



# **INSTITUTO UNIVERSITARIO NAVAL**

## **ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR**



**Tesina de Licenciatura en  
Cartografía**

**“Modelo digital de elevación a partir de distintas fuentes  
en la ría de Puerto Deseado.”**

**Alumno: Téc. Cart. Medina Ayelén**

**Directores: Ing. María Alejandra Arecco  
Ing. Fernando Oreiro**



## Agradecimientos

La presente tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo, acompañando en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

Agradezco a la Ing. M. Alejandra Arecco y al Agrimensor Fernando Oreiro, quienes dirigieron, supervisaron e hicieron posible la realización de este trabajo. Además agradecer por haber confiado en mi persona, por la paciencia, tiempo y dedicación que tuvieron para que concluyera esto de manera exitosa.

Agradezco a la Escuela Ciencias del Mar, por todo lo que me ha brindado, todos los conocimientos profesionales, las exigencias y la oportunidad de conocer todas esas personas quienes me enseñaron, ayudaron y apoyaron a lo largo de toda la carrera.

Principalmente a mis padres, por darme vida y apoyarme en todo lo que me he propuesto. Por ser mi ejemplo a seguir, por enseñarme a seguir aprendiendo todos los días sin importar las circunstancias y el tiempo. Por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida, por los valores que me han inculcado, consejos y por todo ese esfuerzo que hicieron. Gracias por ser mis papas!!!

A Marcos mi amigo y compañero de vida, que me acompañó, aguantó, apoyó, confió en mí a lo largo de todos estos años, y lo más importantes, por estar siempre.

Agradezco a las personas que han estado y que no puedo nombrarlas a todas.

Muchas gracias a todos y a cada uno de ustedes que estuvieron a mi lado!!!



## Índice

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	
1.1	Introducción..... 5
1.2	Objetivos generales..... 6
1.3	Objetivos específicos..... 7
CAPÍTULO 2 AREA DE ESTUDIO	
2.1	Área de estudio..... 8
CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO	
3.1	Marco teórico..... 12
3.2	Definición de un Modelo Digital de Elevación (MDE)..... 13
3.3	Métodos de grillado ..... 15
3.4	Restitución aérea-fotogramétrica..... 24
3.5	Cartas náuticas..... 26
3.6	Cartas topográficas..... 33
3.7	Geoide..... 43
CAPÍTULO 4 DATOS	
4.1	Cartas topográficas..... 46
4.2	Restituciones aéreo-fotogramétricas..... 48
4.3	Carta náutica..... 52
4.4	Geoide local..... 53
CAPÍTULO 5 METODOLOGIA	
5.1	Escaneo..... 56
5.2	Georreferenciación..... 57
5.3	Digitalización..... 61
5.4	Unificación de los sistemas de referencia..... 66
5.5	Recorte de los modelos fuente..... 67



5.6	Generación del MDE de Puerto Deseado.....	71
	a. Organización y unificación de los datos.....	71
	b. Elaboración de la grilla.....	71
	c. Elaboración del MDE para la zona del Puerto Deseado.....	77
	d. Modelo Digital en Modelo ASCII.....	79
	CAPÍTULO 6 ANÁLISIS COMPARATIVO.....	80
	CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES.....	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	86
	ANEXOS	
9.1	Anexo 1: Carta topográfica hoja 4766-33.....	89
9.2	Anexo 2: Carta topográfica hoja 4766-34.....	90
9.3	Anexo 3: Restitución aereofotogramétrica 208A en sentido E – W del año 1968.....	91
9.4	Anexo 4: Restitución aereofotogramétrica 208B en sentido N - S del año 1968.....	92
9.5	Anexo 5: Restitución aereofotogramétrica Digitalización N°3, de año 1999.....	93
9.6	Anexo 6: Carta náutica H-361.....	94
9.7	Anexo 7: Modelo del Geoide local para la aplicación del sistema RTK en levantamientos hidrográficos.....	95



## CAPÍTULO 1      **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

### 1.1 Introducción

La Cartografía es "la disciplina que trata de la concepción, producción, difusión y estudio de los mapas en todas las formas" (Asociación Cartográfica Internacional<sup>1</sup>, 1995). Otra definición de la cartografía es la que se refiere al arte, ciencia y tecnología de la elaboración de mapas. Esta es una definición que nos lleva a apreciar que la cartografía abarca muchas disciplinas y es tan amplia que invita a los intereses de innumerables profesiones.

Por extensión, también se denomina cartografía a un conjunto de documentos territoriales referidos a un ámbito concreto de estudio. La rápida evolución de la tecnología nos obliga a intentar estar al día de los acontecimientos para poder ser más productivos.

La cartografía requiere de la topografía para determinar la información de base ya que uno de los objetivos principales de la topografía es la construcción de modelos de la superficie terrestre. Estos modelos pueden ser analógicos (mapa topográfico impreso) o digitales (modelos digitales de elevación, (MDE)).

Un MDE es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno y la profundidad del fondo oceánico.

Los modelos digitales de elevación desempeñan un papel similar al mapa topográfico convencional, es decir, son la herramienta básica para la mayoría de los trabajos territoriales en ámbitos muy diversos, pero poseen mayor versatilidad. Es decisivo, por tanto, construir MDE de buena calidad para poder garantizar que los análisis realizados a partir de ellos generan resultados acordes a la realidad. La simulación de procesos es uno de los tipos de análisis, en un ambiente digital, que puede realizarse a partir de los MDE, generalmente mediante herramientas incluidas en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Sáez, 2003).

<sup>1</sup> ICA, *International Cartographic Association*  
<http://icaci.org/>



En cuanto al área de aplicación es muy vasta y en particular muy útil en zonas que poseen un gran potencial de desarrollo como las pujantes ciudades de la Patagonia. Puerto Deseado es una ciudad y puerto pesquero de la provincia de Santa Cruz, cuya actividad portuaria es importante. Es un puerto natural, multipropósito, de preponderante actividad pesquera, donde se han realizado importantes obras de infraestructura como la ampliación de los muelles, galpones de almacenamiento y sitios para la instalación de grúas. A pesar de esto la información topográfica y batimétrica de la zona no se encuentra unificada. Esta falta de unidad no permite realizar simulaciones integrales para cualquier obra civil que requiera conocer la topografía y batimetría en forma simultánea.

## 1.2. Objetivo general

El objetivo de la tesina es realizar un modelo digital de elevaciones (MDE) del área de la ría de Puerto Deseado, cubriendo ambas márgenes de la ría, el puerto, la región adyacente de la ciudad de Puerto Deseado y las áreas cubiertas por el agua, a partir de cartas topográficas, cartas náuticas, restituciones fotogramétricas y un modelo de geoide local para la zona. Para cumplir este objetivo se consideran los sistemas de referencia planimétricos y altimétricos de todas las fuentes, así como también sus proyecciones originales. Se digitaliza la información relevante y se realiza el ajuste combinado para obtener el MDE de la región, considerando las precisiones de cada fuente. Este MDE será de fácil acceso o consulta a través de diferentes programas y su información permitirá la generación de diversos productos como curvas de nivel, líneas de costa, pendientes, zonas de inundación, entre otros.



### 1.3. Objetivos específicos

1. Escaneo y georreferenciación de las fuentes de información cartográfica.
2. Digitalización de las restituciones de vuelos de los años 1968 y 1999 provistos por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN).
3. Digitalización de las curvas de nivel y línea de costa de las cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional.
4. Incorporación de las ondulaciones del geoide, vinculadas en la ría de Puerto Deseado, para intersecar con la topografía de la zona.
5. Unificación de la información disponible en un mismo sistema de referencia y generación del Modelo Digital de Elevaciones.
6. Comparación del MDE obtenido con cada una de las diferentes fuentes y obtención de valores de desviaciones.
7. Identificación y análisis de las diferencias relacionadas con la línea de costa de las cartas topográficas, restituciones y comparación con un modelo global de elevación.

## CAPÍTULO 2 *ÁREA DE ESTUDIO*

### 2.1. Área de estudio

Santa Cruz es una provincia situada en el extremo sur del territorio Argentino, perteneciente a la región patagónica. Esta se divide políticamente en 7 departamentos. Limita al Norte con la provincia Chubut, al Este con el océano Atlántico y al Oeste y Sur con la república de Chile. Está comprendida entre los paralelos 46° y 56° de latitud Sur y entre los meridianos de 69° y 73° de longitud oeste (Imagen N°1).

Tiene una superficie total de 243.943  $km^2$ , con una amplitud longitudinal aproximada de 800 km y un ancho de 40 o 60km. Es la segunda provincia en extensión luego de Buenos Aires. Sus principales ciudades son Río Gallegos, Puerto Deseado y Caleta Olivia.



**Imagen N° 1.** Mapa de ubicación de las zonas de estudio.

El territorio tiene dos zonas bien definidas: la cordillera, al oeste, y la de las mesetas, en el centro y el este. En la cordillera de los Andes, limítrofe con Chile, se levantan cumbres como la montaña Fitz Roy, de 3405 m. y el Cerro Agassiz, de 3180m. En ella se encuentran numerosos lagos, como Buenos Aires, Pueyrredón, San Martín, Viedma y argentino.



El departamento de Deseado, correspondiente al área de estudio de la tesina, tiene un total de 72.928 habitantes; con una superficie de 63.784 km<sup>2</sup> es el departamento más extenso de Santa Cruz, inclusive, de toda la Argentina. Su tamaño equivale a casi tres veces la superficie de Tucumán (22.524 km<sup>2</sup>), también es casi 315 veces más grande que la ciudad de Buenos Aires. Su nombre proviene del río Deseado, que lo atraviesa de oeste a este y desagua en el Mar Argentino.

Este departamento limita al Norte con la provincia de Chubut, al Sur con el departamento de Magallanes, al Oeste con el departamento Lago Buenos Aires y al Este con el Mar Argentino. El río Deseado, no sólo da nombre al departamento, sino también a la ciudad cabecera llamada Puerto Deseado, llamada así por su puerto de aguas profundas, aproximadamente, a 47° 44´S, 65° 53´ O. (Imagen N°2).

El departamento Deseado tiene importantes riquezas naturales en su subsuelo como, gas, carbón, oro, petróleo y otros minerales. Cuenta con las mayores reservas de petróleo del país, es la segunda en importancia después de Neuquén por sus reservas de gas y la única productora de carbón mineral.

Además, se destaca por su puerto, Puerto Deseado, que se distingue por su posición estratégica frente al mundo, por ser un puerto natural de aguas profundas apto para buques de ultramar y asimismo cabe mencionar que es un puerto multipropósito de cabotaje y pesquero.

La actividad preponderante en el seno del mismo lo produce la industria pesquera y en segundo lugar las exportaciones de lanas. Esta actividad principal es la generadora de nuevas perspectivas de desarrollo y la principal causa del crecimiento demográfico.

Los productos del mar se exportan a diferentes países del mundo, principalmente a España, China, Corea del Sur, Italia, Francia, Estados Unidos, Holanda, Japón, Inglaterra, Portugal, entre otros.

Posee una gran variedad de flora y fauna marinas. Entre las primeras, se pueden mencionar las selvas flotantes, vulgarmente conocida como “cachiyuyos”. La principal producción está basada en la exportación de langostino, calamar y merluza Hubbsi y derivados de éstos.



Una de las actividades económicas más fuertes en esta zona también, es el turismo que arroja mayores tasas de crecimiento en los últimos años. En Puerto Deseado el número de turistas que ingresan se encuentra en ascenso. Los turistas que arriban a la localidad proceden principalmente de: Alemania, Israel, Francia, y de las provincias argentinas: Buenos Aires, Mendoza, Santa Fe, Córdoba y Chubut, entre otras.

El clima es frío árido de meseta y costero, con temperaturas medias anuales de 6.5 y 8.5° C. Las precipitaciones anuales oscilan entre los 150 y 220 mm aproximadamente. Se encuentra caracterizado por una marcada aridez, por la presencia de masas de aire húmedo del Pacífico que migran hacia el centro y este. En invierno, presenta un importante aporte de nieve, producto de las invasiones de aire polar. Las precipitaciones son en forma de lluvia y nieve, siendo esta última la más importante. Las precipitaciones en la provincia de Santa Cruz no son estacionales, sino que pueden ocurrir en cualquier época del año. Sin embargo los meses de mayores precipitaciones son febrero y julio.

Las temperaturas medias anuales no superan los 16 °C y las mínimas correspondientes al mes de julio varían entre los 0 °C, en los ambientes serranos y de mesetas volcánicas, de alturas variables entre los 500 y 1000 m y los 3 ° C en los sectores de mesetas próximos a la costa, de menor altura. Las heladas se encuentran presentes en toda la provincia, con un predominio de 95 días y distribuidas durante todo el año.

Santa Cruz posee una marcada frecuencia de vientos provenientes del anticiclón del Pacífico Sur. Esta circunstancia, combinada con la influencia que provoca la cordillera, determina un gradiente en las precipitaciones y la humedad que recibe el territorio provincial, que disminuye considerablemente de O a E. El viento es uno de los principales factores que contribuyen a la erosión y degradación de los suelos de la provincia.

