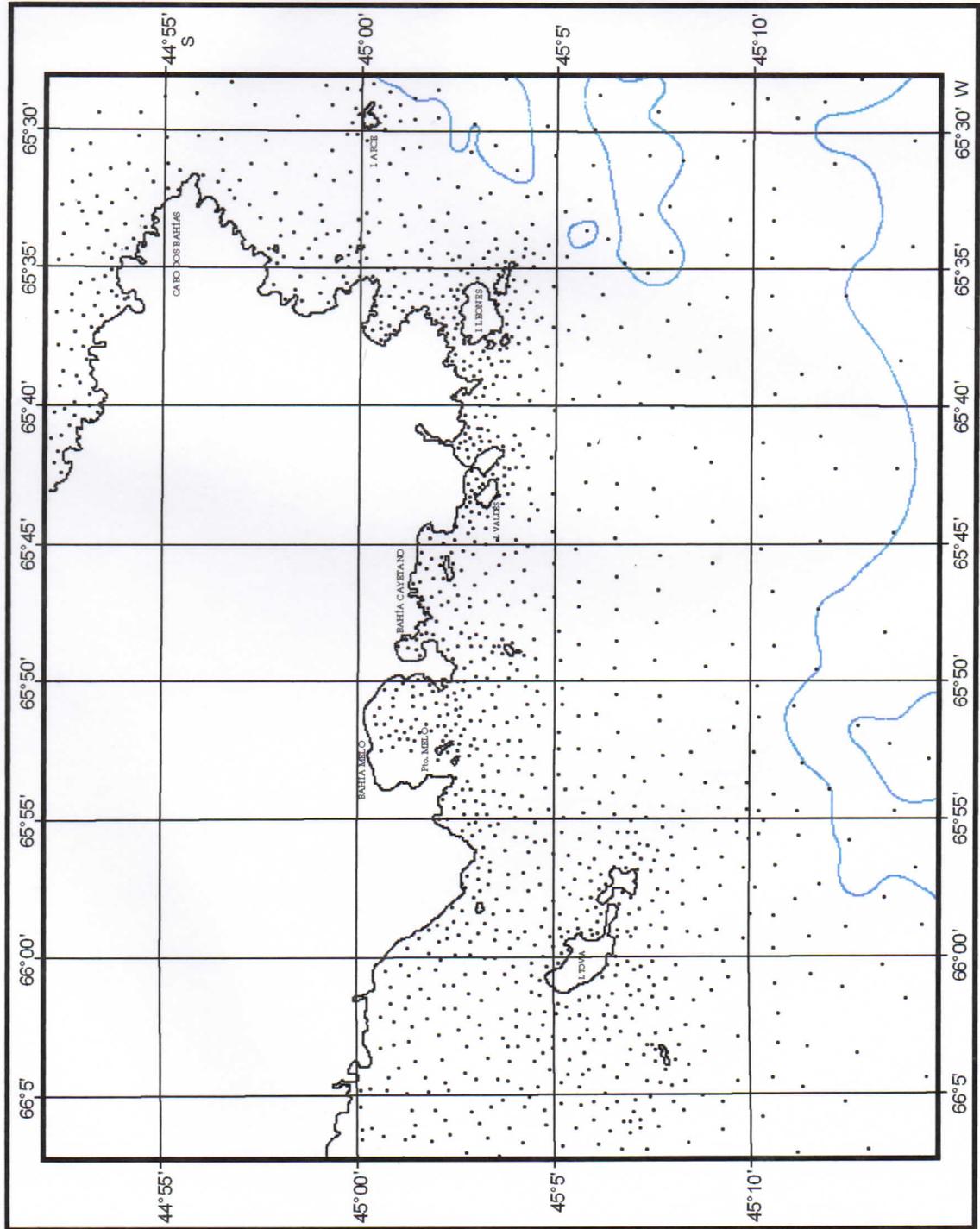
ESCALA 1:3.500.000



DIGITALIZACIÓN DE LA CARTA NÁUTICA 12

PROYECCIÓN GAUSS KRUGER

ESCALA 1:300.000



REFERENCIAS

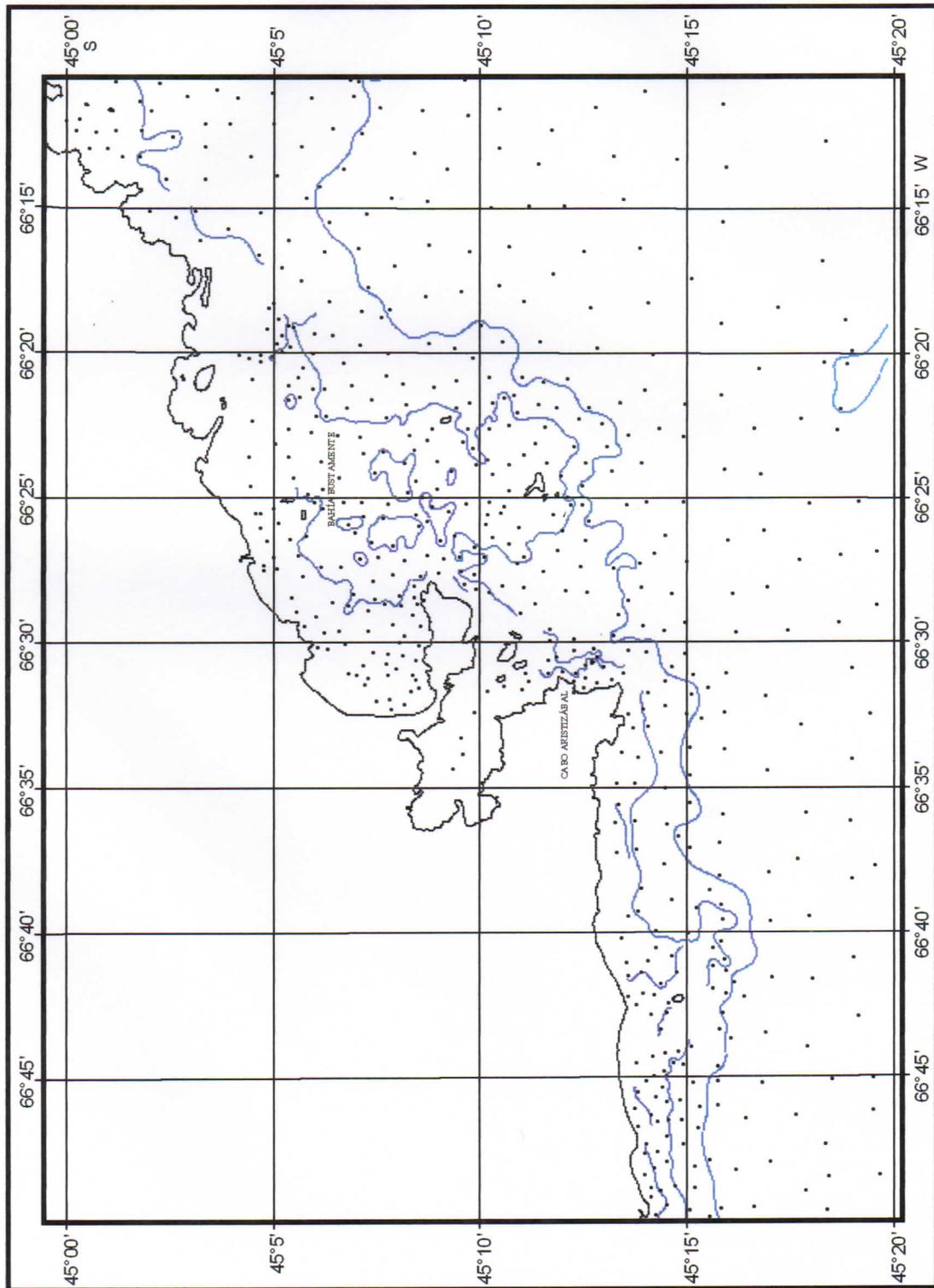
-  Línea de Costa
-  Isobata de 50 m.
-  Sondajes

CANTIDAD DE SONDAJES: 1399

DIGITALIZACIÓN DE LA CARTA NAÚTICA 13

PROYECCIÓN GAUSS KRUGER

ESCALA 1:300.000



REFERENCIAS

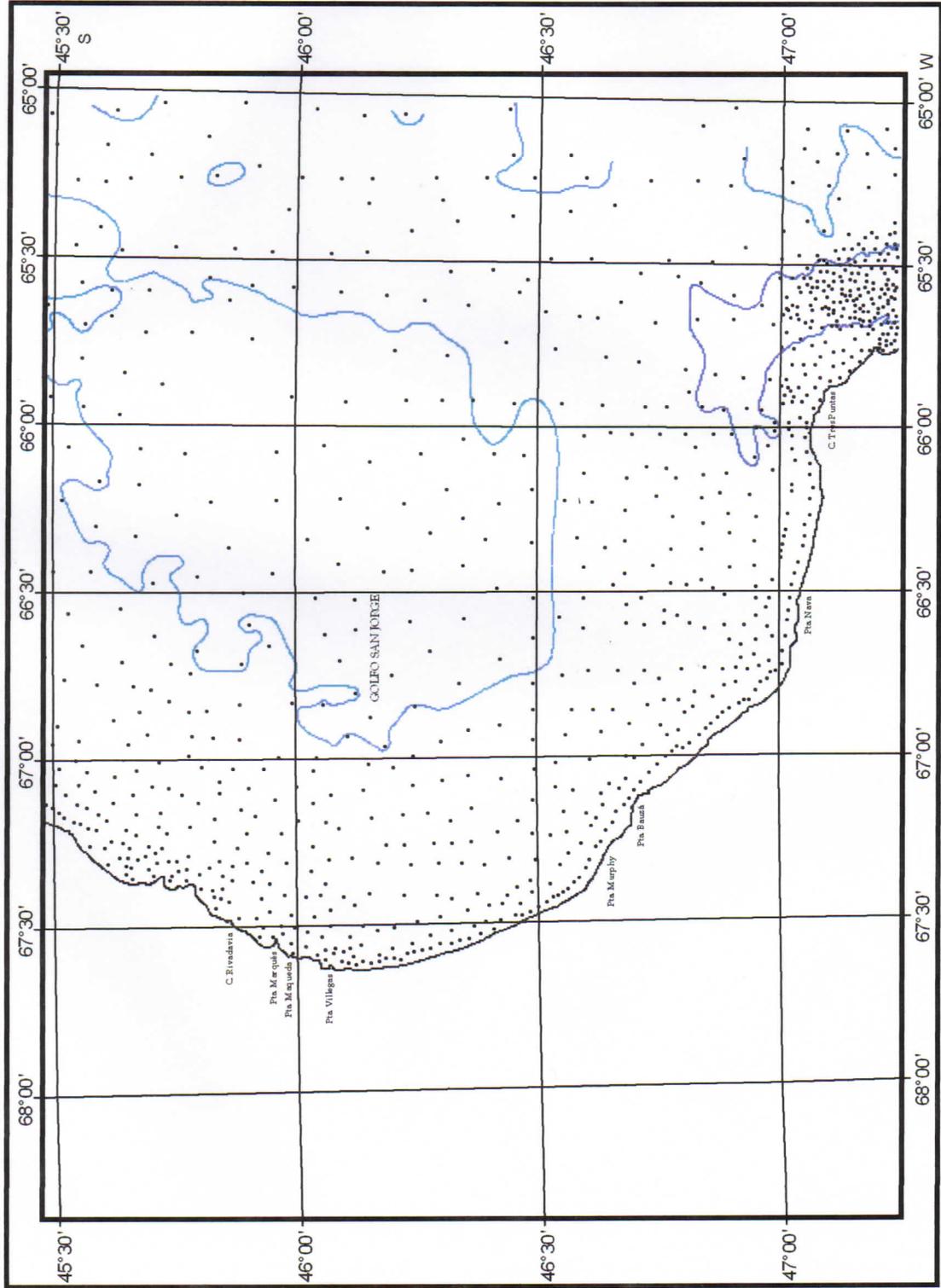
-  Línea de Costa
-  Isobata de 5 m.
-  Isobata de 10 m.
-  Isobata de 20 m.
-  Isobata de 50 m.
-  Sondajes