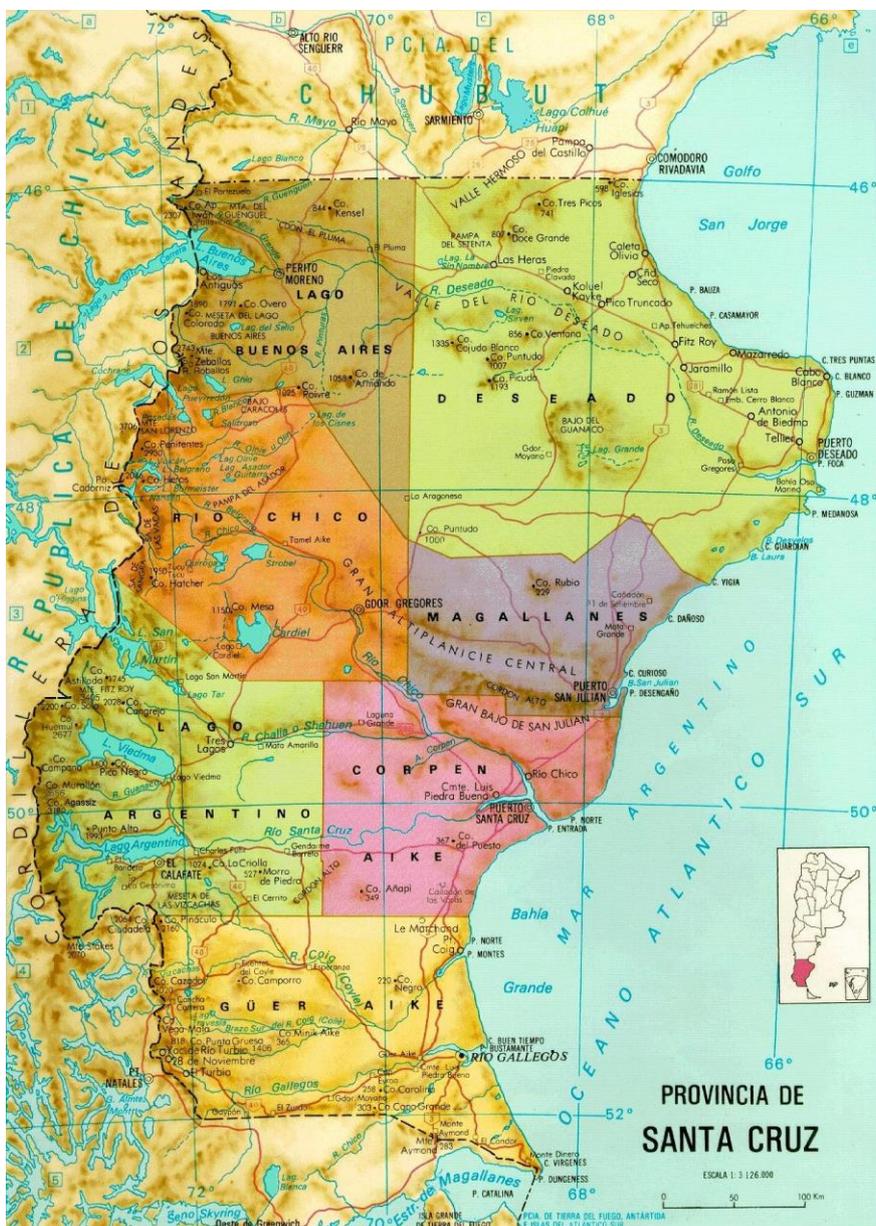


Imagen N° 2. Departamentos de la provincia de Santa Cruz.  
(<http://www.mapasderecursos.org.ar/>)



## CAPÍTULO 3

## MARCO TEÓRICO

### 3.1 Marco teórico

Este trabajo de tesis está basado en el marco teórico de la arquitectura y prestaciones de los MDE a partir de datos de distintas fuentes que posean información básica con la misma arquitectura del MDE y al mismo tiempo en los marcos teóricos en los que se han basado las fuentes aquí utilizadas.

El término Modelo Digital de Terreno (MDT) fue otorgado por Miller y Laflamme (1958), dos ingenieros del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Según estos investigadores un MDT es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continúa.

Por otra parte, un MDE, es un tipo de modelo digital que enfatiza en la medición de la altura con respecto a un datum (Felicísimo et al. 1999), es decir, representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno considerando la superficie de suelo desnudo y sin ningún objeto.

Un Modelo Digital de Superficie (MDS), en la mayoría de los casos, se refiere a la superficie de la tierra e incluye todos los objetos que esta contiene, como la vegetación o los edificios.

No obstante, que no hay un uso normalizado en la literatura científica de los términos MDE, MDT y MDS, en este trabajo de tesis aplicaremos la definición de MDE según Felicísimo (1999).

En definitiva un MDE, es una representación en 3 Dimensiones de la topografía (' y/o batimetría) según Felicísimo (1999) de una zona. Su uso es muy variado, algunos de ellos son:

- Extracción de los parámetros del terreno.
- Trazados de perfiles topográficos.
- Modelización de la escorrentía del agua o del movimiento de masa (por ejemplo, corrimientos de terreno).
- Creación de mapas en relieve.



- Tratamiento de visualizaciones en 3D.
- Creación de modelos físicos.
- Rectificación geométrica de fotografías aéreas o de imágenes satelitales.
- Análisis del terreno en geomorfología y geografía física.
- Ingeniería y diseño de infraestructuras.
- Cartografía de base.
- Análisis de superficie.
- Sistemas de transporte inteligentes.
- Seguridad automotriz y sistemas avanzados de asistencia al conductor.

Según autores: Burroughs, (1988), McCullagh (1990); Weibel y Heller, (1991).

### 3.2. Definición de un MDE y su constitución

Un MDT es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua.

El tipo de MDT más conocido es el MDE, un caso particular de aquel, en el que la variable representada es la cota del terreno en relación a un sistema de referencia concreto (Felicísimo. 1999).

La captura de la información hipsométrica constituye el paso inicial en el proceso de construcción del MDE, e incluye la fase de transformación de la realidad geográfica a la estructura digital de datos. Se trata de una fase de gran trascendencia porque la calidad de los datos es el principal factor limitante para los tratamientos que se realicen posteriormente.

Los métodos básicos para obtener los datos de altitudes pueden dividirse en dos grupos:



### **Método directo**

Dentro de este método se obtiene la medida directa de altitud sobre el terreno mediante observaciones. Estas observaciones pueden obtenerse a través de radares o laser transportados por plataformas aéreas o satélites, Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que es un sistema de localización por triangulación y levantamientos topográficos.

### **Método indirecto**

Este método es mucho más frecuente, ya que con este no es necesario acceder físicamente a la zona de estudio, pues se utilizan documentos preexistentes, y la generación de los datos se hace de forma relativamente rápida. Dentro de este método existen diferentes formas: restitución fotogramétrica, la digitalización automática y la digitalización manual. En esta tesis se utilizó el método indirecto por medio de digitalización manual.

La digitalización manual, consiste en obtener las cartas de la zona y a través de un programa se siguen manualmente las curvas de nivel con un cursor de forma que el ordenador recibe a ciertos intervalos, prefijados o decididos por el operador, las coordenadas de trayectoria de la línea.

En este trabajo, se recopiló información de ondulaciones del geoide, restituciones (1967, 1983) de vuelos fotogramétricos de los años (1949, 1968), cartas topográficas procedentes del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y una carta náutica procedente del Servicio de Hidrografía Naval (SHN). Con este conjunto de datos adquiridos se optó por adoptar el Método Indirecto en la elaboración del MDE. Dicho método se encuadra en el marco teórico a partir de la posibilidad de la extracción de la información a través del escaneo de cada una de las imágenes de las restituciones de los vuelos y las cartas, la compilación de la información altimétrica según los dátums de cada uno de los elementos es posible y el armado del modelo en un programa adecuado (o para tal efecto). Posteriormente el MDE permitirá realizar consultas, comparaciones y/o superposiciones de locaciones en áreas específicas dentro del modelo.

A continuación se describirán los marcos teóricos en los que se basan cada una de las fuentes de datos compiladas en la construcción del MDE en este trabajo de tesis, como la aerofotogrametría, las proyecciones usadas en las cartas y el geoide.



### 3.3. Métodos de grillado

Es una función que divide un área de trabajo en cuadrículas y asigna a cada celda la magnitud que se simboliza (población, temperaturas, alturas sobre el nivel del mar, etc.). Estas grillas o cuadrículas pueden presentar datos en forma de tabla conteniendo dos campos correspondientes a la posición y el tercero representa la magnitud a representar. Suele estar disponible en las aplicaciones de diseño. La creación de una grilla de valores suele tener por finalidad la elaboración de un mapa. Los valores de los elementos de la cuadrícula se seleccionan a partir de los puntos de medición cercanos. Los métodos son determinísticos y utilizan la interpolación lineal y no lineal, o pueden ser estadísticos y utilizar enfoques geoestadístico tales como el método de kriging. El reticulado generalmente se aplica a una característica por mapa, tal como la estructura, el espesor, la porosidad, la permeabilidad o la saturación.

#### Herramientas de interpolación

Las herramientas de interpolación sirven para crear una superficie continua a partir de muestras discretas con valores medidos, tales como la elevación. Hay varias herramientas de interpolación, y cada una de ellas incorpora una variedad de parámetros que influyen en la superficie de salida.

Las herramientas de interpolación más simples es la interpolación ponderada por el inverso de la distancia (IDW, distancia inversa ponderada) y la de vecino natural. Estas herramientas calculan los valores de superficie de cada celda mediante el valor y la distancia de los puntos cercanos. Los valores interpolados de las superficies IDW son un promedio ponderado de los valores de un conjunto de puntos cercanos, ponderado para que la influencia de los puntos cercanos sea mayor que la de los puntos lejanos (es decir, con la distancia invertida).

La interpolación de vecinos naturales es igual que la interpolación IDW, con la excepción de que los puntos de datos utilizados para interpolar los valores de superficie de cada celda se identifican y ponderan mediante una triangulación Delauney, como ocurre en un TIN (Triangulated Irregular Network, Método de triangulación con interpolación lineal). La interpolación de vecinos naturales funciona de forma segura con set de datos de tamaño muy superior al resto de métodos de interpolación.

Las interpolaciones spline y Tendencia interpolan superficies con el ajuste perfecto para los puntos de muestra por medio de métodos polinómicos y por mínimos



cuadrados, respectivamente. La interpolación por spline ajusta una superficie matemática a través de los puntos que reducen al mínimo las curvas cerradas. Resulta de utilidad en superficies que varían de manera uniforme, como las alturas de los niveles freáticos.

Las superficies de tendencias son apropiadas para la identificación de patrones de escalas gruesas en los datos. La superficie interpolada no suele atravesar los puntos de muestra (Arce Mesén, 2001).

### Método de la mínima curvatura

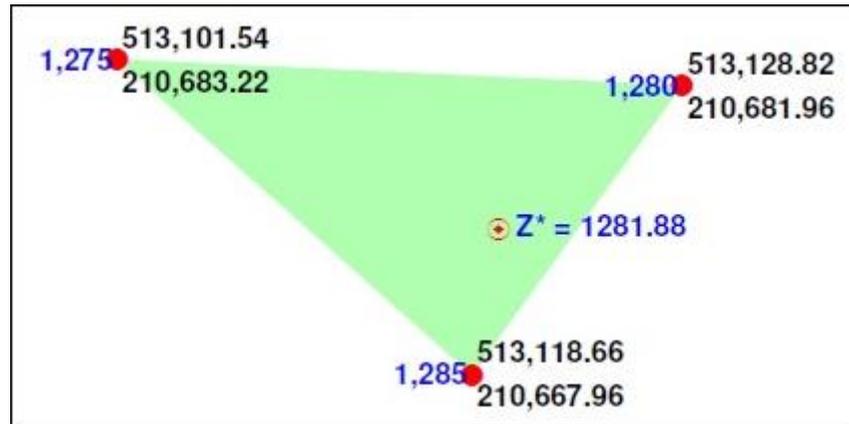
De acuerdo con su nombre, este método de interpolación trata de producir la superficie continua de mínima curvatura sobre la cual todos los puntos de observación están anclados. Sin embargo, a pesar que los desvíos son pequeños, la interpolación no es exacta.

Esto se logra a través de un proceso de múltiples etapas. La primera etapa consiste en la regresión lineal simple y la extracción de los residuos. El procedimiento utiliza estos residuos en lugar de la interpolación de los datos originales de puntos. Al finalizar, a la interpolación de los residuos se le añade la superficie de regresión.

El método de la mínima curvatura está inspirado por el principio de las reglas flexibles en las cuales la presión ejercida en un punto dado produce una reacción (deformación) que afecta un ambiente local determinado por ciertos puntos fijos, este ambiente local es conocido como una placa o pieza de la superficie interpolada. La unión entre las diferentes placas del mosaico debe definir una superficie continua. El proceso de interpolación busca suavizar la superficie interpolada según un parámetro pre-especificado. El procedimiento se describe en detalle en Smith y Wessel (1990).

### Método de triangulación

Este método permite relacionar puntos a mayores distancias a través de la creación de una red triangular (imagen N°3). Una vez que los triángulos de Delaunay han sido construidos, se describe la superficie interior del triángulo por una función lineal derivada de las altitudes de cada uno de los puntos de muestreo que constituyen los vértices del triángulo. Esta función permite calcular la altitud en cada punto del triángulo de manera que el valor Z estimado pueda ser transcrito tanto como un atributo en la base de datos de un programa que maneja las estructuras de datos vectoriales, o como la cota "Z" en la grilla regular de un programa que maneja las estructuras de datos matriciales.



**Imagen Nº 3.** Estimación de Z por triangulación, según Englund, 1988.

La interpolación por triangulación es un método muy flexible que puede crear una superficie rápidamente a partir de diferentes tipos de fuentes de datos. En vez de usar una cuadrícula el método de triangulación define una superficie a partir de puntos espaciados de forma irregular. Esta característica a menudo genera una definición más precisa. Dado que la triangulación no promedia datos durante la interpolación, ésta se encuentra mejor equipada para tratar con conjuntos de datos con picos o cambios abruptos (www.um.es). El método de triangulación puede calcularse rápidamente, pero no creará una superficie tan uniforme. Si el objetivo principal del mapeo es una buena apariencia la triangulación podría no ser la mejor opción.

### Método de Krigeage (Kriging)

El método de interpolación por *Krigeage* o “*kriging*” es definido como “un método de interpolación por medias ponderadas donde el conjunto de los pesos asignados a los puntos de muestreo minimiza la varianza de estimación, que es calculada en función de un modelo de variograma y de los emplazamientos relativos de los puntos, unos con respecto a otros, así como con relación al punto de estimación” (Englund, 1988: XIV –traducción libre).

Kriging es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z. A diferencia de otros métodos de interpolación en el conjunto de herramientas de Interpolación, utilizar la herramienta Kriging en forma efectiva implica una investigación interactiva del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores z antes de seleccionar el mejor método de estimación para generar la superficie de salida.



El *Krigeage* es un método de interpolación local óptimo, en el sentido en como utiliza la programación dinámica para escoger los pesos de interpolación de manera de obtener la *mejor estimación lineal sesgada* del valor de la variable en un punto cualquiera.

### Ecuación de kriging

El método kriging es similar al de IDW en que pondera los valores medidos circundantes para calcular una predicción de una ubicación sin mediciones. La ecuación general (1) para ambos interpoladores se forma como una suma ponderada de los datos:

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (1)$$

- dónde:

$Z(s_i)$  = es el valor observado del lugar .

$\lambda_i$  = es el peso asignado a cada punto muestral

$Z(s_0)$  = valor que se intenta predecir para el lugar.

$N$  = la cantidad de números de puntos muestrales alrededor del lugar que se va a predecir.

En IDW, la ponderación,  $\lambda_i$ , depende exclusivamente de la distancia a la ubicación de la predicción. Sin embargo, con el método kriging, las ponderaciones están basadas no solo en la distancia entre los puntos medidos y la ubicación de la predicción, sino también en la disposición espacial general de los puntos medidos. Para utilizar la disposición espacial en las ponderaciones, la correlación espacial debe estar cuantificada. Por lo tanto, en una interpolación ordenada realizada con kriging la ponderación,  $\lambda_i$ , depende de un modelo ajustado a los puntos medidos, la distancia a la ubicación de la predicción y las relaciones espaciales entre los valores medidos alrededor de la ubicación de la predicción. En las siguientes secciones se describe cómo se utiliza la fórmula general de kriging para crear un mapa de la superficie de predicción y un mapa de la precisión de las predicciones.

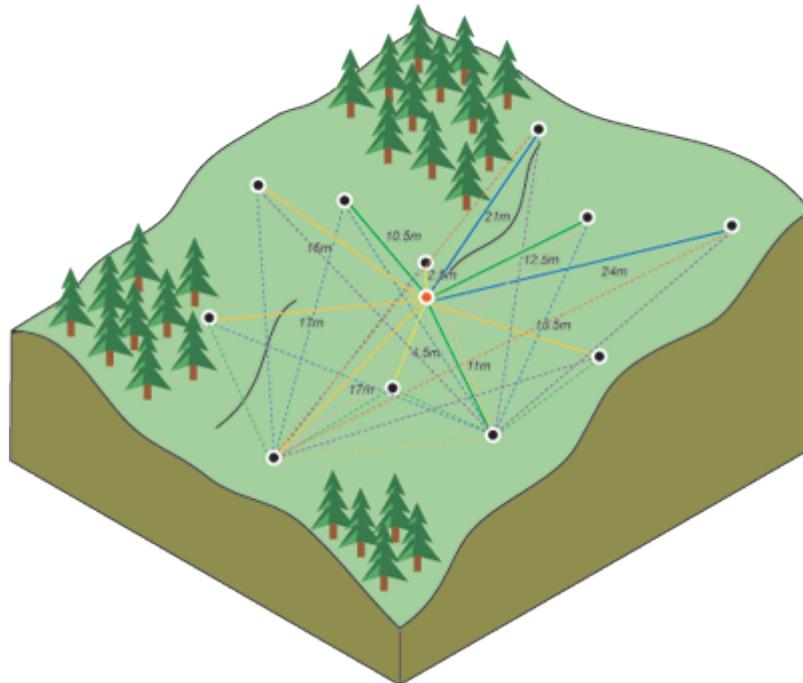
### Variografía

El ajuste de un modelo, o modelado espacial, también se conoce como análisis estructural o Variografía. En el modelado espacial de la estructura de los puntos medidos, se comienza con un gráfico del semivariograma empírico, calculado con la siguiente ecuación para todos los pares de ubicaciones separados por la distancia h:

$$\text{Semivariograma (distancia}_h) = 0.5 * \text{promedio}((\text{valor}_i - \text{valor}_j)^2) \quad (2)$$

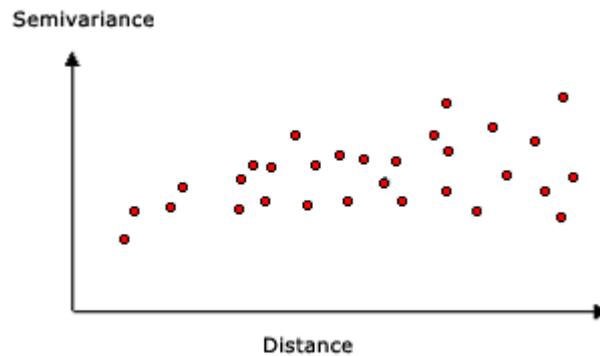
La ecuación (2) implica calcular la diferencia cuadrada entre los valores de las ubicaciones asociadas.

En la imagen 4 a continuación se muestra la asociación de un punto (en color rojo) con todas las demás ubicaciones medidas. Este proceso continúa con cada punto medido.



**Imagen Nº 4.** Cálculo de la diferencia cuadrada entre las ubicaciones asociadas, [www.arcgis.com](http://www.arcgis.com).

A menudo, cada par de ubicaciones tiene una distancia única y suele haber varios pares de puntos. La diagramación de todos los pares rápidamente se vuelve imposible de administrar. En lugar de diagramar cada par, los pares se agrupan en bins de intervalo. Por ejemplo, se calcula la semivarianza promedio de todos los pares de puntos que están a más de 40 metros de distancia pero a menos de 50 metros. El semivariograma empírico es un gráfico de los valores de semivariograma promediados en el eje Y, y la distancia (o intervalo) en el eje X (ver imagen nº5).



**Imagen Nº 5.** Ejemplo de gráfico de semivariograma empírico,  
[www.arcgis.com](http://www.arcgis.com).

La autocorrelación espacial cuantifica un principio básico de geografía: es más probable que las cosas que están más cerca sean más parecidas que las que están más alejadas. Entonces, los pares de ubicaciones que están más cerca (extremo izquierdo del eje X de la nube de semivariograma) deberían tener valores más similares (parte inferior en el eje Y de la nube de semivariograma). A medida que los pares de ubicaciones estén más separados entre sí (hacia la derecha en el eje X de la nube de semivariograma), deberían ser más distintos y tener una diferencia cuadrada más grande (hacia arriba en el eje Y de la nube de semivariograma).

#### Ajustar un modelo al semivariograma empírico

El siguiente paso es ajustar un modelo a los puntos que forman el semivariograma empírico. El moldeado del semivariograma es un paso clave entre la descripción espacial y la predicción espacial. La aplicación principal de kriging es la predicción de los valores de atributo en las ubicaciones que no fueron muestreadas. El semivariograma empírico proporciona información sobre la autocorrelación espacial de los set de datos. Sin embargo, no suministra información para todas las direcciones y distancias posibles. Por esta razón, y para asegurar que las predicciones de kriging tengan varianzas de kriging positivas, es necesario ajustar un modelo (es decir, una función o curva continua) al semivariograma empírico. En resumen, esto es similar al análisis de regresión, en el que se ajusta una línea o curva continua a los puntos de datos.

Para ajustar un modelo al semivariograma empírico, se selecciona una función que sirva como modelo, por ejemplo, un tipo esférico que se eleve y nivele las distancias más grandes que sobrepasan un determinado rango. Existen desviaciones de los puntos



en el semivariograma empírico con respecto al modelo; algunos están por encima de la curva del modelo y algunos están por debajo. Sin embargo, si suma la distancia de cada punto por encima de la línea y la distancia de cada punto por debajo, los dos valores deberían ser similares. Existen varios modelos de semivariograma para elegir.

### Modelos de semivariograma

La herramienta Kriging proporciona las siguientes funciones para elegir el modelado del semivariograma empírico:

- Circular
- Esférica
- Exponencial
- Gaussiana
- Lineal

El modelo seleccionado influye en la predicción de los valores desconocidos, en particular cuando la forma de la curva cercana al origen difiere significativamente. Cuanto más pronunciada sea la curva cercana al origen, más influirán los vecinos más cercanos en la predicción. Como resultado, la superficie de salida será menos suave. Cada modelo está diseñado para ajustarse a diferentes tipos de fenómenos de forma más precisa.

En las imágenes 5, 6 y 7 se muestran dos modelos comunes y se identifican las diferencias de las funciones:

### Un ejemplo del modelo esférico

En este modelo se muestra una disminución progresiva de la autocorrelación espacial (así como un aumento en la semivarianza) hasta cierta distancia, después de la cual la autocorrelación es cero. El modelo esférico es uno de los que más se utilizan.

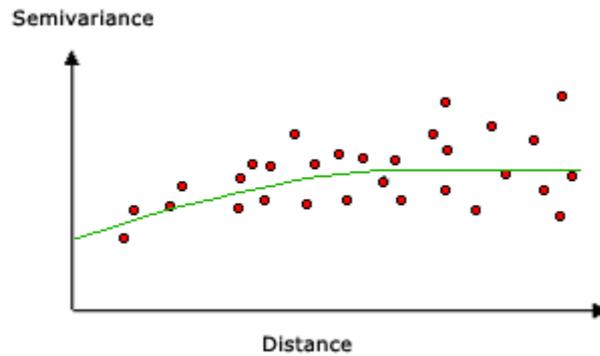


Imagen Nº 6. Ejemplo de modelo esférico, [www.arcgis.com](http://www.arcgis.com).

### Un ejemplo del modelo exponencial

Este modelo se aplica cuando la autocorrelación espacial disminuye exponencialmente cuando aumenta la distancia. En este caso, la autocorrelación desaparece por completo solo a una distancia infinita. El modelo exponencial también es un modelo comúnmente utilizado. La elección de qué modelo se va a utilizar está basada en la autocorrelación espacial de los datos y en el conocimiento previo del fenómeno.

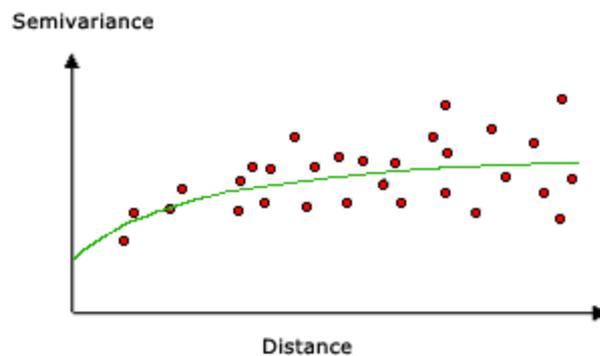


Imagen Nº 7. Ejemplo de modelo exponencial, [www.arcgis.com](http://www.arcgis.com).

Este método en conclusión, es un interpolador exacto, sin embargo cuando los criterios que se involucran en kriging no se satisfacen en su totalidad no es recomendable utilizarlo.



## Kriging vs. Triangulación

El método de kriging tiene varias ventajas con respecto al de triangulación y a otros métodos de interpolación en la precisión general y la ausencia de sesgos de la superficie resultante. Los valores estimados en kriging tienen un grado mínimo de variación conocido, por lo que se puede determinar un cálculo de confianza a través de las superficies. Además, este método es benéfico para el análisis de datos al mostrar huecos en la información. La superficie resultante del kriging se promedia, por lo que si bien es generalmente precisa, no necesariamente respeta los puntos de datos originales. Las superficies por triangulación siguen los datos de forma exacta pero son menos capaces de extrapolar información o tendencias más allá de un conjunto de datos original. (Díaz Viera M.A. y González R.C.).

### 3.4. Restitución Aereofotogramétrica

Una restitución aereofotogramétrica es una representación fiel del terreno en el momento de la exposición, contiene información útil para las diversas áreas relacionadas con las ciencias de la Tierra, además de ser un elemento básico a partir del cual es posible generar modelos y productos para el conocimiento del territorio.

Para realizar un proyecto aereofotogramétrico es fundamental, antes de comenzar a tomar las imágenes, recorrer el terreno u objeto que se pretende abarcar y realizar una lista de requerimientos previos. Independientemente de lo complejo o sencillo que sea la orografía del terreno, se debe realizar una organización de trabajo por etapas (Karsunke C. E., 2005.):

- Planificación del vuelo

En función de la finalidad del trabajo se determina la escala del vuelo y la focal, la superposición longitudinal y transversal. Se planifican los ejes de vuelo de forma tal que se cubra toda la zona de interés. Se determinan las coordenadas geográficas de los puntos de entrada y salida de cada recorrido, las cuales guiarán al navegador del avión aereofotogramétrico.

- Control del vuelo aereofotogramétrico



En esta etapa se controla que todos los requisitos que hacen al vuelo (nitidez, superposición lateral y longitudinal, giros, etc.) se encuentren dentro de las tolerancias establecidas. Se realiza el control geométrico perspectivo del mismo.

- Revelado de las imágenes

En el caso de cámaras no digitales, el revelado se realiza a través de escáner fotogramétricos provistos de una cámara con sensores, la cual recorre todo el formato de la imagen 23 x 23 cm., obteniendo un positivo de imagen compuesto de píxeles de forma, tamaño y espaciamiento fijo, con valores de brillantez variable y un alto contenido de gamas, a través de histogramas.

- Planificación y ejecución del apoyo de campo

En la etapa de planificación se determina la cantidad y ubicación de los puntos de campo. Es muy importante, ya que tiene gran significación en la calidad final del trabajo. Se miden los puntos de apoyo aereofotogramétrico (P.A.F.) determinándolos mediante equipos GPS. Para ello se tiene en cuenta la cantidad de satélites tomados por el receptor que debe ser mayor a 4, tener un horizonte despejado por encima de los 15 grados y fundamentalmente deben ser identificables en el fotograma. Posteriormente se referencian los puntos a la red POSGAR obteniéndose las coordenadas geográficas, a partir de ellas se obtienen unas coordenadas planas conocidas en el mundo de la fotogrametría con el nombre de coordenadas Gauss-Kruger. Por cada punto se confecciona una monografía, se señala y marca con un punto en la copia fotográfica correspondiente y se toman fotografías digitales que facilitan encontrar el punto en el terreno y permiten una perfecta identificación del punto de campo al operador de restitución en la etapa de Aero triangulación.

- Planificación de la Aerotriangulación

Esta etapa se encarga de densificar la cobertura fotográfica con una serie de puntos fotogramétricos que servirán en etapas posteriores a la perfecta orientación del par estereoscópico. Estos puntos unen los diferentes modelos y recorridos entre sí formando un bloque homogéneo de todo el trabajo. Se marcan 3 puntos de paso en cada fotograma y un punto de enlace entre recorridos. Por cada modelo estereoscópico se obtienen 6 puntos de paso (3 a la izquierda, 3 a la derecha.) y 2 puntos de enlace (1 superior, 1 inferior), más los puntos de apoyo de campo anteriormente explicados.