CANTIDAD DE SONDAJES: 734

DIGITALIZACIÓN DE LA CARTA NAÚTICA 59

PROYECCIÓN GAUSS KRUGER

ESCALA 1:1.750.000



REFERENCIAS

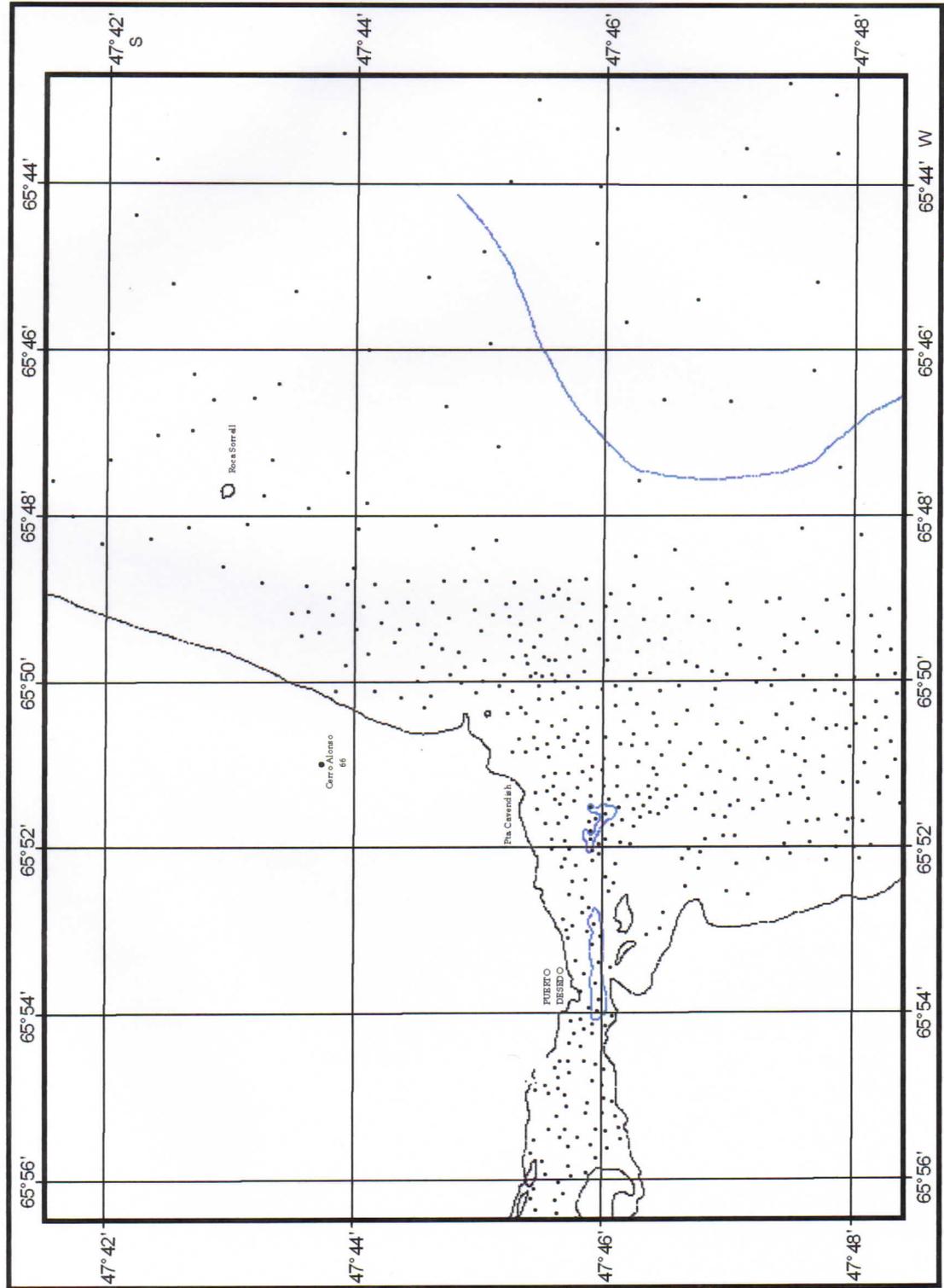
-  Línea de Costa
-  Isobata de 20 m.
-  Isobata de 50 m.
-  Sondajes