- Aerotriangulación

En esta etapa se colocan en el estéreo cada uno de los pares, procediendo a orientar el modelo y leyendo en un sistema de coordenadas locales cada uno de los puntos de campo y fotogramétricos que intervienen en el modelo, obteniendo así coordenadas X, Y, Z locales.

- Cálculo de la Aerotriangulación

Mediante las etapas anteriores se han obtenido coordenadas en dos sistemas, de campo y locales. Para llevar todas las coordenadas al sistema de campo, se procesan todos los valores con un programa de ajuste espacial que compensa en bloque y detecta automáticamente errores excesivos. El programa determina el error medio cuadrático del bloque, las coordenadas de los puntos en el sistema de campo y los desvíos de las coordenadas X, Y, Z.

- Orientación de los modelos estereoscópicos

Una vez obtenidas las coordenadas de todos los puntos fotogramétricos (mediante la Aerotriangulación) más las coordenadas de los puntos de campo se prepara un mapa digital que va a ser la base de la restitución. Para ello se coloca en el aparato restituidor las mismas diapositivas utilizadas en la Aerotriangulación y se ajusta el modelo espacial a los valores obtenidos en el paso anterior, quedando el modelo estereoscópico perfectamente orientado con la realidad.

- Restitución planialtimétrica

Toda interpretación y volcado de detalles en la cartografía está en directa relación con la escala del vuelo fotográfico. La forma del terreno se representa con curvas de nivel según la equidistancia prefijada. La altimetría se complementa mediante el acotamiento de puntos con una densidad acorde a la escala de restitución. La cantidad de puntos acotados es tal que pueden caracterizar la forma del terreno, indicando siempre los puntos más elevados y los más bajos, así como todo punto en que se produzca un cambio brusco de pendiente.



### 3.5. Cartas náuticas

Una carta náutica es un mapa o libro con fines específicos, o una base de datos especialmente recopilada de la cual se obtiene dicho mapa o libro, publicado oficialmente por un gobierno o bajo la autoridad de un gobierno, un Servicio Hidrográfico autorizado o cualquier otra institución estatal pertinente, y que está concebido para satisfacer las necesidades de la navegación marítima. (Definición establecida en la Regla Nº 2 del Capítulo V del SOLAS)

Las cartas náuticas proporcionan una representación gráfica de aquella información relevante para el navegante para llevar a cabo una navegación segura, están disponibles en formato analógico como cartas de papel, o digital como cartas electrónicas.

Los requisitos de llevar cartas náuticas se establecen en el Capítulo V de SOLAS (convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en el mar), que es el tratado más importante sobre la seguridad de los buques. Las reglas relevantes son:

- la Regla 2, define la carta náutica;
- la Regla 19, especifica el equipo (incluyendo cartas) que deben llevar los diferentes tipos de barcos; y
- la Regla 27, especifica el requisito de mantener actualizadas las cartas y publicaciones náuticas.

Las variedades de estas cartas incluyen: cartas para pequeñas embarcaciones (diseñadas para usos de recreo en aguas interiores y de los puertos) portulanos, detalles de las zonas de fondeo, los puertos y pequeños canales; cartas de canales, detalles de los canales y de los sistemas acuáticos navegables; cartas costeras, diseñadas para la navegación costera; cartas de navegación - utilizadas primordialmente por los navegantes para fijar las situaciones cuando se aproximan a la costa desde alta mar.

#### Relevancia

Las cartas náuticas son uno de los elementos más importantes para la navegación ya que en ellas se fija la posición geográfica en que se encuentra la nave, en cualquier instante, por cualquier procedimiento (astronómico, estima, demarcaciones a la costa, radiogoniómetro, satelital, etc.) lo que permite determinar el nuevo rumbo y



distancia que deberá navegar para ir a otro punto, eludiendo los peligros indicados en la misma carta.

## Características

Para que la carta náutica cumpla su propósito a la navegación, debe tener las siguientes características o propiedades (Organización Hidrográfica Internacional, 2010):

- **Plana:** Significa que sea posible colocar sobre la cubierta de una mesa y trabajar en ella con instrumentos de dibujo, como asimismo, para facilitar su estiba, acopio y conservación a bordo.
- **Semejante:** El dibujo debe mantener la misma forma de lo que representa y las mismas posiciones relativas entre todos los detalles y objetos que contiene.
- **A Escala:** Significa que se podrá medir, en ella, las distancias a que se encuentran la costa y demás puntos notables, en particular entre puntos situados en el mismo plano o entre un rumbo y otro objeto terrestre representado en ella.
- **Exactitud:** Es la absoluta igualdad entre las dimensiones lineales, angulares, etc. que se miden o calculan en la carta con las dimensiones reales correspondientes existentes en el terreno.
- **Orientada:** Significa que la porción de tierra y agua dibujada deben tener la misma posición relativa respecto de los meridianos trazados que indican el norte verdadero y posición relativa que realmente tienen en la superficie terrestre. La orientación en una carta permite trazar rumbos.
- **Actualizada:** Una carta se encuentra actualizada (al día) si está permanentemente corregida de acuerdo a los avisos que emite regularmente el Servicio Hidrográfico correspondiente.



## Información principal

A continuación se resume la información que se encuentra en una carta náutica:

- **profundidades:** Profundidades del mar a intervalos tan pequeños como lo permita la claridad y la escala.
- **Isobatas:** Son líneas de igual profundidad para llevar la derrota de un buque de acuerdo con su calado.
- **Calidad del fondo:** Indica la naturaleza del fondo cerca de la costa en fondeaderos y bajo fondos.
- **Peligros submarinos:** Todo lo que constituya un peligro para la navegación como rocas sumergidas, casco a pique, arrecifes, bajos y tendido de cables.
- **Línea de costa:** Todo el contorno de la costa, con su forma, orientación, aspecto y características (alta, escarpada, rocosa, de arena, etc).
- **Señalización y objetos visibles:** Ubicación de los faros, balizas, luces, boyas, islotes, etc. Como asimismo objetos fijos terrestres visibles desde el mar como cerros, puntas quebradas, torres, edificios, etc.
- **Marea y corrientes:** Valores del establecimiento del puerto, amplitud de la marea en sicigias y niveles de reducción de sondajes y alturas terrestres. Datos que se consignan en bahías, puertos, caletas y surgideros. Indicación de la dirección e intensidad de las corrientes oceánicas o generales de las mareas.
- **Coordenadas geográficas y red de meridianos y paralelos:** Debe figurar el punto de observación con los valores de Longitud y Latitud, los principales meridianos y paralelos, que permitan obtener las coordenadas de cualquier lugar de la carta de modo sencillo y expedito.
- **Escalas:** Debe contener los siguientes tipos de escalas:
  - ✓ **Numérica.** La relación entre el tamaño del dibujo y tamaño real terrestre (tamaño carta/tamaño real). En cartas de gran extensión en latitud, esta escala corresponde a la latitud media de la carta.
  - ✓ **Marginal.** Para latitudes y longitudes dibujadas en márgenes laterales y verticales respectivamente. En una carta Mercator es suficiente la subdivisión en minutos (M.N.) del costado lateral E o W (latitudes) y la subdivisión en minutos de longitud del margen N y S, no debe medirse distancias en la escala de longitudes.



- ✓ **Gráfica.** En los planos de puertos se dibuja una representación lineal del largo de la milla o del kilómetro a la escala natural, con las subdivisiones que proceda.
- **Rosas:** Tener una o más rosas convenientemente ubicadas con espacios blancos y libres de otros detalles para facilitar el trazado de rumbos y demarcaciones. La utilización de paralelas graduadas sexagesimal permite obtener rumbos y demarcaciones a partir del meridiano más próximo al lugar requerido.

Están graduadas de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  en el mismo sentido de las agujas del reloj analógico. Concéntricamente en su interior se dibuja una rosa orientada según el meridiano magnético, indicándose el valor de la variación magnética al año correspondiente y el cambio anual que experimenta.

- **Vistas de Recalada:** En algunas cartas sirven para reconocer la costa, en las cercanías y entradas a puertos y bocas de canales.
- **Nombres geográficos:** Todos los accidentes topográficos e hidrográficos están indicados por sus nombres propios, como ser: puertos, cabos, puntas, islas, cerros, etc.
- **Precauciones especiales:** Informaciones que no debe descuidar el navegante como alerta. Ejemplo: perturbaciones magnéticas, corrientes anormales, adelanto o atraso en el cambio de la corriente etc.

## Proyecciones

La primera característica de la carta de navegación, es que debe ser un dibujo en papel plano. El esferoide y la esfera no son desarrollables en un plano, siendo necesario adoptar procedimientos que permitan la representación gráfica de la superficie de la tierra sobre un plano. Se llama proyección al conjunto de procedimientos matemáticos que permiten representar la superficie de la tierra en un plano.

La solución tiene lugar transfiriendo todos los puntos de la tierra a un plano o superficie de una figura geométrica desarrollable, es decir, asimilable a un plano.

Para la navegación marítima, es deseable que se cumplan las siguientes condiciones:

- Que los accidentes geográficos conserven su forma.
- Que los ángulos no se deformen.
- Que la línea loxodrómica se representen por rectas.
- Que la distancia se conserve.



Cada tipo de proyección cubre una o más de las condiciones anteriores. No hay alguna que satisfaga todas y no produzca distorsión en uno u otro sentido.

Las diferencias gráficas entre los distintos tipos de proyecciones son muy notorias cuando la representación abarca grandes extensiones. A medida que éstas se reducen, aumenta la semejanza, llegándose a una semejanza casi total cuando el área cubierta es muy pequeña.

Las proyecciones se clasifican de acuerdo a:

- La superficie desarrollable. Puede ser: cónica, cilíndrica o plana.
- Posición del punto de tangencia con la esfera. Pueden ser: ecuatorial, polar o transversal.
- Su origen puede ser: Desarrollables y Matemáticas.
- Según el punto desde donde se genera la proyección. Pueden ser:
  - **Gnomónicas**, si el origen de la proyección es el centro de la tierra.
  - **Estereográficas**, si el origen de la proyección está en la superficie de la tierra.
  - **Ortográficas**, si el origen de la proyección está en el infinito.

Son diversas las proyecciones utilizadas en la producción de cartas náuticas, pero su uso está orientado a trabajos de fines específicos que no incluyen la navegación normal. Para la navegación normal la empleada es la proyección Mercator.

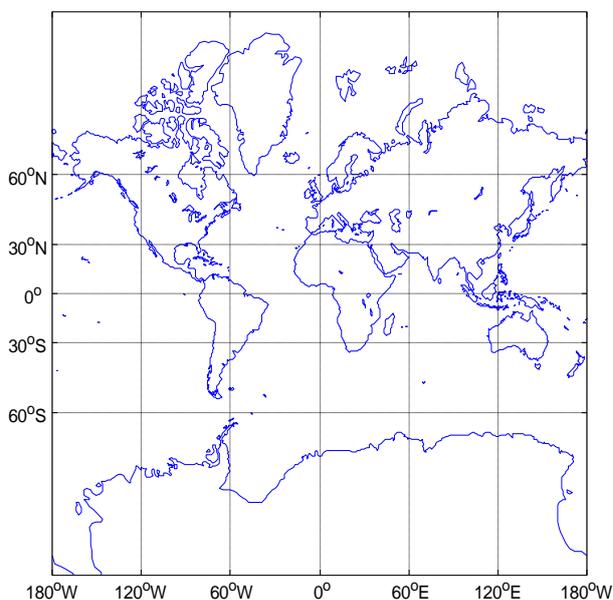
### **Proyección Mercator**

A mediados del siglo XVI, el gran cartógrafo flamenco Gerhardus Mercator estableció la proyección Mercator que se utiliza en las cartas de pequeña escala, donde todos los meridianos y paralelos son líneas rectas que cruzan en ángulo recto, cambiando la escala de distancias según la posición en el mapa. Pero dado que al navegante le interesa más la situación precisa en términos de longitud y latitud que en términos de distancia, este tipo de proyección resulta ideal.

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 (Livingstone, D. (1992). 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. En esta proyección la

variación de la distancia entre paralelos es de tal manera 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.

En la Imagen N°8 se presenta, a modo de ejemplo, el mapa mundial en proyección Mercator apreciándose las características previamente descritas.



**Imagen N°8.** Proyección Mercator del mapa mundial.

Mercator es una proyección cuya solución es matemática, aunque tiene origen cilíndrico. Ello significa que existen ecuaciones de los puntos geográficos en la que:

1. Se cumple que:

- ✓ La línea de rumbo o loxodrómica se representa por una recta.
- ✓ Los rumbos y demarcaciones se representan con su valor trazándose y midiéndose con facilidad.
- ✓ Las distancias se miden fácilmente.
- ✓ Las demarcaciones y los rumbos se representan por su valor en el punto de trazado.
- ✓ Para distancias pequeñas la línea de demarcación se representa por una recta.
- ✓ Para áreas pequeñas se conserva la forma de los accidentes geográficos.
- ✓ El sistema de coordenadas geográficas es rectangular.



2. Las objeciones que tiene son:

- ✓ La escala de distancias no es uniforme.
- ✓ Los polos no tienen representación.
- ✓ En la representación de grandes superficies se acusa distorsión que es más notoria en latitudes altas.
- ✓ No se guarda proporcionalidad en la representación de las superficies para distintas latitudes

Según sea el objetivo requerido, de las cartas para navegación, la escala empleada para su construcción será pequeña, mediana o grande. Los órdenes de valor de las escalas son:

- Escala pequeña: Cartas náuticas, proyección Mercator desde escalas inferiores a 1:1.500.000.
- Escala media: Escalas entre 1:1.500.000 y 1:500.000.
- Escala grande: Escalas mayor de 1:150.000.

La elección de la escala va de acuerdo con el objetivo de la carta como por ejemplo:

- Oceánicas o de travesía: Responden a navegaciones de travesía y gran travesía oceánica. Sus escalas fluctúan entre 1:2.000.000 y 1:750.000.
- De navegación Costera: Responden a navegaciones entre puertos principales. Sus escalas fluctúan entre 1:500.000 y 1:250.000.
- De aproximación o acceso a puerto: Responden a aproximaciones y acceso a puertos, instalaciones y aspectos de seguridad. Sus escalas fluctúan entre: 1:200.000 y 1:60.000.
- De puertos y fondeaderos: Responde a requerimiento de recalada, utilización de instalaciones y zarpe con seguridad. Las escalas son mayores entre 1:50.000.
- De canales o estrechos: Permiten navegar aguas interiores. Sus escalas son mayores de 1:150.000.