CANTIDAD DE SONDAJES: 1324

DIGITALIZACIÓN DE LA CARTA NÁUTICA H360

PROYECCIÓN GAUSS KRUGER

ESCALA 1:100.000

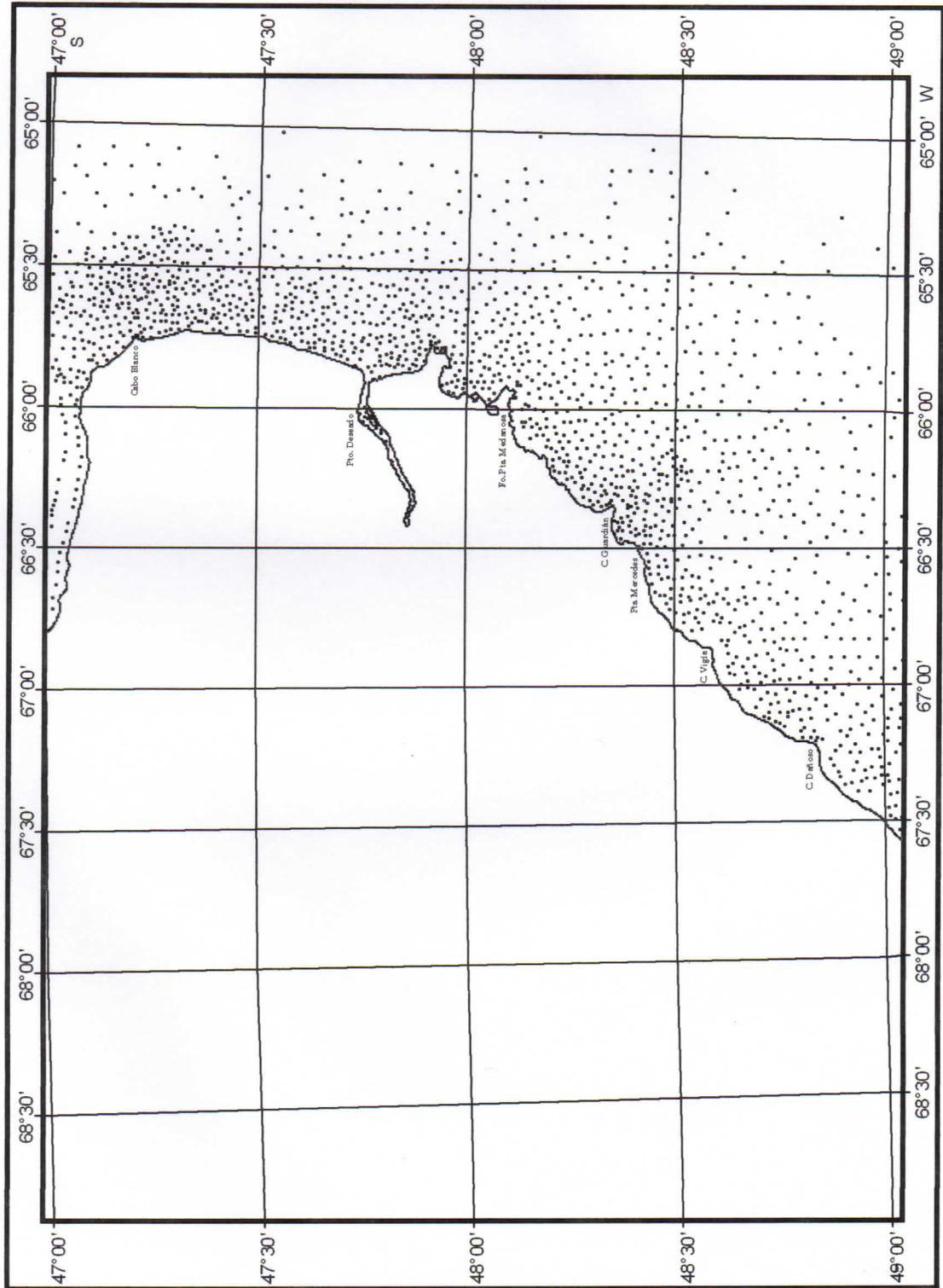


CANTIDAD DE SONDAJES: 749

DIGITALIZACIÓN DE LA CARTA NÁUTICA 60

PROYECCIÓN GAUSS KRUGER

ESCALA 1:2.000.000

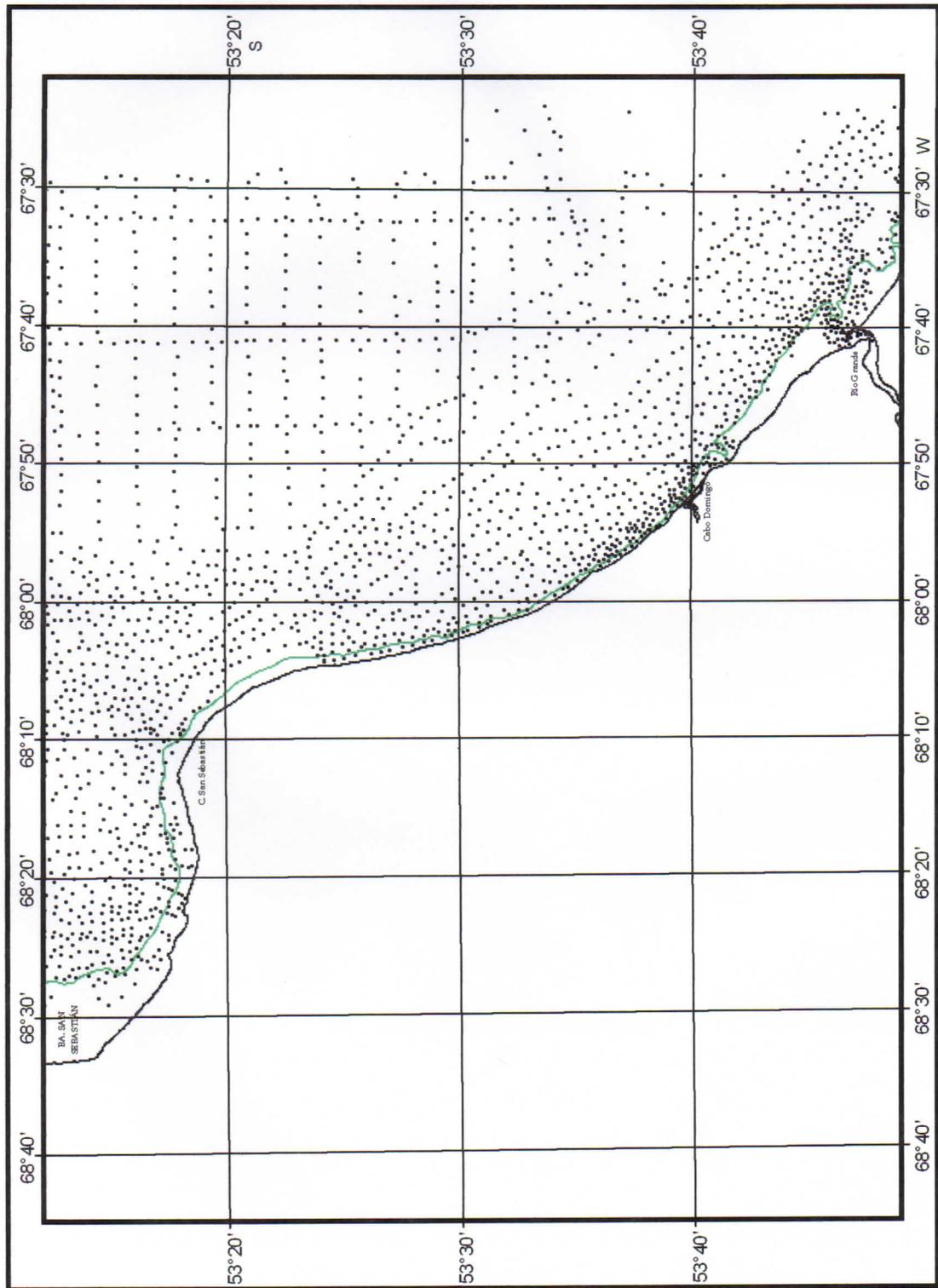


CANTIDAD DE SONDAJES: 1956

DIGITALIZACIÓN DE LA CARTA NÁUTICA H425

PROYECCIÓN GAUSS KRUGER

ESCALA 1:600.000



REFERENCIAS

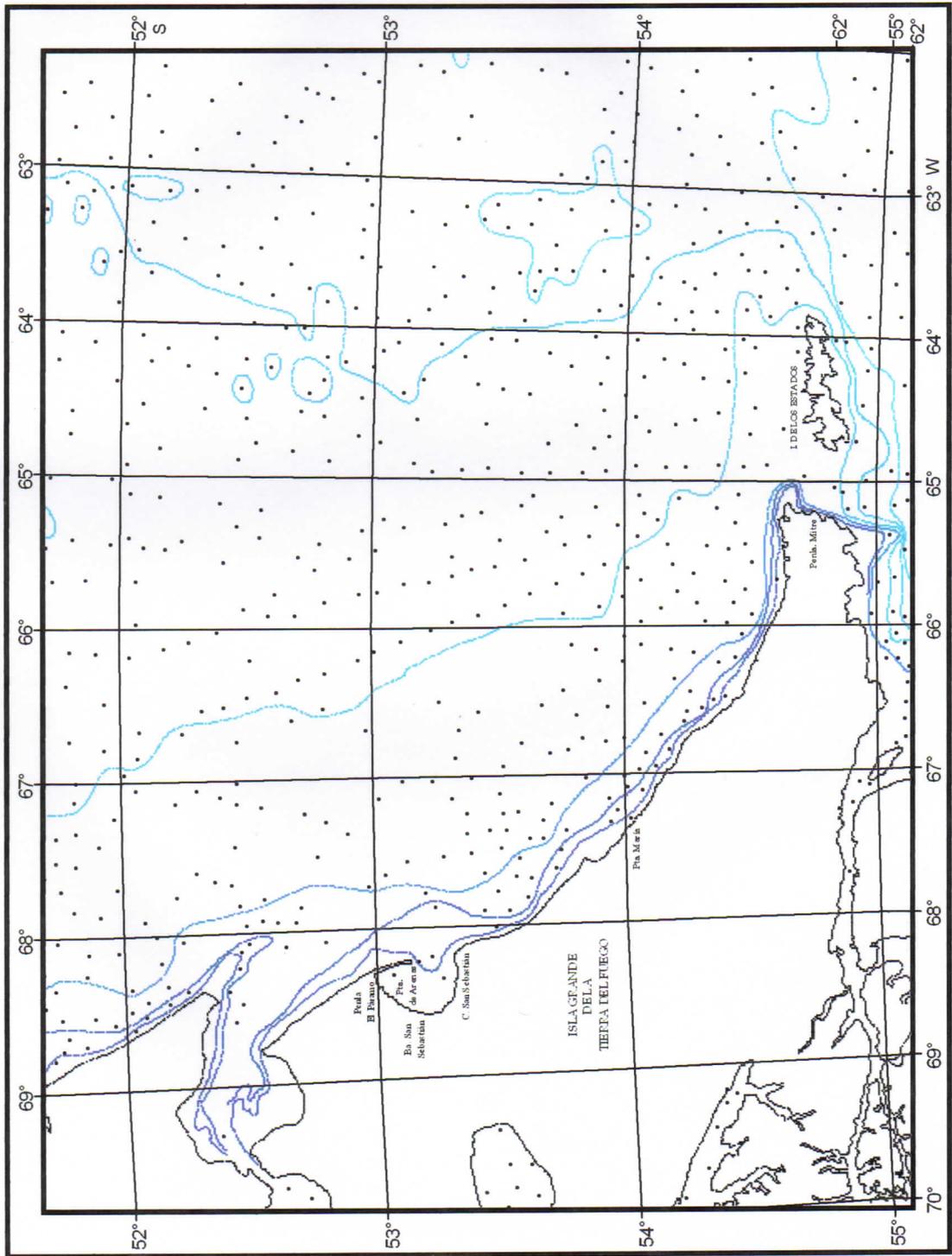
- Línea de Costa
- Isobata de 0 m.
- Sondajes

CANTIDAD DE SONDAJES: 2993

DIGITALIZACIÓN DE LA CARTA NÁUTICA H4

PROYECCIÓN GAUSS KRUGER

ESCALA 1:3.000.000



REFERENCIAS

-  Línea de Costa
-  Isobata de 10 m.
-  Isobata de 20 m.
-  Isobata de 50 m.
-  Isobata de 100 m.
-  Isobata de 200 m.
-  Isobata de 500 m.
-  Sondajes

CANTIDAD DE SONDAJES: 1138

APÉNDICE II

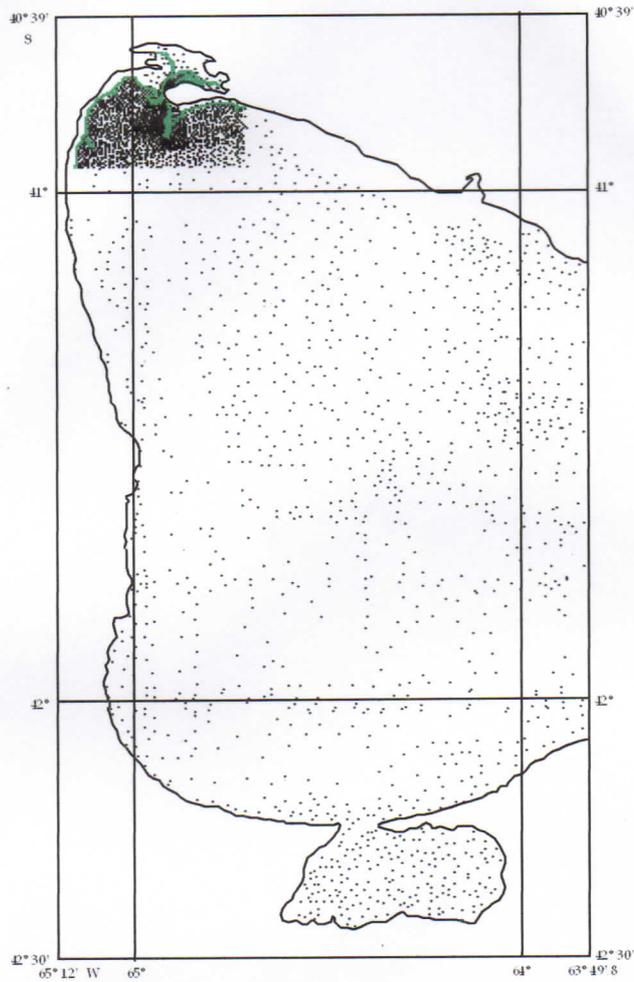
SONDAJES DIGITALIZADOS PARA LA ZONA 1, 2-3 Y 4

3

ÍNDICE DEL APÉNDICE II

Zona 1	II-3
Zona 2-3	II-4
Zona 4	II-5

ZONA 1
SAN ANTONIO OESTE
PROVINCIA DE RÍO NEGRO
LÍMITES PARA EL MODELADO MATEMÁTICO



PROYECCIÓN MERCATOR
ESCALA EN LATITUD MEDIA 1:2.000.000 (41° 34,5' S)
CANTIDAD DE SONDAJES: 3626

REFERENCIAS

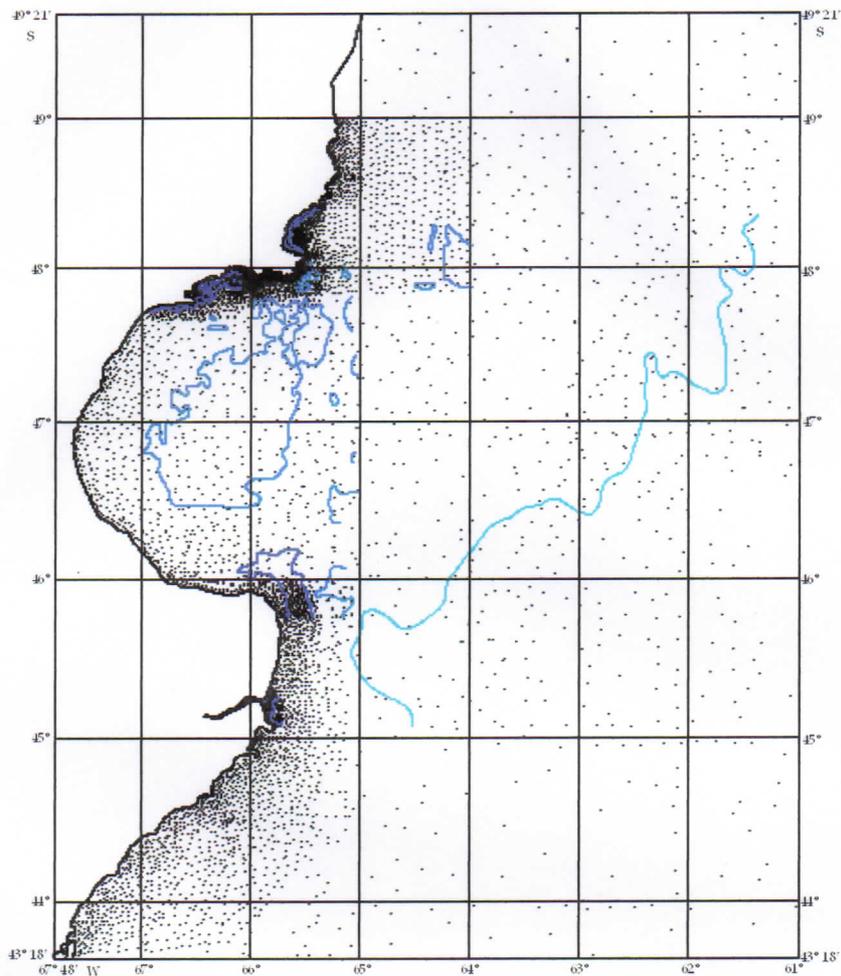


Isobata de 0 m.



Sondajes

ZONA 2 - ZONA 3
 BAHÍA CAMARONES Y DE CABO DOS BAHÍAS
 A PENÍNSULA ARISTIZÁBAL - PROVINCIA DE CHUBUT
 RADA PUERTO DESEADO - PROVINCIA
 DE SANTA CRUZ
 LÍMITES PARA EL MODELADO MATEMÁTICO

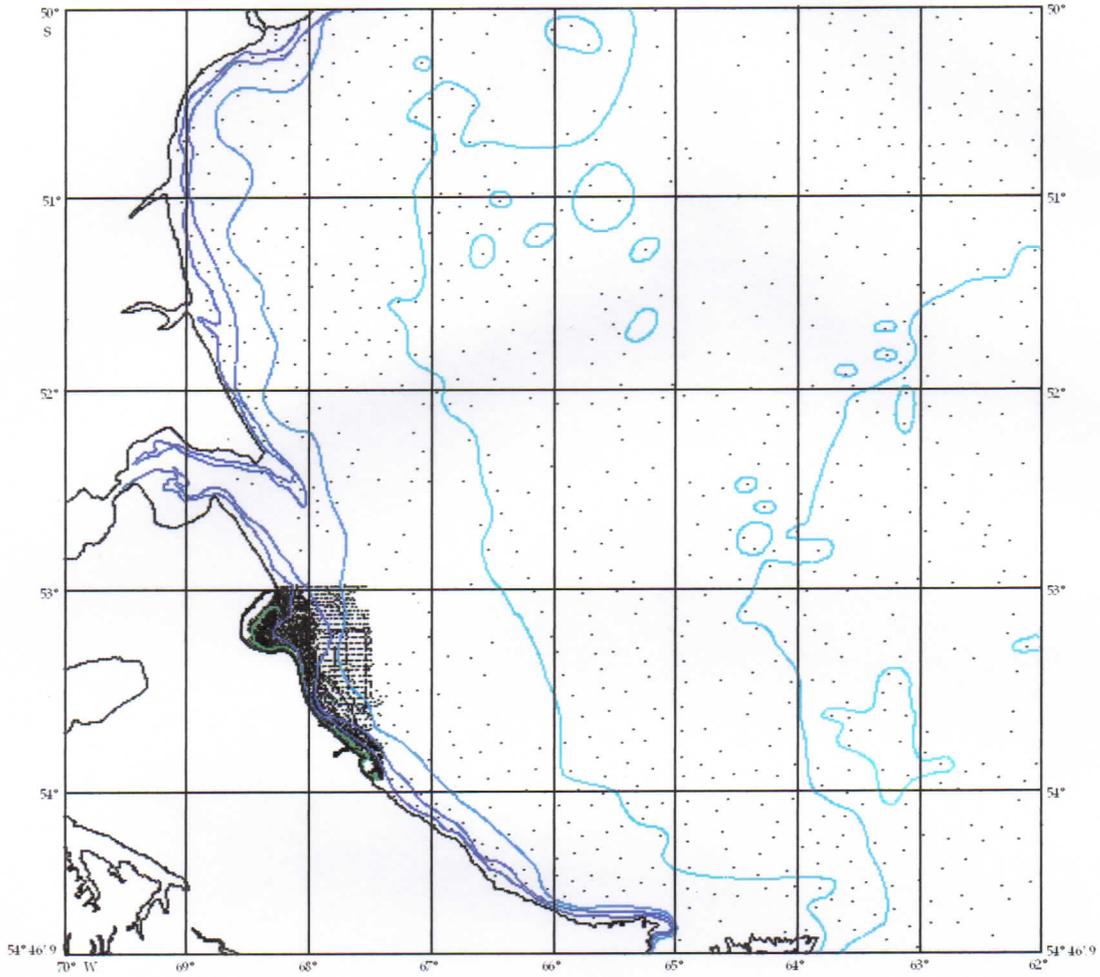


PROYECCIÓN MERCATOR
 ESCALA EN LATITUD MEDIA 1:6.500.000 (46° 18' S)
 CANTIDAD DE DATOS DE PROFUNDIDAD: 11369

REFERENCIAS

- | | | | |
|---|------------------|---|-------------------|
|  | Isobata de 5 m. |  | Isobata de 50 m. |
|  | Isobata de 10 m. |  | Isobata de 100 m. |
|  | Isobata de 20 m. |  | Sondajes |

ZONA 4
 BAHÍA SAN SEBASTIÁN
 PROVINCIA DE TIERRA DEL FUEGO,
 ANTÁRTIDA E ISLAS DEL
 ATLÁNTICO SUR
 LÍMITES PARA EL MODELADO MATEMÁTICO



PROYECCIÓN MERCATOR
 ESCALA EN LATITUD MEDIA 1:5.500.000 (50° 23,5' S)
 CANTIDAD DE DATOS DE PROFUNDIDAD: 9750

REFERENCIAS

- | | | | |
|---|------------------|---|-------------------|
|  | Isobata de 0 m. |  | Isobata de 100 m. |
|  | Isobata de 10 m. |  | Isobata de 200 m. |
|  | Isobata de 20 m. |  | Isobata de 500 m. |
|  | Isobata de 50 m. |  | Sondajes |

APÉNDICE III

TABLAS

3

ÍNDICE DEL APÉNDICE III

Tabla de la Zona 1	III-3
Tabla de la Zona 2-3	III-8
Tabla de la Zona 4	III-12

Zona 1. Especificaciones y parámetros utilizados para la generación de grillas

MÉTODO	Espaciado		Parámetros				Búsqueda			Radio de búsqueda (°)	ECM (m)
	$\Delta\lambda$ (°)	$\Delta\phi$ (°)	Potencia	Tipo	S	N° de sectores de búsqueda	N° máx. de datos a usar en c/sector	N° mín. de datos en c/sector			
FBR	0.017	0.017	-	Multic.	5.21E-05	4	6	5	1	5.6	
FBR	0.017	0.017	-	Multic.	0	4	6	5	1	5.2	
FBR	0.017	0.017	-	Multic.	0.18	4	6	5	1	11.2	
FBR	0.017	0.017	-	Spline	5.21E-05	4	10	4	1	5.3	
FBR	0.013	0.013	-	Spline	5.21E-05	4	10	4	1	4.5	
FBR	0.013	0.013	-	Spline	5.21E-05	4	6	5	1	4.6	
FBR	0.013	0.013	-	Spline	5.21E-05	8	10	4	1	4.5	
FBR	0.006	0.006	-	Multic.	5.21E-05	4	10	4	1	4	
FBR	0.006	0.006	-	Multic.	0	4	10	4	1	2.2	
FBR	0.006	0.006	-	Multic.	5.21E-05	4	6	5	1	4	
FBR	0.006	0.006	-	Multic.	0	4	6	5	1	2.2	
FBR	0.006	0.006	-	Spline	5.21E-05	4	10	4	1	3.9	
FBR	0.006	0.006	-	Spline	0	4	10	4	1	1.5	
FBR	0.006	0.006	-	Spline	5.21E-05	4	6	5	1	4	

Zona 1. Continuación

MÉTODO	Espaciado		Parámetros				Búsqueda			Radio de búsqueda (°)	ECM (m)
	$\Delta\lambda$ (°)	$\Delta\phi$ (°)	Potencia	Tipo	S	N° de sectores de búsqueda	N° máx. de datos a usar en c/sector	N° mín. de datos en c/sector			
FBR	0.006	0.006	-	Spline	0	4	6	5	1	1.5	
FBR	0.006	0.006	-	Spline	5.21E-05	4	10	4	0.5	3.9	
FBR	0.006	0.006	-	Spline	0	4	10	4	0.5	1.5	
ID	0.017	0.017	2	-	0	4	6	5	1	6	
ID	0.017	0.017	4	-	0	4	10	4	1	4.8	
ID	0.017	0.017	10	-	0	4	6	5	1	4.6	
ID	0.013	0.013	10	-	0	4	6	5	1	3.1	
ID	0.006	0.006	2	-	0	4	6	5	1	2.5	
ID	0.006	0.006	2	-	0	4	10	4	1	2.8	
ID	0.006	0.006	4	-	0	4	10	4	1	1.6	
ID	0.006	0.006	4	-	0	4	10	4	0.05	1.6	
ID	0.006	0.006	4	-	0	4	10	4	0.5	1.5	
ID	0.006	0.006	4	-	0	4	6	5	1	1.5	
ID	0.006	0.006	4	-	0	4	10	4	0.1	1.6	

Zona 1. Continuación

MÉTODO	Espaciado		Parámetros			Búsqueda			Radio de búsqueda (°)	ECM (m)
	$\Delta\lambda$ (°)	$\Delta\phi$ (°)	Potencia	Tipo	S	N° de sectores de búsqueda	N° máx. de datos a usar en c/sector	N° mín. de datos en c/sector		
ID	0.006	0.006	4	-	0	4	4	2	1	1.6
ID	0.006	0.006	4	-	0	4	25	5	1	1.6
ID	0.006	0.006	10	-	0	4	10	4	1	1.5
ID	0.006	0.006	10	-	0	4	6	5	1	1.5
ID	0.004	0.004	4	-	0	4	10	4	1	1
Kriging	0.017	0.017	-	Puntual	-	4	6	5	1	5.1
Kriging	0.017	0.017	-	Puntual	-	4	6	5	3	5.1
Kriging	0.017	0.017	-	Puntual	-	4	10	4	1	5.1
Kriging	0.017	0.017	-	Bloque	-	4	6	5	1	5.7
Kriging	0.017	0.017	-	Bloque	-	4	10	4	1	5.7
Kriging	0.01	0.02	-	Puntual	-	4	6	5	1	5.2
Kriging	0.013	0.013	-	Puntual	-	4	10	4	1	3.9
Kriging	0.009	0.009	-	Puntual	-	4	10	4	1	2.8
Kriging	0.006	0.006	-	Puntual	-	4	10	4	1	2.2

Zona 1. Continuación

MÉTODO	Espaciado		Parámetros			Búsqueda			Radio de búsqueda (°)	ECM (m)
	$\Delta\lambda$ (°)	$\Delta\phi$ (°)	Potencia	Tipo	S	N° de sectores de búsqueda	N° máx. de datos a usar en c/sector	N° mín. de datos en c/sector		
Kriging	0.006	0.006	-	Puntual	-	4	6	5	1	2.2
Kriging	0.006	0.006	-	Puntual	-	4	10	4	0.5	2.2
Kriging	0.006	0.006	-	Bloque	-	4	6	5	1	2.9
Kriging	0.006	0.006	-	Bloque	-	4	10	4	1	3
Mín. Curvatura	0.017	0.017	-	-	-	-	-	-	-	5.3
Mín. Curvatura	0.006	0.006	-	-	-	-	-	-	-	2.2
Mín. Curvatura	0.006	0.006	-	-	-	-	-	-	-	2.1 *
Shepard	0.017	0.017	-	-	0	-	-	-	-	4.7
Shepard	0.006	0.006	-	-	0	-	-	-	-	1.5
Triang.c/Int.Lin	0.017	0.017	-	-	-	-	-	-	-	5.3
Triang.c/Int.Lin	0.013	0.013	-	-	-	-	-	-	-	3.9
Triang.c/Int.Lin	0.006	0.006	-	-	-	-	-	-	-	2.2
Vecino Natural	0.017	0.017	-	-	-	-	-	-	-	5.3
Vecino Natural	0.009	0.009	-	-	-	-	-	-	-	3