### 3.6. Cartas topográficas

Las cartas topográficas a diferencia de las cartas náuticas, representan los principales rasgos físicos, naturales y culturales existentes, casi exclusivamente, sobre el territorio.



Una carta topográfica es la representación de la distribución de los rasgos morfológicos (naturales y artificiales) de una región, en proyección horizontal. Estos rasgos se pueden clasificar en tres grupos principales:

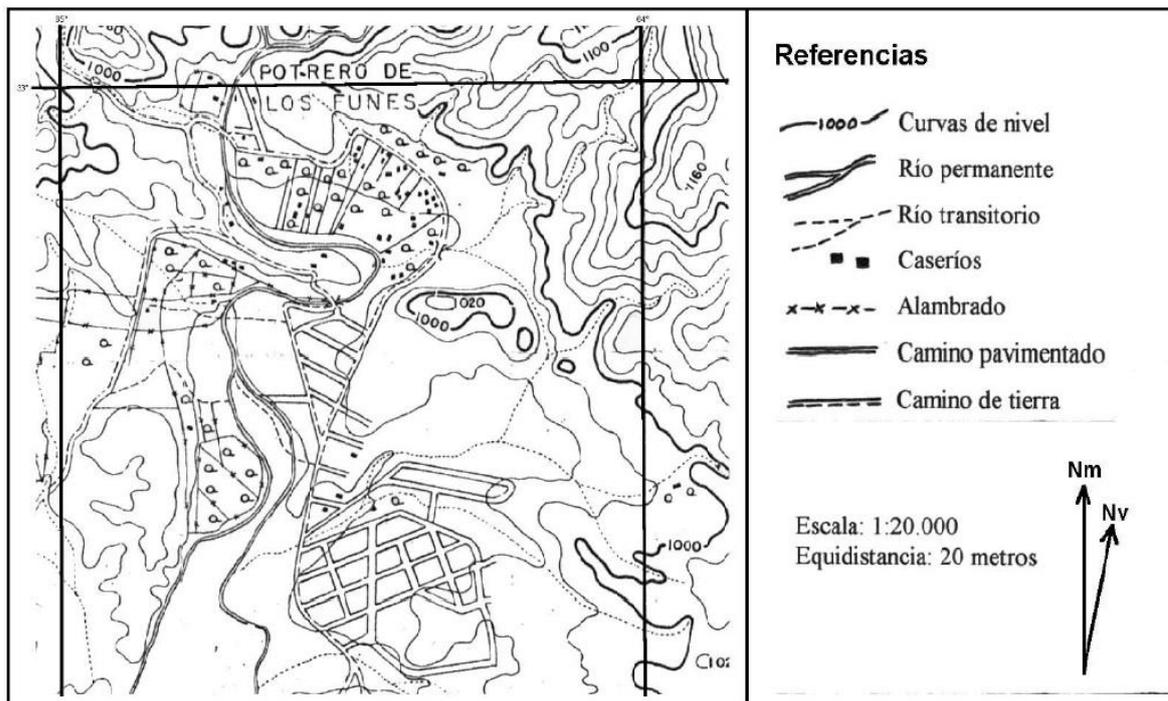
- **RELIEVE:** Comprende los accidentes naturales del terreno que en su conjunto constituyen elevaciones, depresiones, llanuras y que dan origen a serranías, colinas, valles y planicies.
- **HIDROGRAFIA:** Comprende ríos, mares, lagos, lagunas, etc., ya sean cuencas abiertas o cerradas.
- **OBRAS Y CONSTRUCCIONES CIVILES:** Corresponden a rasgos del terreno introducidos por la mano del hombre en el paisaje natural, para satisfacer sus exigencias y comodidades.

Un mapa topográfico es la base de apoyo de todo otro mapa específico (o temático) como por ejemplo: mapas geológicos, mapas de suelos, mapas florofaunísticos, etc. Tales mapas, sirven de apoyo a obras como el trazado de caminos, construcción de puentes, planificación de embalses, vías férreas, emplazamiento de ciudades o pueblos, etc.

A continuación se describe brevemente la información básica que debe formar parte de las cartas topográficas.

- **Título:** Por lo general los mapas topográficos llevan como título el nombre de la localidad más importante localizada dentro del área.
- **Sistema de coordenadas:** La ubicación precisa del área del mapa queda establecida mediante un sistema de coordenadas. La posición de cualquier punto dentro del mismo puede ser calculada mediante los valores de coordenadas (geográficas y/o planas) presentes en los bordes del mapa.
- **Escala:** Todo mapa representa una porción de la superficie terrestre en forma reducida. Debido a ello es necesario establecer una relación entre la medida real de los objetos presentes en el terreno y la medida con la cual ellos han sido dibujados en el papel. La relación de escala permite conocer en qué medida (cuanto) han sido disminuidos los objetos para que puedan caber en el papel. La escala de un mapa puede ser expresada en forma numérica o gráfica.

- Referencias cartográficas: La representación de los elementos del terreno, como el relieve, la hidrografía, las construcciones, etc., se realiza mediante símbolos gráficos. Por ello se requiere explicitar el significado de cada uno de los símbolos a través de la Referencia Cartográfica o Leyenda, como se muestra en la Imagen N°9.
- Orientación: Todo mapa debe constar, para su correcta ubicación, de una grilla de coordenadas geográficas y/o planas. Además debe tener una indicación del Norte a través de una flecha (ver Imagen N°9).



**Imagen N° 9.** Fragmento del mapa topográfico “Potrero de los Funes”, según <http://www0.unsl.edu.ar>

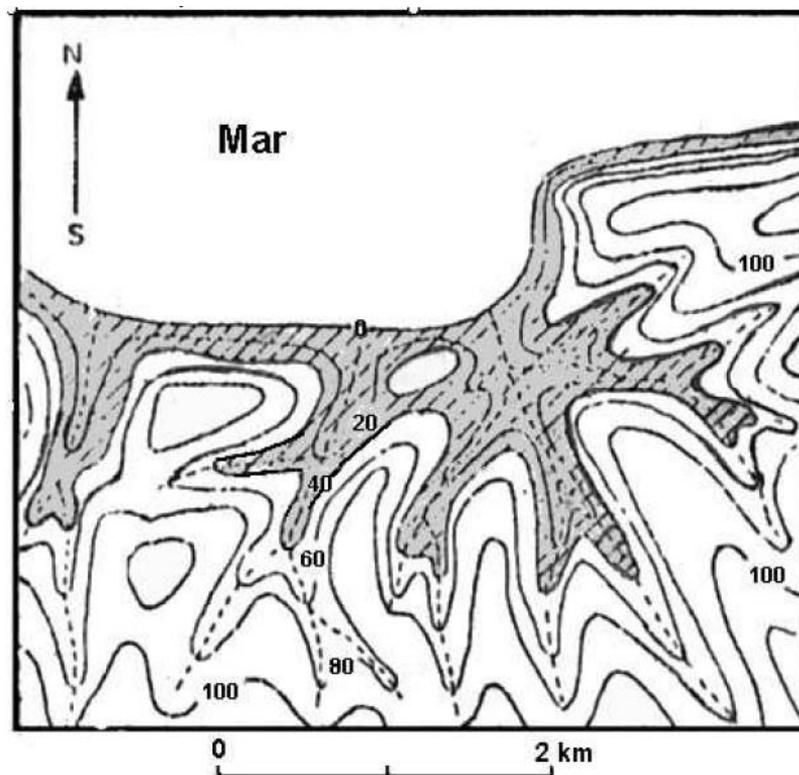
- Representación del relieve: En los mapas topográficos actuales, el relieve se representa mediante líneas que se denominan curvas de nivel o curvas hipsométricas. Dicho sistema es de gran utilidad ya que permite realizar mediciones de alturas y pendientes con precisión.

Existen otros métodos de representación del relieve, como por ejemplo el sistema de trazos de pendientes o el de esfumado, cuya utilización es muy limitada en la actualidad. El sistema de trazos de pendiente se basa en la distinta intensidad de iluminación que recibe un terreno accidentado. Como las superficies horizontales son

más intensamente iluminadas por la luz vertical, estas se representan en blanco, mientras que las inclinadas con tintas más oscuras cuanto más se alejen de la horizontal. El sistema de esfumase se ejecuta con pincel y tiene igualmente en cuenta la iluminación, por lo tanto la magnitud de la pendiente se expresa por la intensidad del color.

### Referencias cartográficas

Curvas de nivel: Las curvas de nivel son las proyecciones sobre un plano horizontal de las líneas que se forman por la intersección de planos horizontales con la superficie del terreno. En un mapa, representa una línea curva que une puntos de igual altitud. (Ver Imagen N°10).

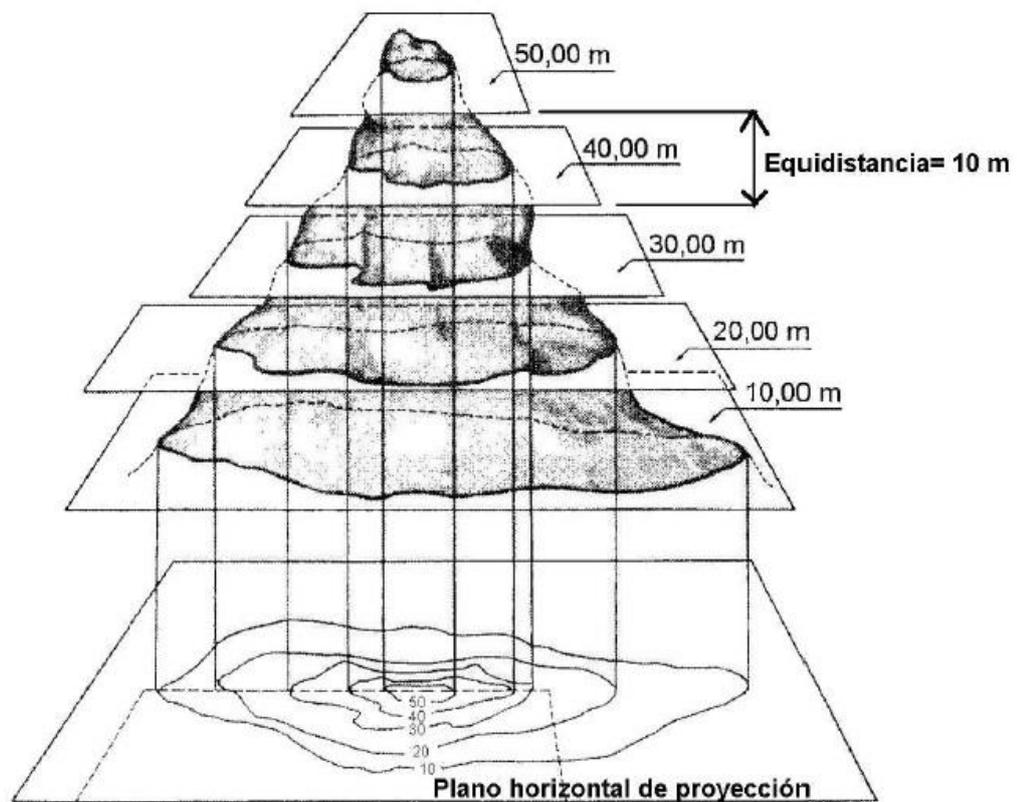


**Imagen N° 10.** Curvas de nivel cuya equidistancia es de 20 metros, las áreas sombreadas son superficies inclinadas, según <http://www0.unsl.edu.ar>

La línea formada por la costa en el momento en que el mar alcanza su nivel medio, se llama curva de nivel de elevación cero o cota cero, pues el nivel medio del mar se toma como nivel de referencia global. Una curva de nivel representando una elevación de 20 m (o cota de 20 m) surge de la intersección de la superficie del terreno con un plano horizontal ubicado 20 m, respecto del nivel del mar.

Si el mar se elevara 20 m, la nueva línea de costa coincidiría con la curva de nivel de 20 m. Del mismo modo, si el mar se elevara 40m, la nueva línea de costa coincidiría con la curva de nivel de 40 m y así sucesivamente. (En este caso la equidistancia de las curvas de nivel es igual a 20 m).

La equidistancia es la distancia vertical entre dos curvas de nivel. Dicho de otra manera, es la diferencia de altura entre los planos horizontales que contienen dos curvas de nivel consecutivas (Imagen N°11).

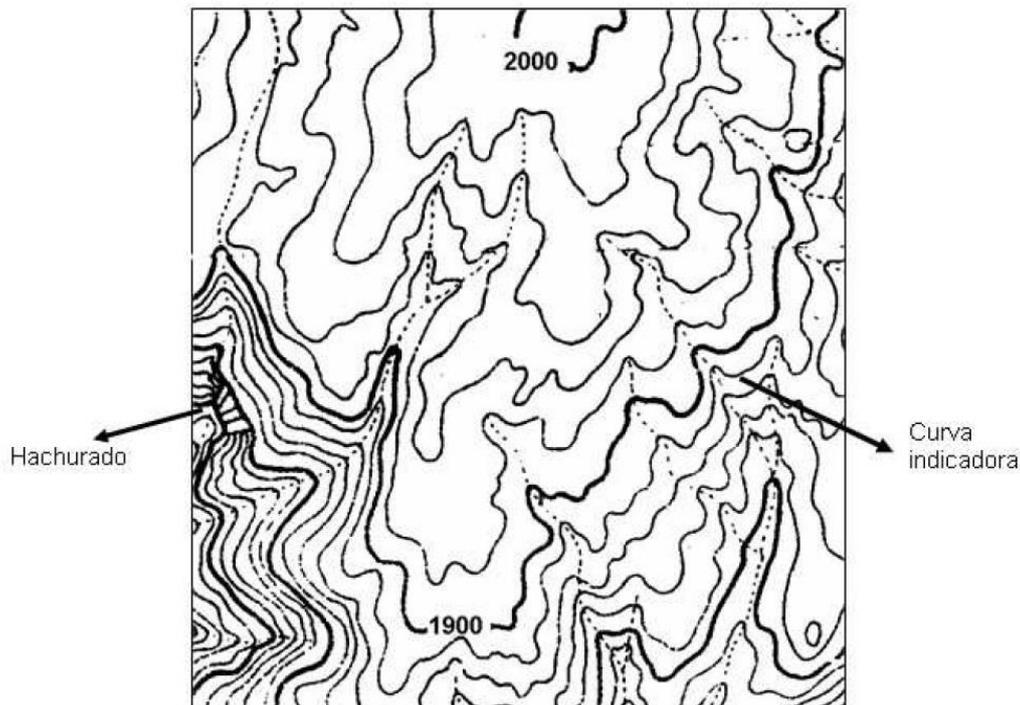


**Imagen N° 11.** Esquema de cortes horizontales al terreno natural con planos equidistantes cada 10 m, según <http://www0.unsl.edu.ar>.