Zona 1. Continuación

MÉTODO	Espaciado		Parámetros				Búsqueda			Radio de		ECM (m)
	$\Delta\lambda$ (°)	$\Delta\phi$ (°)	Potencia	Tipo	S	N° de sectores de búsqueda	N° máx. de datos a usar en c/sector	N° mín. de datos en c/sector	(°)			
Vecino Natural	0.006	0.006	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4	
Vecino Próx.	0.017	0.017	-	-	-	-	-	-	1	1	4.8	
Vecino Próx.	0.006	0.006	-	-	-	-	-	-	1	1	1.7	

* con factor de relajación = 0.5

Zona 2-3. Especificaciones y parámetros utilizados para la generación de grillas

MÉTODO	Espaciado		Parámetros				Búsqueda			Radio de búsqueda (°)	ECM (m)
	$\Delta\lambda$ (°)	$\Delta\phi$ (°)	Potencia	Tipo	S	N° de sectores de búsqueda	N° máx. de datos a usar en c/sector	N° mín. de datos en c/sector			
FBR	0.06	0.06	-	Multic.	0.0002	4	6	5	1	7	
FBR	0.06	0.06	-	Spline	0.0002	4	6	5	1	6.9	
FBR	0.026	0.026	-	Multic.	0.0002	4	10	4	1	5.3	
FBR	0.026	0.026	-	Multic.	0	4	10	4	1	5.2	
FBR	0.026	0.026	-	Multic.	0.0002	4	6	5	1	5.3	
FBR	0.026	0.026	-	Multic.	0	4	6	5	1	5.2	
FBR	0.026	0.026	-	Spline	0.0002	4	10	4	1	5.3	
FBR	0.026	0.026	-	Spline	0	4	10	4	1	5.4	
FBR	0.026	0.026	-	Spline	0.0002	4	6	5	1	5.3	
FBR	0.026	0.026	-	Spline	0	4	6	5	1	5.4	
ID	0.06	0.06	2	-	0	4	6	5	1	8.2	
ID	0.03	0.03	2	-	0	4	6	5	1	5.8	
ID	0.03	0.03	4	-	0	4	10	4	1	5.8	
ID	0.03	0.03	4	-	0	4	6	5	1	5.8	

Zona 2-3. Continuación

MÉTODO	Espaciado		Parámetros				Búsqueda			Radio de búsqueda (°)	ECM (m)
	$\Delta\lambda$ (°)	$\Delta\phi$ (°)	Potencia	Tipo	S	N° de sectores de búsqueda	N° máx. de datos a usar en c/sector	N° mín. de datos en c/sector			
ID	0.03	0.03	10	-	0	4	10	4	1	5.9	
ID	0.026	0.026	2	-	0	4	6	5	1	5.3	
ID	0.026	0.026	2	-	0	4	10	4	1	5.4	
ID	0.026	0.026	2	-	0	8	10	4	1	5.6	
ID	0.026	0.026	4	-	0	4	6	5	1	5.2	
ID	0.026	0.026	4	-	0	4	10	4	1	5.2	
ID	0.026	0.026	4	-	0	4	25	5	1	5.2	
ID	0.026	0.026	4	-	0	4	4	2	1	5.2	
ID	0.026	0.026	10	-	0	4	6	5	1	5.4	
ID	0.026	0.026	10	-	0	4	10	4	1	5.4	
Kriging	0.06	0.06	-	Puntual	-	4	6	5	1	7.5	
Kriging	0.06	0.06	-	Puntual	-	4	10	4	1	7.5	
Kriging	0.03	0.03	-	Puntual	-	4	6	5	1	5.8	
Kriging	0.03	0.03	-	Puntual	-	4	10	4	1	5.8	

Zona 2-3. Continuación

MÉTODO	Espaciado		Parámetros				Búsqueda			Radio de búsqueda (°)	ECM (m)
	$\Delta\lambda$ (°)	$\Delta\phi$ (°)	Potencia	Tipo	S	N° de sectores de búsqueda	N° máx. de datos a usar en c/sector	N° min. de datos en c/sector			
Kriging	0.026	0.026	-	Puntual	-	4	6	5	1	5.2	
Kriging	0.026	0.026	-	Puntual	-	4	10	4	1	5.2	
Kriging	0.026	0.026	-	Puntual	-	4	10	4	0.5	5.2	
Kriging	0.026	0.026	-	Bloque	-	4	6	5	1	7.5	
Kriging	0.026	0.026	-	Bloque	-	4	10	4	1	5.3	
Mín. Curvatura	0.06	0.06	-	-	-	-	-	-	-	7.2	
Mín. Curvatura	0.026	0.026	-	-	-	-	-	-	-	5	
Mín. Curvatura	0.026	0.026	-	-	-	-	-	-	-	5 *	
Shepard	0.06	0.06	-	-	0	-	-	-	-	16.3	
Shepard	0.026	0.026	-	-	0	-	-	-	-	32	
Shepard	0.026	0.026	-	-	0	-	-	-	-	5.6 **	
Triang.c/Int.Lin	0.026	0.026	-	-	-	-	-	-	-	5.3	
Triang.c/Int.Lin	0.022	0.022	-	-	-	-	-	-	-	5	
Vecino Natural	0.06	0.06	-	-	-	-	-	-	-	7.5	

Zona 2-3. Continuación

MÉTODO	Espaciado		Parámetros				Búsqueda			Radio de búsqueda		ECM (m)
	$\Delta\lambda$ (°)	$\Delta\phi$ (°)	Potencia	Tipo	S	N° de sectores de búsqueda	N° máx. de datos a usar en c/sector	N° mín. de datos en c/sector	Radio de búsqueda (°)	ECM (m)		
Vecino Natural	0.026	0.026	-	-	-	-	-	-	-	-	5.3	
Vecino Próx.	0.06	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	8.1	
Vecino Próx.	0.026	0.026	-	-	-	-	-	-	-	-	5.7	

* con factor de relajación = 0.5

** con vecino cuadrático = 52 y vecino ponderado = 76

Zona 4. Especificaciones y parámetros utilizados para la generación de grillas

MÉTODO	Espaciado		Parámetros				Búsqueda			Radio de búsqueda (°)	ECM (m)
	$\Delta\lambda$ (°)	$\Delta\phi$ (°)	Potencia	Tipo	S	N° de sectores de búsqueda	N° máx. de datos a usar en c/sector	N° mín. de datos en c/sector			
FBR	0.017	0.017	-	Spline	0.0003	4	6	5	1	2.2	
FBR	0.017	0.017	-	Spline	0	4	6	5	1	1.2	
FBR	0.017	0.017	-	Spline	0.0003	4	10	4	1	2.2	
FBR	0.017	0.017	-	Spline	0	4	10	4	1	1.1	
FBR	0.02	0.02	-	Multic.	0.0003	4	6	5	1	3.1	
FBR	0.02	0.02	-	Multic.	0	4	6	5	1	1.9	
FBR	0.02	0.02	-	Multic.	0.0003	4	10	4	1	3	
FBR	0.02	0.02	-	Multic.	0	4	10	4	1	1.9	
FBR	0.02	0.02	-	Multic.	0.0003	4	10	4	0.5	3	
FBR	0.02	0.02	-	Multic.	0	4	10	4	0.5	1.9	
FBR	0.02	0.02	-	Spline	0.0003	4	6	5	1	2.3	
FBR	0.02	0.02	-	Spline	0	4	6	5	1	1.5	
FBR	0.02	0.02	-	Spline	0.0003	4	10	4	1	2.4	
FBR	0.02	0.02	-	Spline	0	4	10	4	1	1.5	

Zona 4. Continuación

MÉTODO	Espaciado		Parámetros			Búsqueda			Radio de búsqueda (°)	ECM (m)
	$\Delta\lambda$ (°)	$\Delta\phi$ (°)	Potencia	Tipo	S	N° de sectores de búsqueda	N° máx. de datos a usar en c/sector	N° mín. de datos en c/sector		
ID	0.017	0.017	4	-	0	4	10	4	1	1.5
ID	0.02	0.02	2	-	0	4	6	5	1	2.8
ID	0.02	0.02	2	-	0	4	10	4	1	3.2
ID	0.02	0.02	4	-	0	4	6	5	1	1.5
ID	0.02	0.02	4	-	0	4	10	4	1	1.5
ID	0.02	0.02	4	-	0	4	10	4	0.5	1.5
ID	0.02	0.02	4	-	0	4	25	5	1	1.6
ID	0.02	0.02	4	-	0	4	4	2	1	1.5
ID	0.02	0.02	10	-	0	4	6	5	1	1.5
ID	0.02	0.02	10	-	0	4	10	4	1	1.5
Kriging	0.017	0.017	-	Puntual	-	4	10	4	1	1.6
Kriging	0.02	0.02	-	Puntual	-	4	6	5	1	1.9
Kriging	0.02	0.02	-	Puntual	-	4	10	4	1	1.9
Kriging	0.02	0.02	-	Puntual	-	4	10	4	0.5	1.9

Zona 4. Continuación

MÉTODO	Espaciado		Parámetros			Búsqueda			Radio de búsqueda (°)	ECM (m)
	$\Delta\lambda$ (°)	$\Delta\phi$ (°)	Potencia	Tipo	S	N° de sectores de búsqueda	N° máx. de datos a usar en c/sector	N° mín. de datos en c/sector		
Kriging	0.02	0.02	-	En bloque	-	4	6	5	1	3.1
Kriging	0.02	0.02	-	En bloque	-	4	6	5	0.5	3.1
Mín. Curvatura	0.017	0.017	-	-	-	-	-	-	-	1.7
Mín. Curvatura	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-	-	1.9
Mín. Curvatura	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-	-	1.9 *
Shepard	0.017	0.017	-	-	0	-	-	-	-	1.1
Shepard	0.02	0.02	-	-	0	-	-	-	-	1.5
Triang.c/Int.Lin	0.017	0.017	-	-	-	-	-	-	-	2.5
Triang.c/Int.Lin	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-	-	2.8
Vecino Natural	0.017	0.017	-	-	-	-	-	-	-	2.3
Vecino Natural	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-	-	2.6
Vecino Próx.	0.017	0.017	-	-	-	-	-	-	1	1.5
Vecino Próx.	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-	1	1.6