Cuando se construye un mapa topográfico, la equidistancia a utilizar debe ser elegida con cuidado, basándose en las características del terreno. Si se requiere mucho detalle, la equidistancia deberá ser menor. Por ejemplo, en un mapa topográfico de un área de llanura, se puede utilizar una equidistancia de 50 cm, pero en un área montañosa, la equidistancia deberá ser mucho mayor, por ejemplo 100 m.

En un mapa topográfico pueden coexistir curvas de nivel con equidistancias diferentes, esto puede deberse a que dentro del área cartografiada se presentan zonas con relieves muy diferentes, por ejemplo áreas de llanura y áreas de montaña.

A los efectos de hacer más sencilla la lectura e interpretación del relieve, algunas curvas de nivel se imprimen con trazo más marcado que las otras: estas líneas se denominan curvas indicadoras (*Imagen N°12*). Las curvas intermedias, además de estar menos marcadas, con líneas más delgadas, no llevan el valor de la altura, para no recargar el mapa.

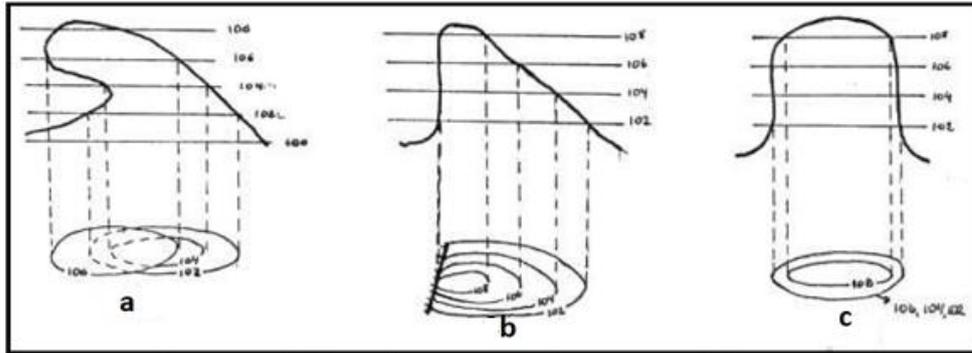


**Imagen N° 12.** Fragmento de un mapa topográfico donde se pueden identificar las curvas indicadoras, según <http://www0.unsl.edu.ar>.

Propiedades de las curvas de nivel:

1) Las curvas de nivel son cerradas: Una curva de nivel de la misma altura que el nivel del mar, será una curva cerrada que circunda el mar.

2- Las curvas de nivel no se cortan: Los planos imaginarios horizontales que interceptan el relieve no se cortan porque siempre son paralelos entre sí. Consecuentemente las curvas de nivel nunca se cortan entre sí. Salvo casos muy hipotéticos por cierto en la naturaleza como los que se muestran en la *Imagen N°13*.



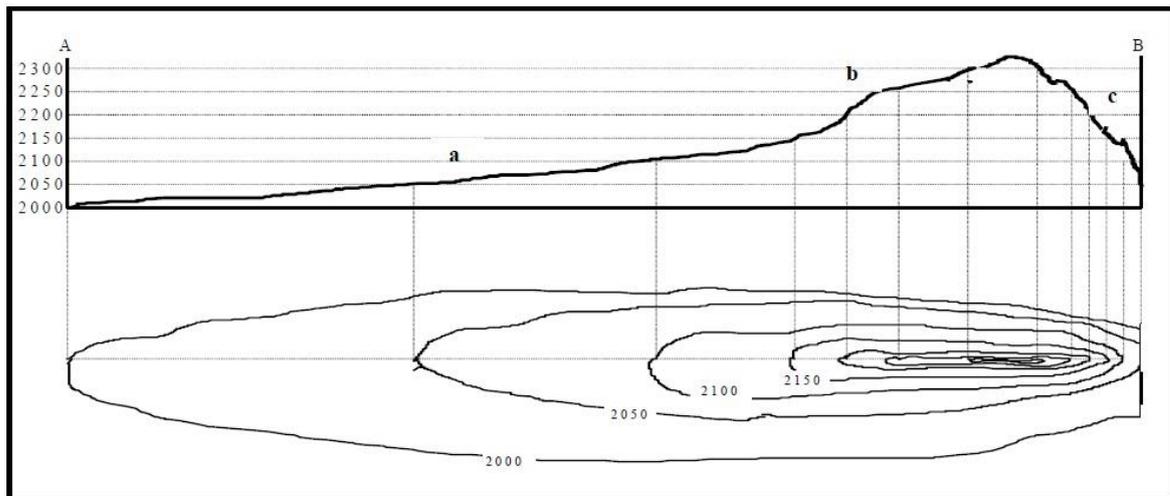
**Imagen N° 13.** Casos excepcionales donde las curvas de nivel se cortan o superponen, según <http://www0.unsl.edu.ar>.

En el primer caso (*Imagen 13a*) observamos que la curva de 106 m cruza a la de 102 m y a la de 104 m, lo que al parecer indicaría que en un mismo punto de la proyección tendríamos un valor de 102 m y 106 m, y de 104 m y 106 m. En el segundo caso (*Imagen. N° 13b y 13c*), en formaciones de paredes verticales, todas las proyecciones de distintas alturas se superpondrían obteniéndose una sola curva.

En zonas donde la pendiente es muy pronunciada, puede ocurrir que las curvas de nivel resultantes se aproximen demasiado entre sí, tornando el mapa ilegible. Para solucionar esto se utiliza el **hachurado** (ver Imagen N°14) que consiste en suplantar las curvas de nivel que se ubican entre las curvas de nivel indicadoras, por líneas perpendiculares.

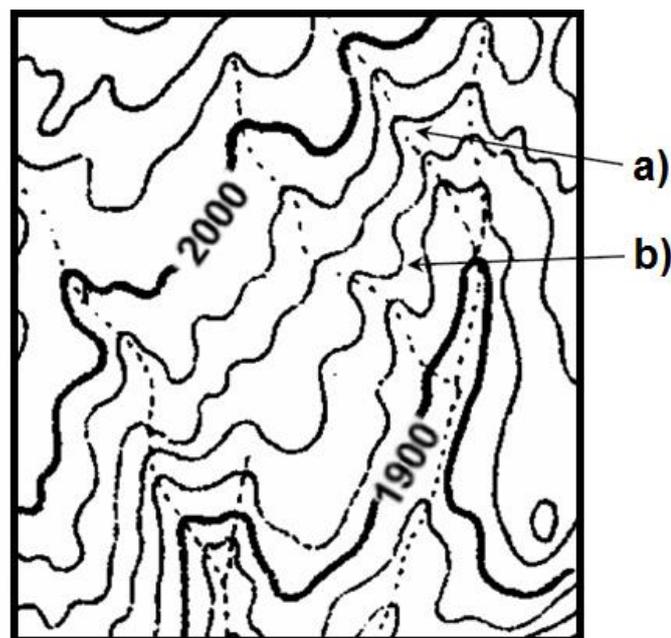
### Interpretación de las curvas de nivel

La lectura de las curvas de nivel permite interpretar, por ejemplo, las características de las **pendientes**. Ejemplo: cuanto menor es la pendiente del terreno, las curvas de nivel se distancian más entre sí y viceversa (*Imagen N°14*).



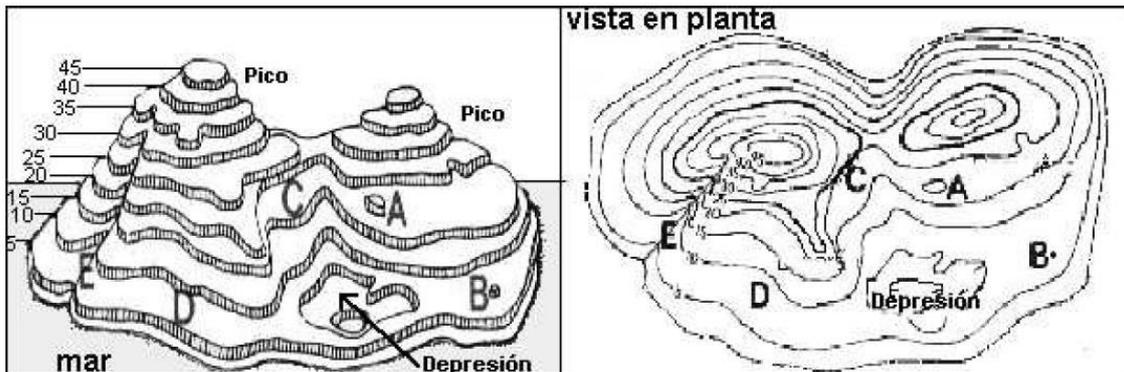
**Imagen N°14.** a) Pendiente suave, b) pendiente moderada y c) pendiente pronunciada, según <http://www0.unsl.edu.ar>.

Además, el análisis de la forma de las curvas de nivel permite distinguir las morfologías de **filos y quebradas** (los primeros son formas positivas, mientras las quebradas son depresiones). Cuando las curvas de nivel cruzan un filo o una quebrada, estas presentan una inflexión generando una forma de “V”. Si el vértice de la “V” apunta aguas arriba (zona de mayores alturas), entonces se debe interpretar el relieve como una quebrada o valle; en cambio, si las curvas de nivel flexionan aguas abajo (zona de menores alturas), representarán filos (*Imagen N°15*).



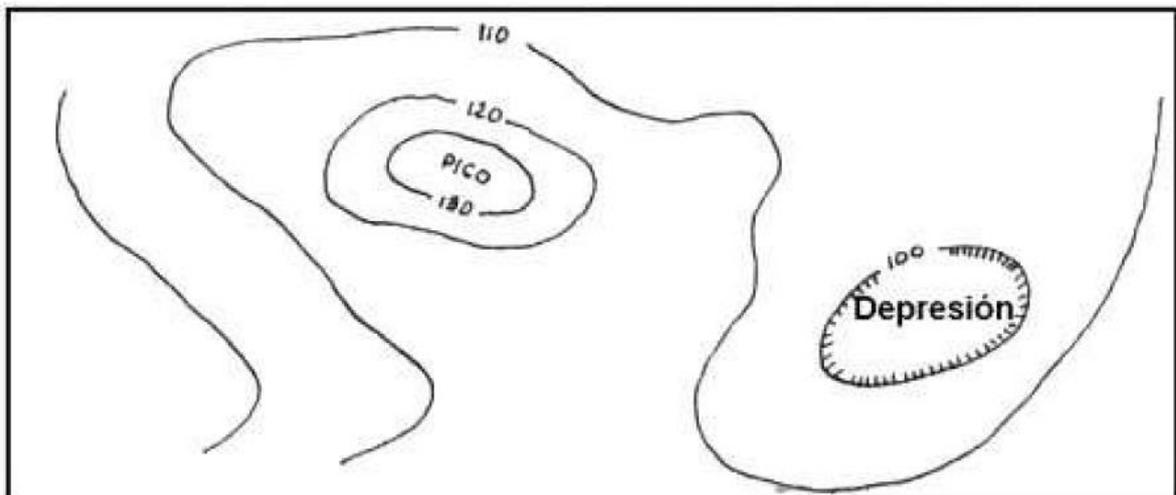
**Imagen N°15.** a) Quebradas o valles, b) filos, según <http://www0.unsl.edu.ar>.

Cuando en un mapa topográfico se observan curvas de nivel cerradas, estas pueden representar picos o domos. Si los valores de las curvas de nivel aumentan hacia el centro, corresponde a un domo (*Imagen N°16*), en cambio si los valores disminuyen hacia el centro, se trata de una depresión.



**Imagen N° 16.** Pico y depresión, según <http://www0.unsl.edu.ar>

En el caso de depresiones, la última curva de nivel puede tener marcas perpendiculares a la curva (curvas de forma) para señalar la presencia de la depresión, como se muestra en la *Imagen N°17*.



**Imagen N°17.** Elevaciones y depresiones en un mapa topográfico, según <http://www0.unsl.edu.ar>



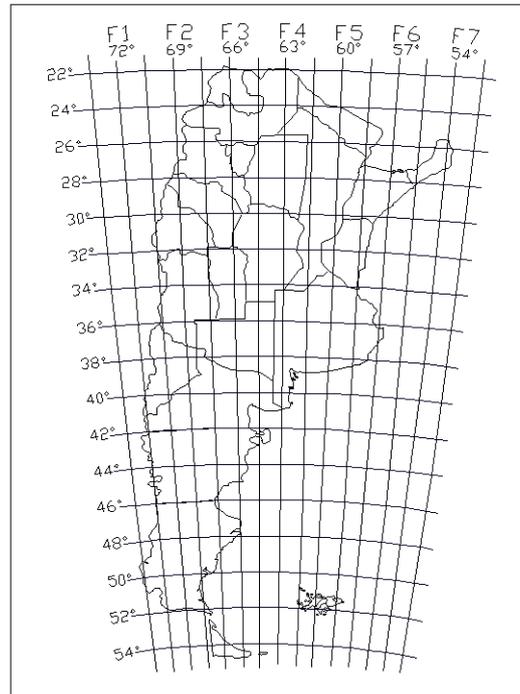
## Proyección Gauss Krüger. Generalidades

La proyección de las cartas topográficas en la Argentina es Gauss- Krüger. La proyección Gauss Krüger utiliza como superficie de desarrollo un cilindro tangente a lo largo de un meridiano. A 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 Argentina, el antiguo Instituto Geográfico Militar adoptó este sistema, fijando siete fajas cuyos meridianos centrales y límites de las fajas se presentan en la Tabla 1.

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 1.** Fajas Gauss Krüger utilizadas en la República Argentina.

Como puede apreciarse en la Tabla 1, la cifra que indica los millones de esta coordenada indica el número de faja en la que se encuentra el punto proyectado. En la imagen N°18, se representan las fajas (equiespaciadas 3°) correspondientes al territorio de la República Argentina.