* con factor de relajación = 0.5

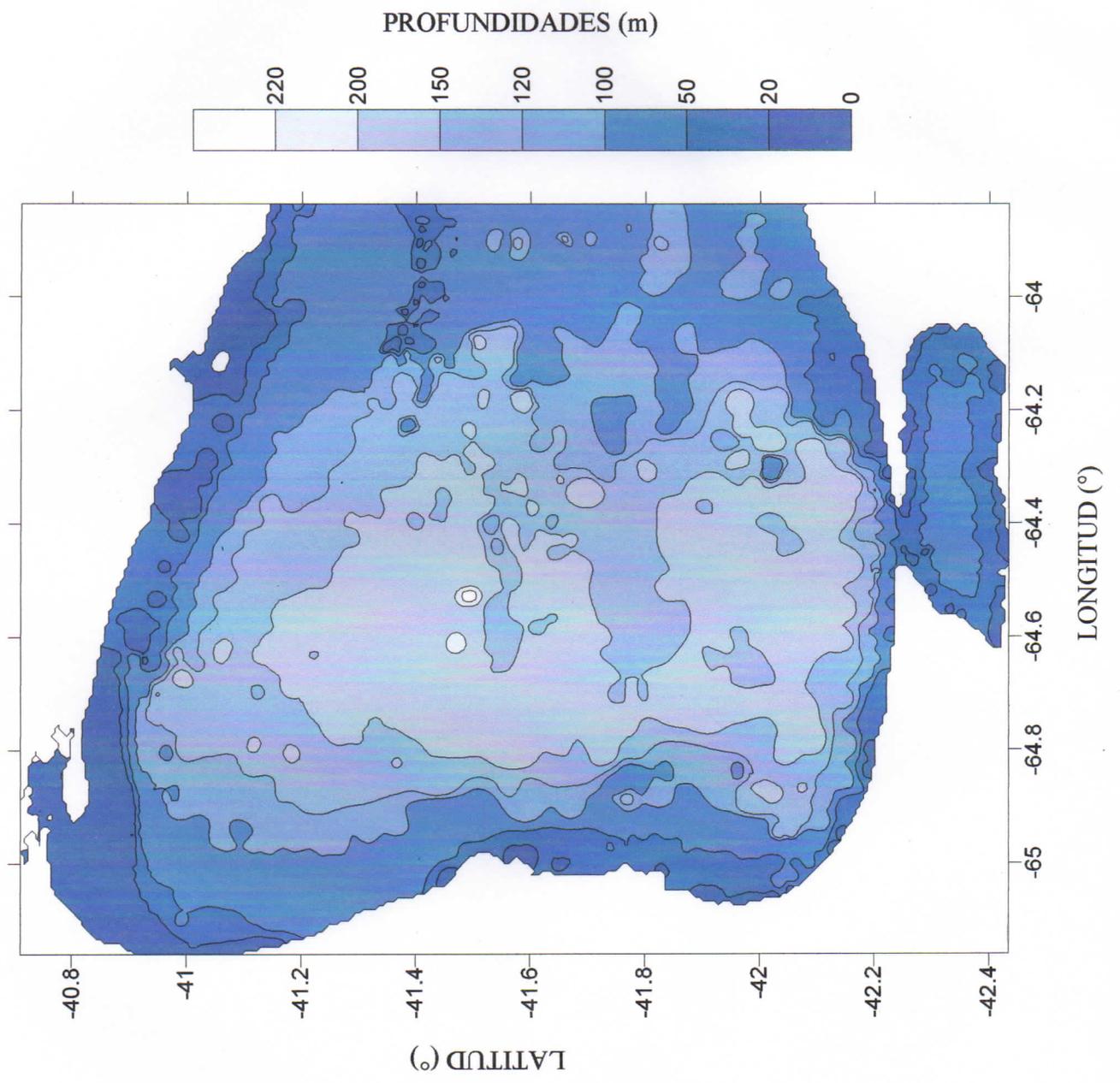
APÉNDICE IV

BATIMETRÍAS GENERADAS PARA LA ZONA 1, 2-3 Y 4

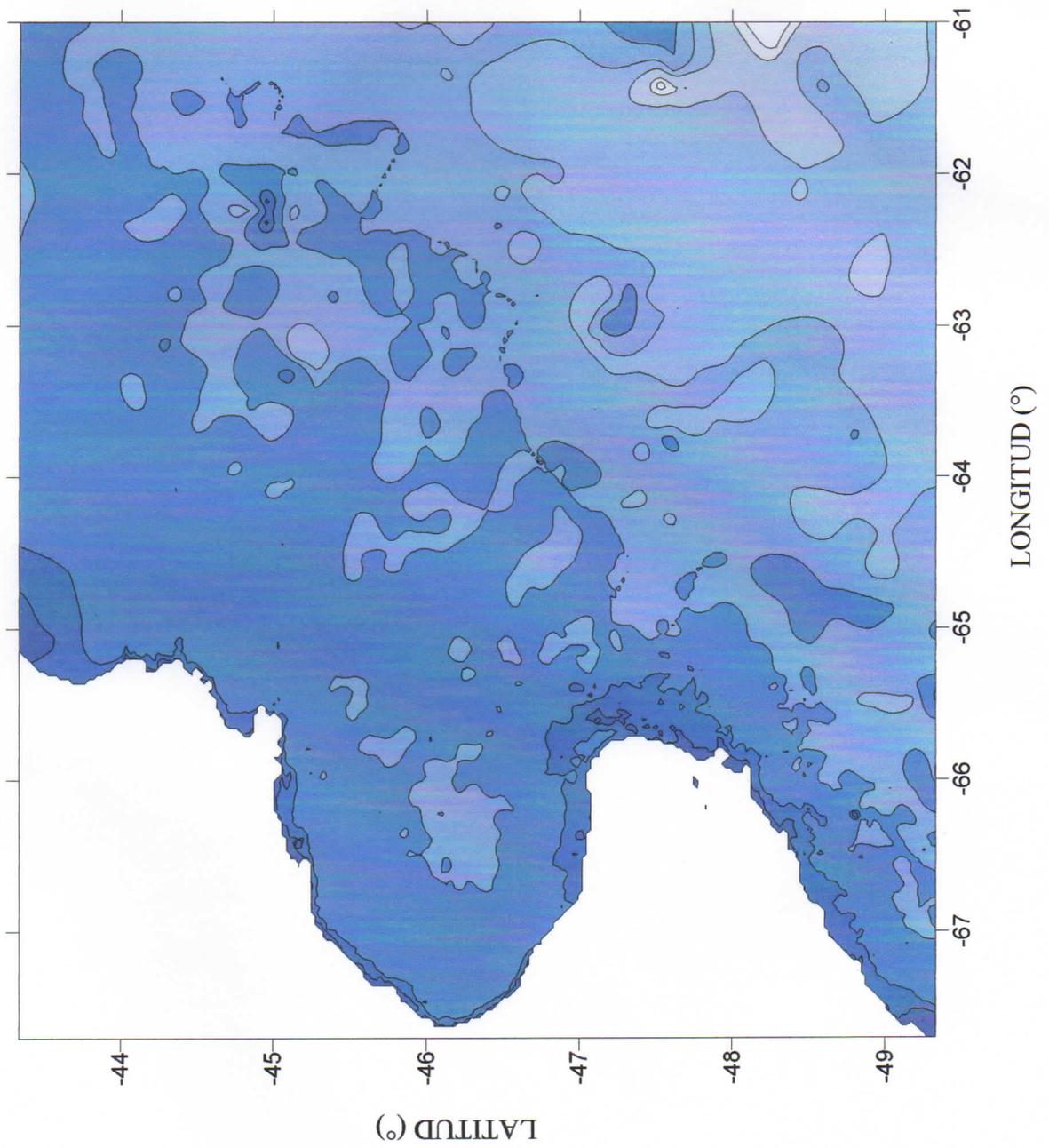
ÍNDICE DEL APÉNDICE IV

Batimetría de la Zona 1	IV-3
Batimetría de la Zona 2-3	IV-4
Batimetría de la Zona 4	IV-5

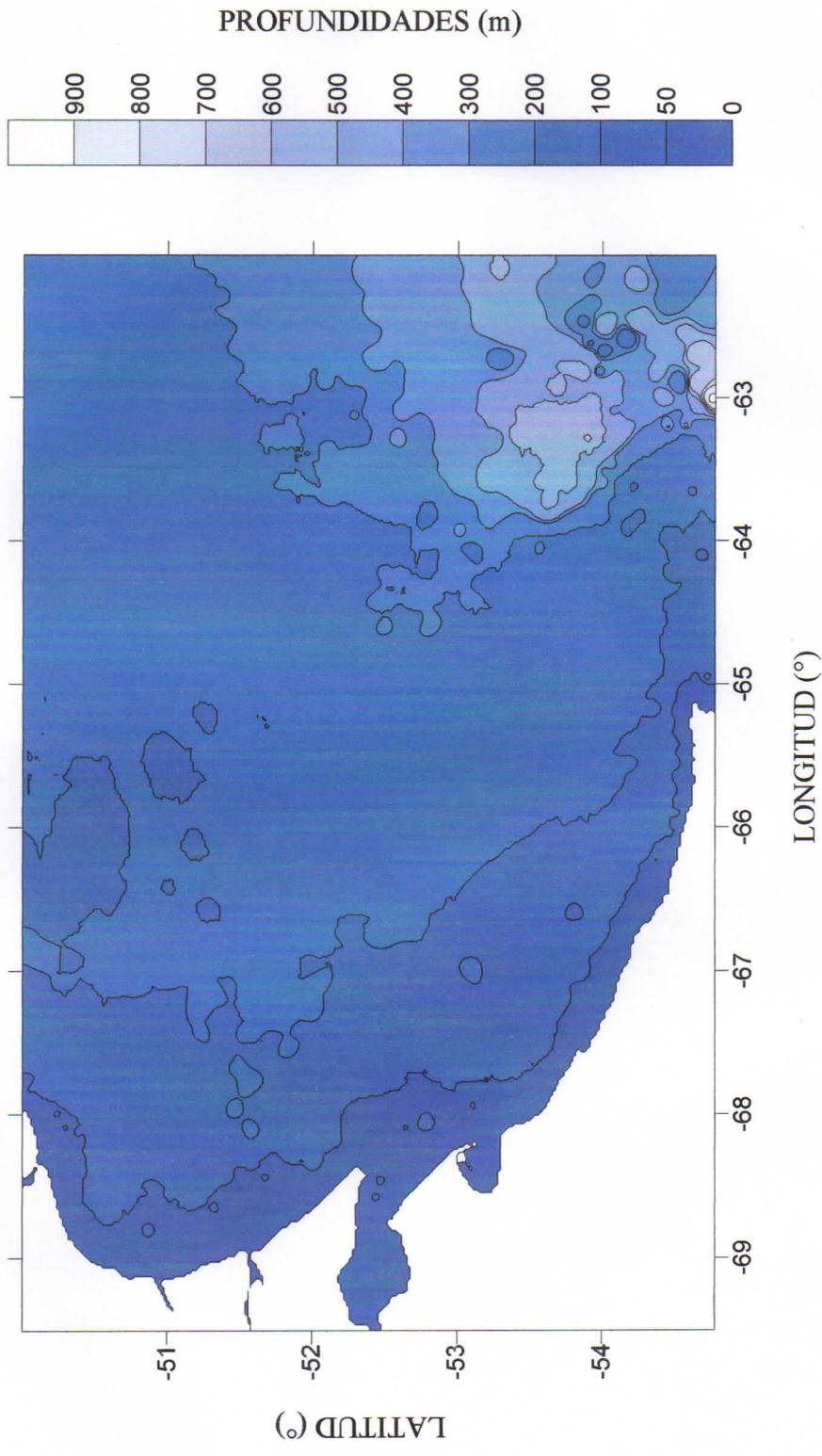
ZONA 1



ZONA 2-3



ZONA 4



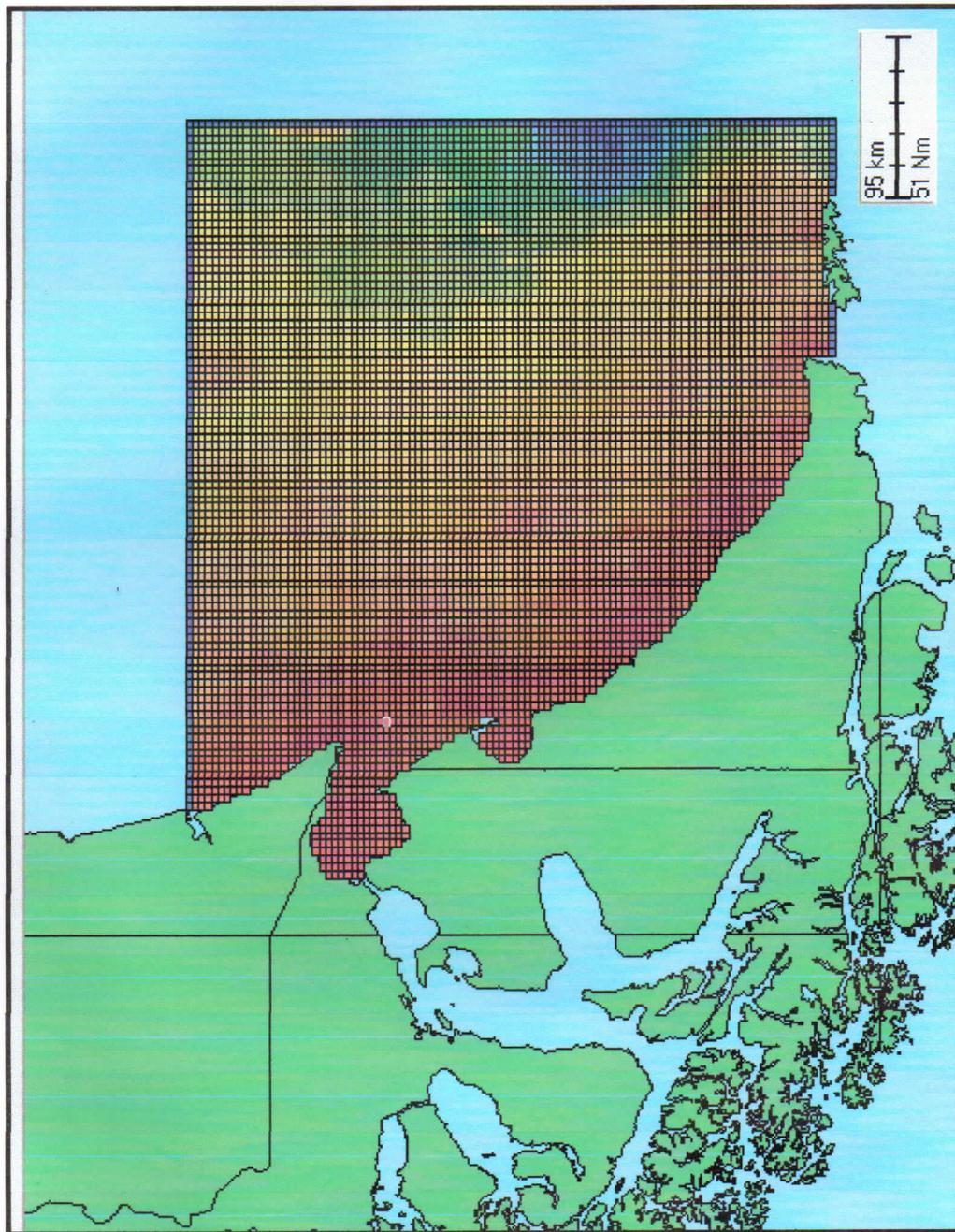
APÉNDICE V

RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES NUMERICAS

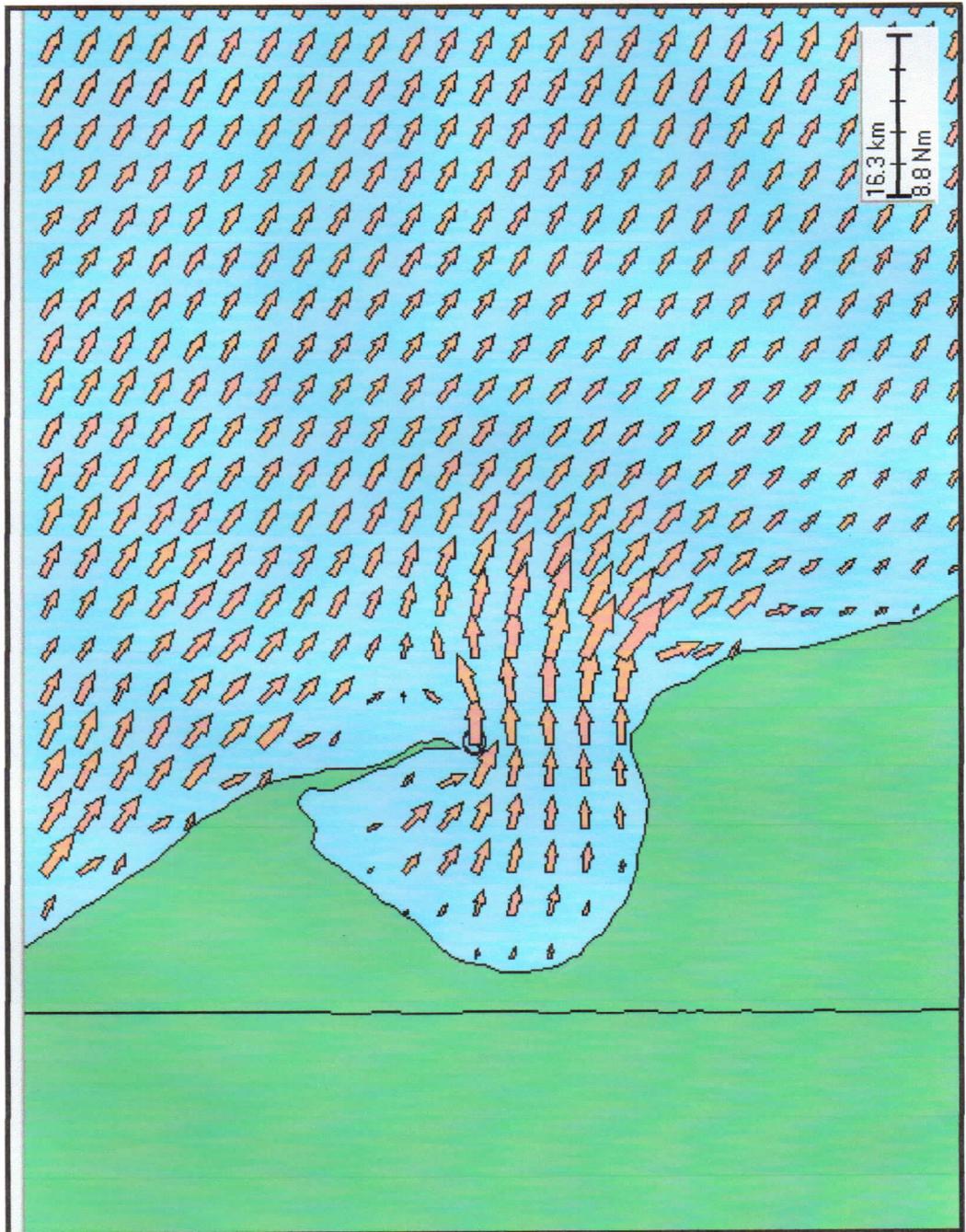
ÍNDICE DEL APÉNDICE V

Grilla y Batimetría Zona 4	V-3
Carta de corrientes (reflujo)	V-4
Carta de corrientes (flujo)	V-5
Componentes este y norte de la corriente	V-6
Simulación del derrame: 1 hora después	V-7
Simulación del derrame: 37 horas después	V-8
Simulación del derrame: llegada a la costa	V-9

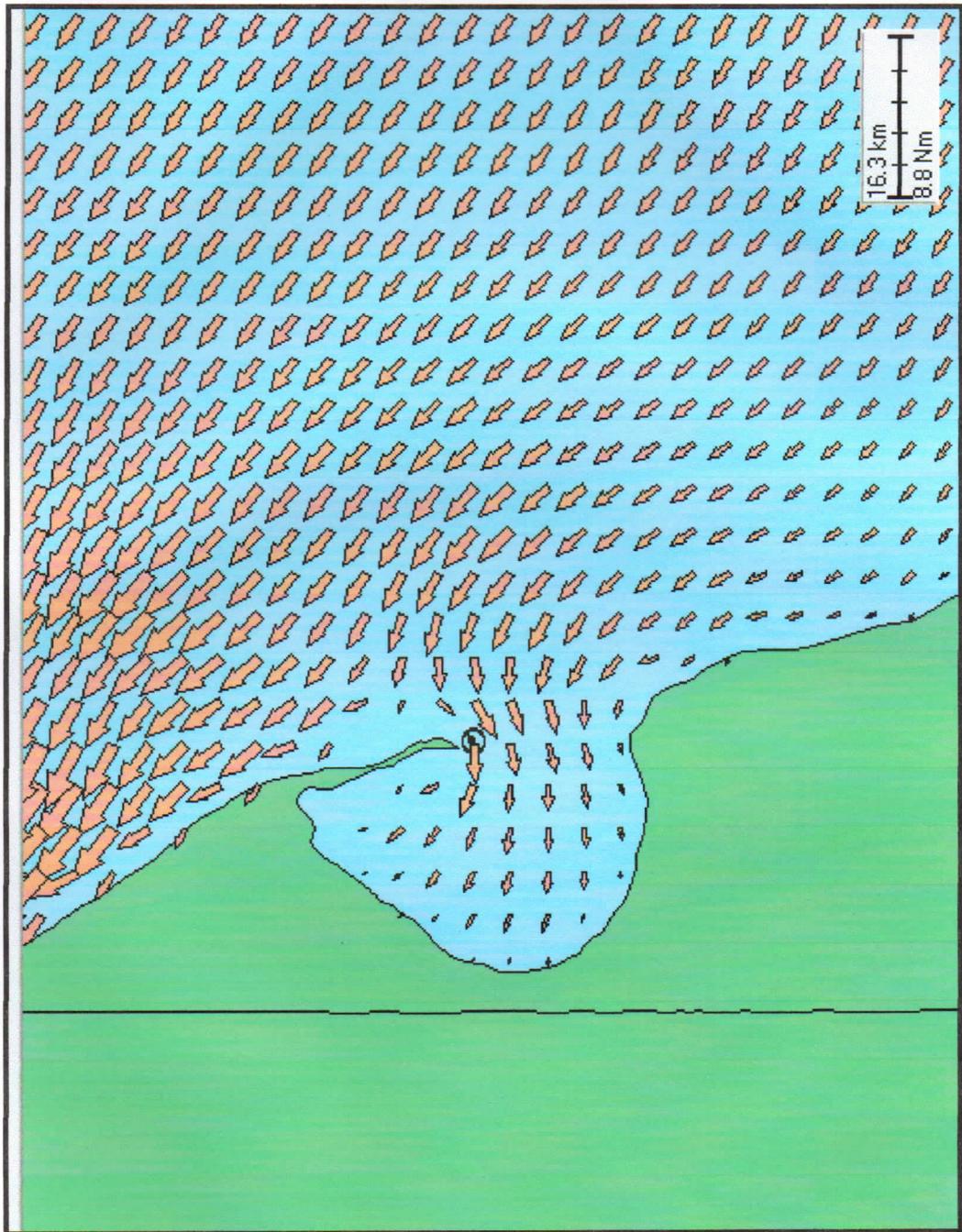
Grilla adoptada para la simulación numérica (el borde abierto se indica en azul) y batimetría correspondiente a Zona 4. Escala en kilómetros (Km) y en millas náuticas (Nm)