**Imagen N°18.** Imagen de las fajas de la proyección Gauss Krüger. (S.I.A.T, 2000)

### 3.7. Geoide

La definición clásica de geoide dada por Gauss-Listing dice que el geoide es una superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre que coincide con el nivel medio del mar. Hoy en día, esta definición no se considera estrictamente correcta ya que el nivel medio del mar se separa de la superficie equipotencial en hasta dos metros debido a fenómenos hidrológicos, meteorológicos y oceanográficos, como cambios en la salinidad (Hofmann-Wellehof y Moritz, 2005), temperatura variable, la superficie topográfica instantánea del mar. La Geodesia Física es la ciencia que estudia el geoide. Está constituida por aquellas teorías y métodos encaminados a la determinación del geoide, mediante un análisis del problema de contorno de la teoría del potencial. Las propiedades del potencial gravitacional terrestre son:

Para una masa puntual:

$$V = Gm/l \quad (3)$$

$V$ : potencial

$G$ : constante de gravitación universal

$m$ : masa

$l$ : distancia

- Para una distribución continua de masa (un cuerpo sólido):

$$V = G \iiint_M \frac{dm}{l} \quad (4)$$

$V$ : potencial

$G$ : constante de gravitación universal

$dm$ : diferencial de masa

$l$ : distancia

- El valor del potencial  $V$  cuando  $l$  tiende a infinito se anula:

$$\lim_{l \rightarrow \infty} V_l = 0 \quad (5)$$

$V$ : potencial

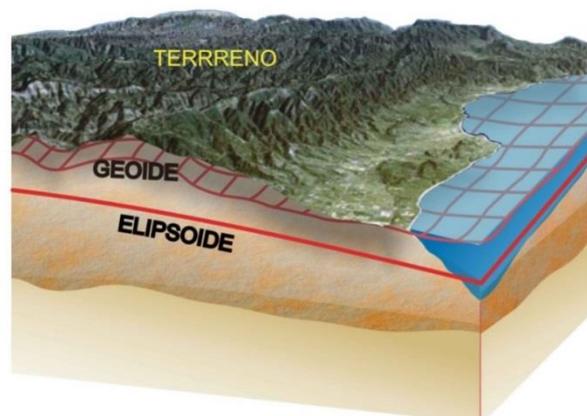
$l$ : distancia

- En cada punto exterior a las masas atrayentes el potencial gravitacional satisface la ecuación de Laplace:

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \quad (6)$$

$V$ : potencial

La presencia de continentes que se elevan y sobresalen del nivel medio del mar determina que el geoide se introduzca y ondule por debajo de las masas continentales siguiendo en forma atenuada a la topografía, ver imagen 19. (Introcaso, 2006).



**Imagen N°19.** Representación del geoide como superficie equipotencial, del elipsoide como superficie matemática más cercana y del terreno natural. (Introcaso, 2006).

La utilidad principal del geode es establecer la superficie de referencia de las alturas ortométricas, conocidas también como alturas sobre el nivel medio del mar y se aplican en trabajos de ingeniería topográfica, cartografía, GPS aerotransportado, apoyo terrestre para fotografía aérea y como un insumo para la generación de modelos digitales de elevación.

La manera de transformar el valor de altura elipsoidal ( $h$ ) que proporciona un receptor GPS en un valor de altura ortométrica ( $H$ ), es mediante la resta del valor de la ondulación geoidal ( $N$ ) dada por un modelo geoidal, (Ver Imagen N°20).

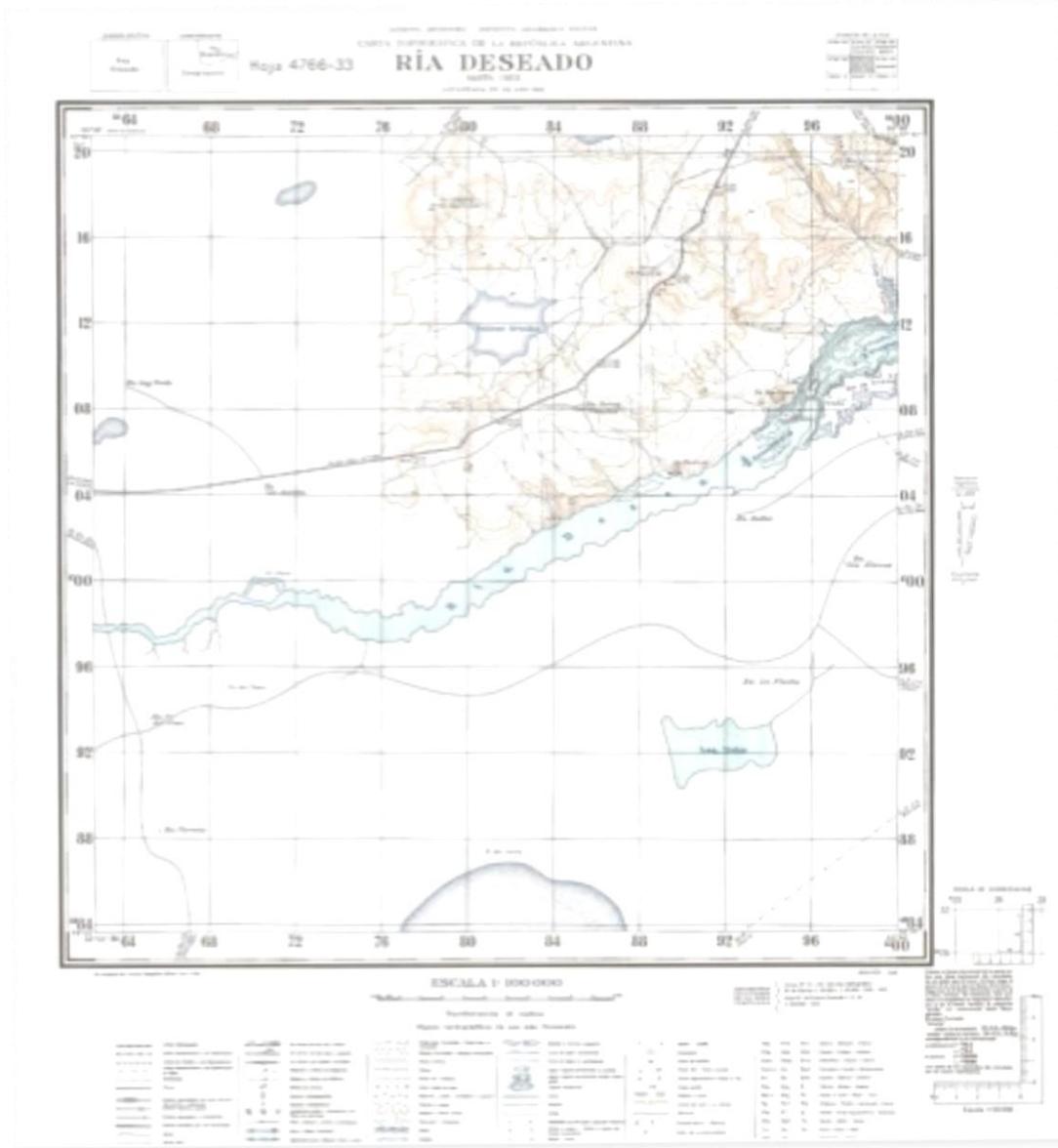


**Imagen N° 20.** Ondulación del geode  $H=h-N$ . (Introcaso, 2006).

## CAPÍTULO 4 DATOS

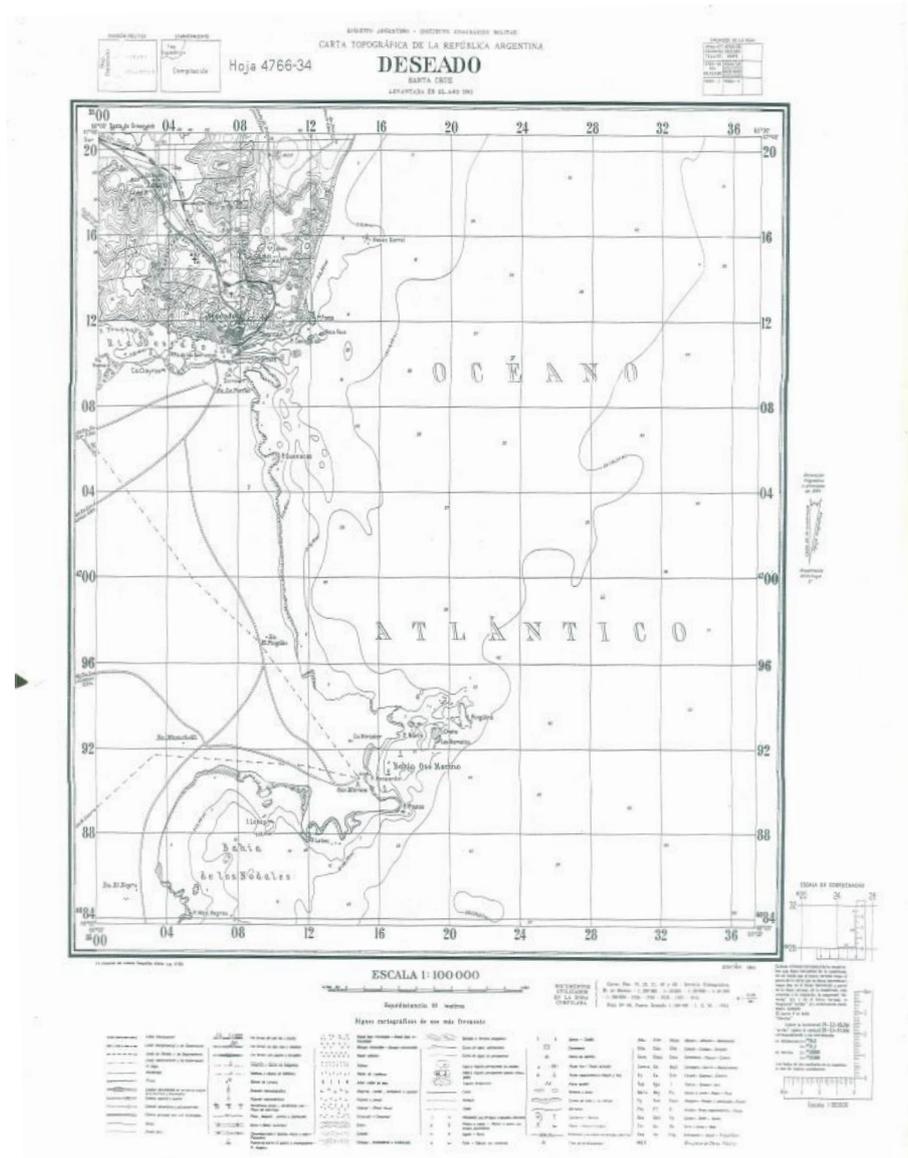
### 4.1. Cartas topográficas

Las cartas topográficas utilizadas fueron las Hojas 4766-33 (Imagen N°21) y 4766-34 (Imagen N°22), cedidas por el Instituto Geográfico Nacional, para la realización de esta tesis.



**Imagen N° 21.** Carta topográfica hoja 4766-33, Ría Deseado, de la provincia de Santa Cruz.

Sus escalas son de 1: 100.000. Las ediciones son de 1943 para la Hoja 4766-33 y 4766-34. Sus últimas actualizaciones son del año 1944. Las mismas están representadas en coordenadas planas Gauss- Krüger en faja 3; cubren el área desde 47°40´S, hasta 47°40´S y de 66°30´W a 66°00´W, para la hoja 476-33 y 47°40´S, hasta 47°40´S y de 66°00´W a 65°30´W, para la hoja 476-34. Las alturas están representadas en metros con una equidistancia de 10 m.



**Imagen N°22.** Carta topográfica hoja 4766-34, Ría Deseado, de la provincia de Santa Cruz.



## 4.2. Restituciones Aéreo-fotogramétricas

Para este trabajo se utilizaron restituciones Aéreo-fotogramétricas como se puede ver en las imágenes 23, 24 y 25. Las tres son del año 1968, restituidas en marzo de 1983 y una equidistancia de 5 m. La imagen número 23 y 24, son del año 1968, restituida por el departamento de fotogrametría del Servicio Hidrográfico Naval, tiene una escala de 1:20.000. La imagen 25 es una restitución planimétrica, realizada por la división fotogramétrica, con una escala de vuelo 1:20.000 y fecha de vuelo en octubre de 1999.