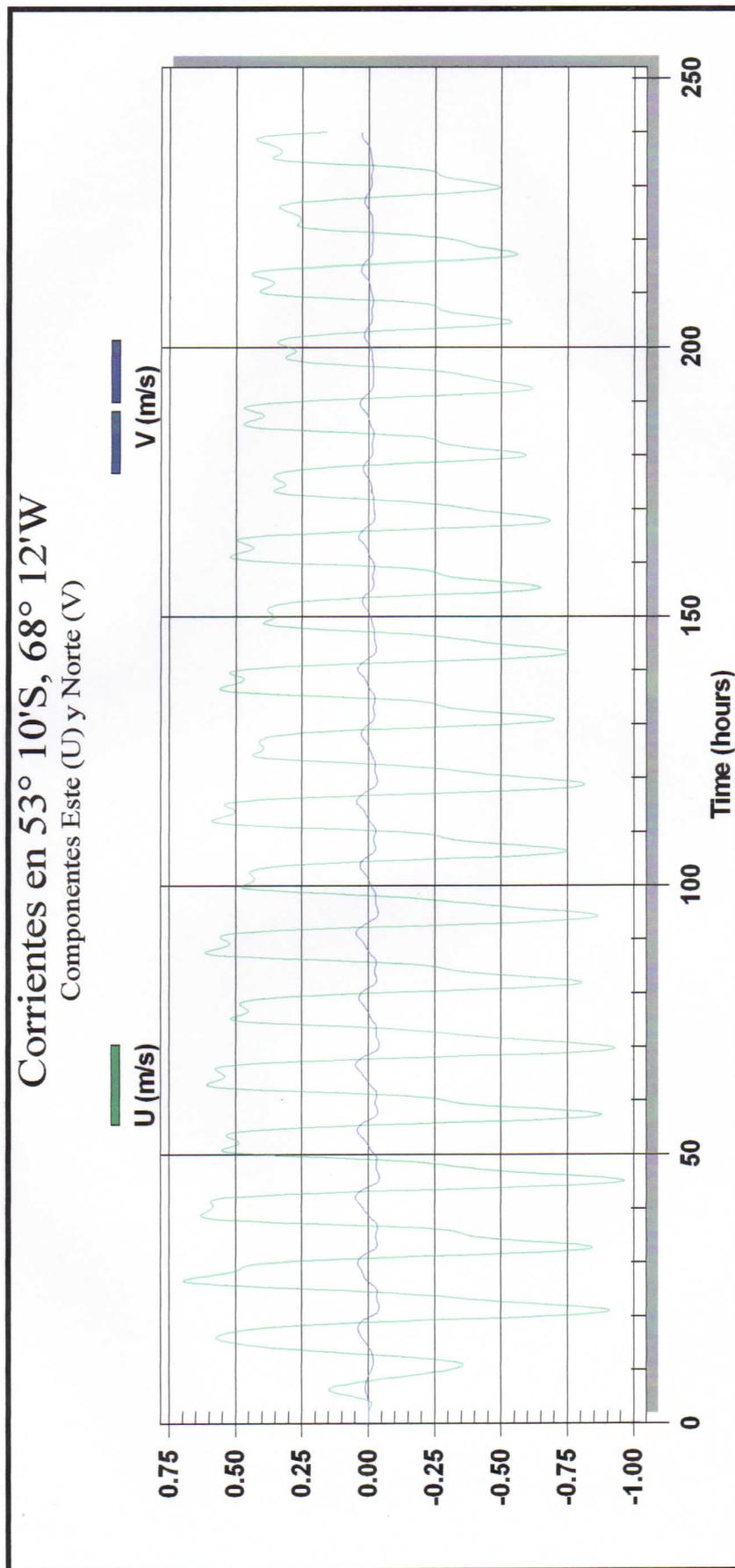
Carta de corrientes correspondiente a condición de reflujio en la bahía San Sebastián



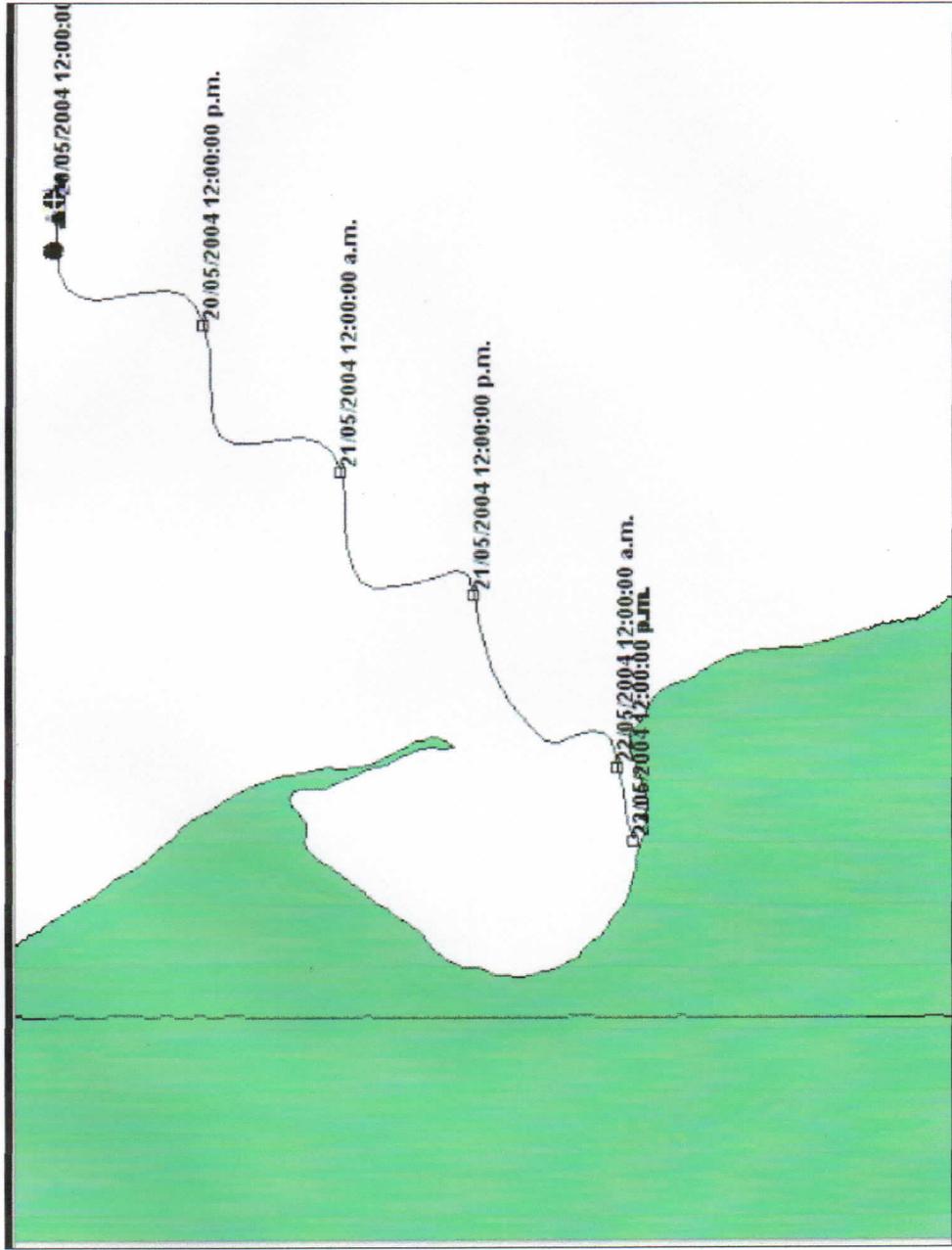
Carta de corrientes correspondiente a condición de flujo en la bahía San Sebastián



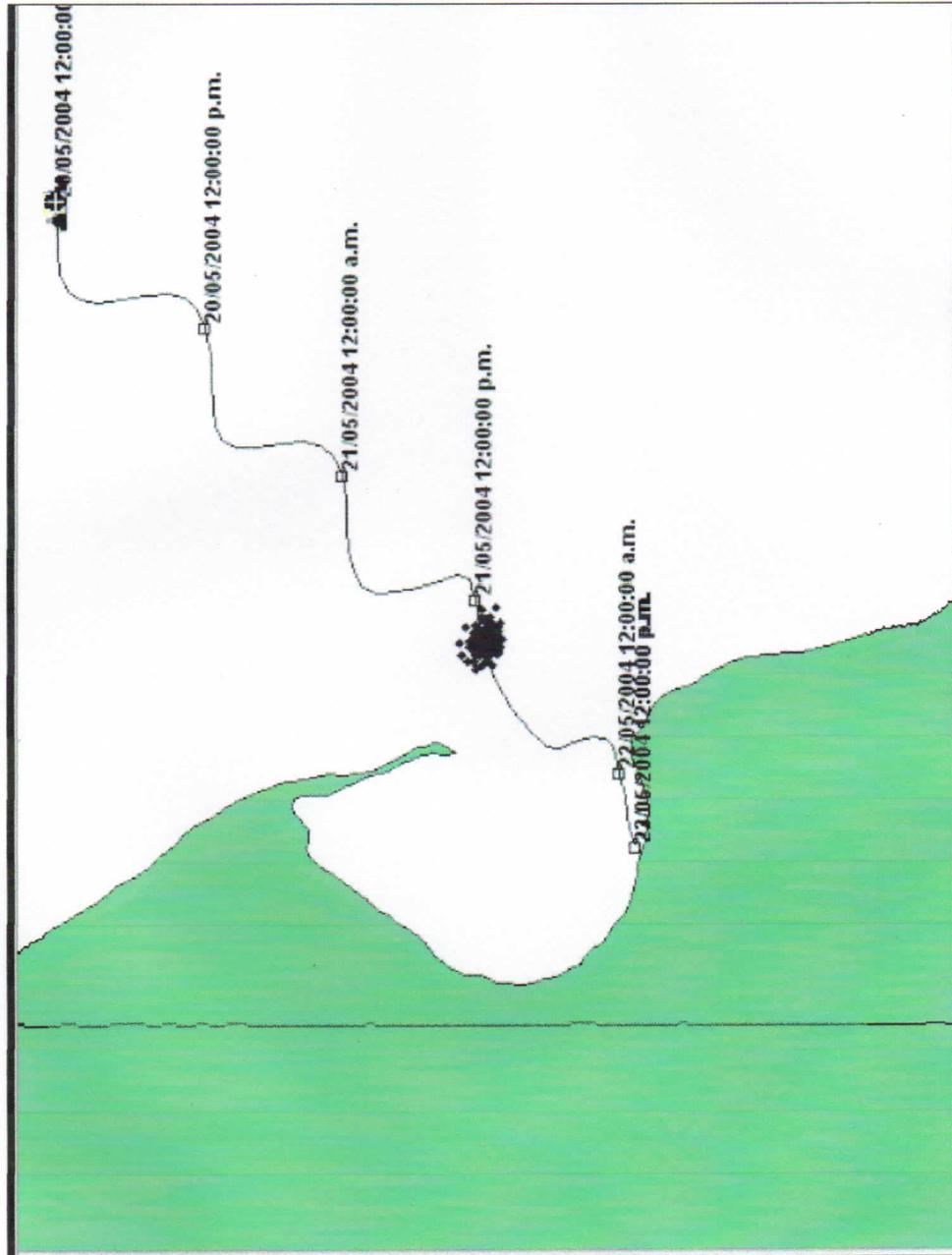
Componente este (U) y norte (V) de la corriente en latitud: 53° 10' S y longitud: 68° 12' W



Situación correspondiente a 1 hora después del derrame de 10000 barriles de crudo en latitud: 52° 48' S y longitud: 67° 24' W.



Situación correspondiente a 37 horas después del derrame de 10000 barriles de crudo en latitud: 52° 48' S y longitud: 67° 24' W.



Situación correspondiente a la llegada a la costa del hidrocarburo producido por el derrame de 10000 barriles de crudo en latitud: 52° 48' S y longitud: 67° 24' W. (Cuando el crudo llega a la costa se indica con color rojo).