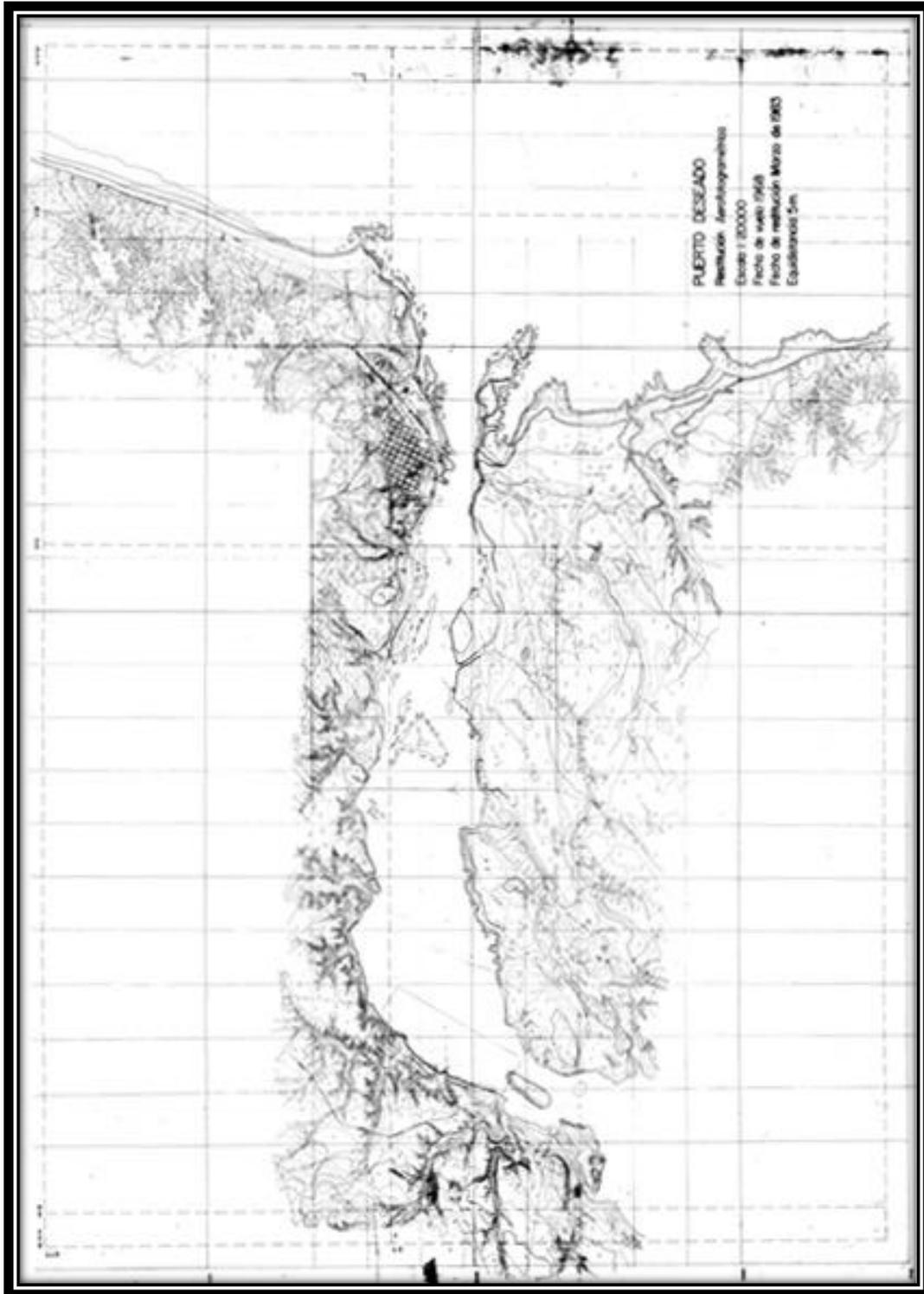
La carta 4766-33, no dispone de información del sur del Río Deseado, por esta razón se recurrió a antiguas restituciones de fotografías aéreas, realizadas por el SHN, con el objetivo de completar la información necesaria para elaborar un MDE de la zona de interés.

Las restituciones fotográficas tuvieron una planificación con una elevada superposición tanto longitudinal (60%) como lateral (10%). Esto implicó que en un mismo punto del terreno haya varias fotos. Los vuelos se ejecutaron en función de la planificación y con los instrumentos adecuados para obtener las coordenadas del centro de toma y valores angulares.

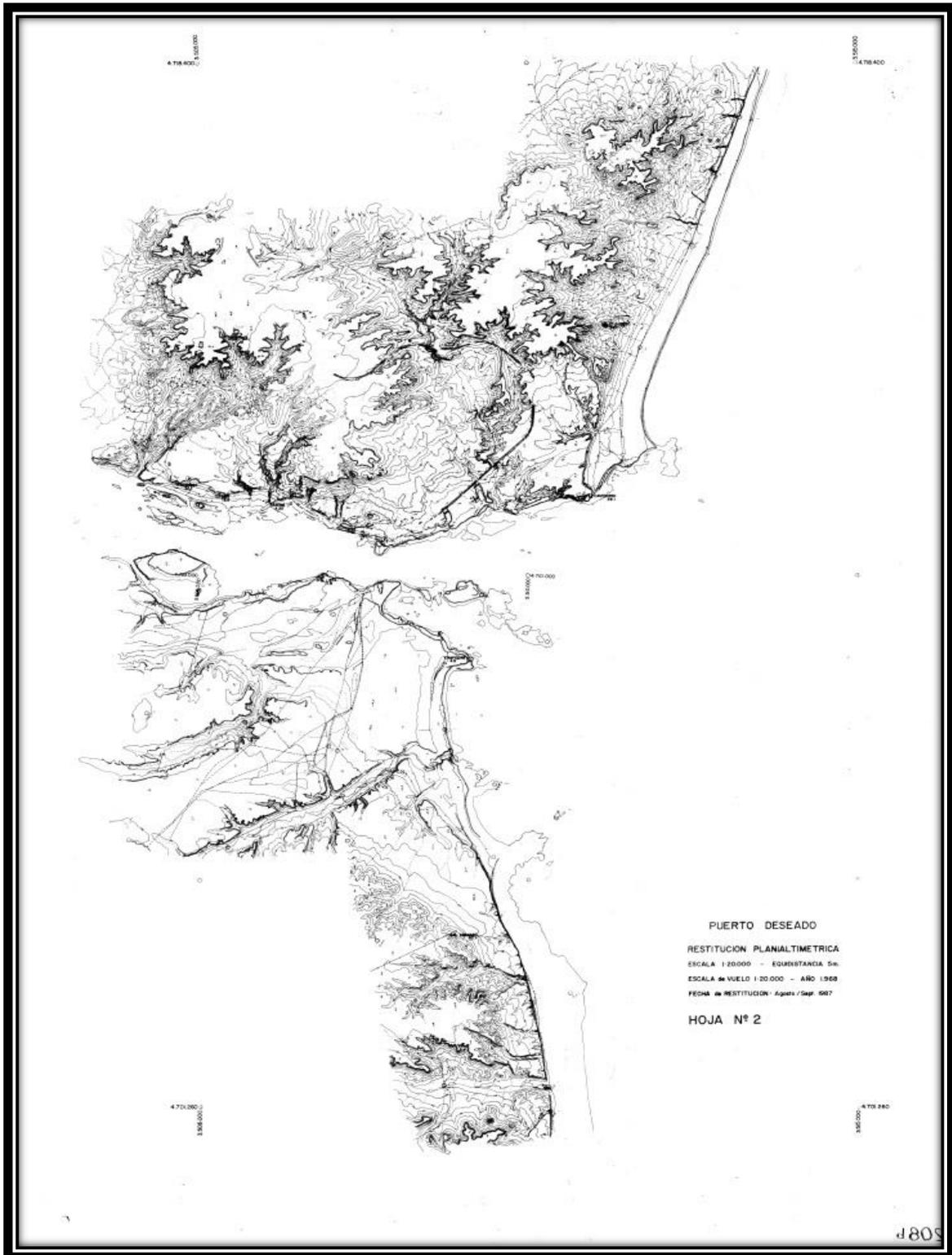
Para estos vuelos se utilizó la cámara fotogramétrica Leica RC30, reconocida por su calidad y fiabilidad a largo plazo. El modelo RC30 dispone de dos lentes intercambiables, velocidades de obturación de 1/100 a 1/1000 por segundo. Esta cámara puede compensar movimiento que produce fotografías más claras a bajos niveles de luz y altitudes.

De las restituciones utilizadas para la generación del "Modelo Digital de Terreno" (MDT) se capturaron: puntos acotados, curvas de nivel, líneas estructurales (líneas de quiebre) o zonas de exclusión (lagos). Luego de la necesaria edición de dicha digitalización se obtiene entonces una representación modelada del terreno a nivel del suelo.

El sistema de coordenadas de las mismas fue el sistema oficial de la época (CI, Campo Inchauspe), representadas en coordenadas planas o proyectadas Gauss-Kruger. Las correcciones para convertir las coordenadas CI en WGS84 se obtuvieron de la publicación S-60 de la OHI.



**Imagen N° 23.** Restitución fotogramétrica 208A de la Ría Puerto Deseado en sentido E-W.



**Imagen N°24.** Restitución fotogramétrica 208B de la Ría Puerto Deseado en sentido N-S.

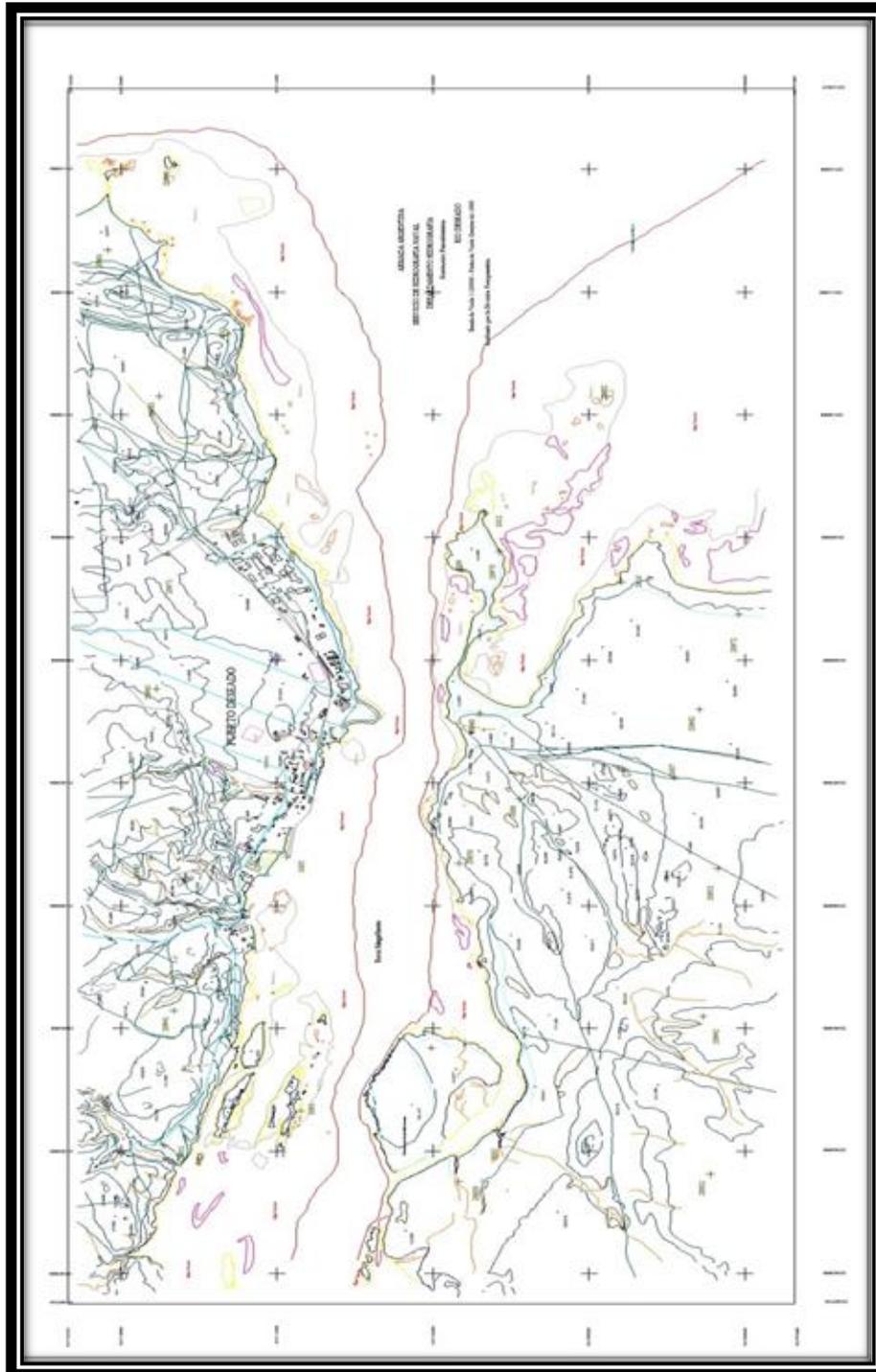
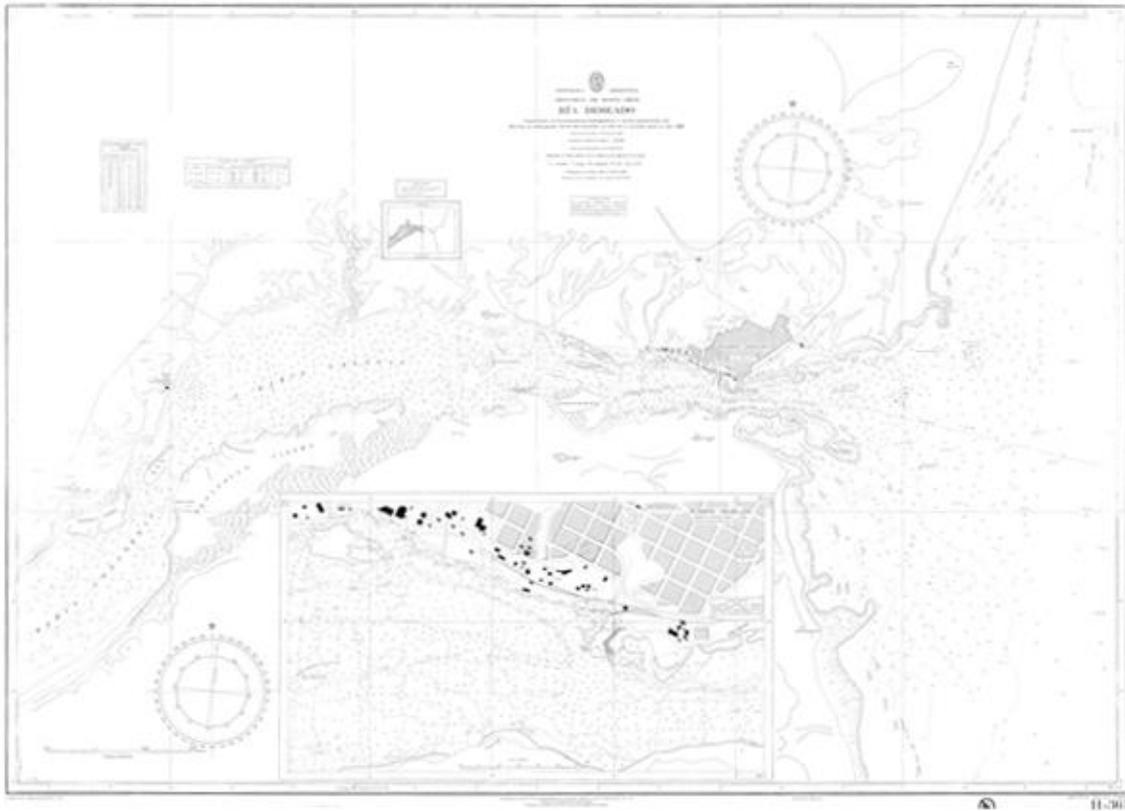


Imagen N° 25. Digitalización de la restitución del vuelo realizado en el año 1999 por el Servicio de Hidrografía Naval.

### 4.3. Carta Náutica

La carta náutica empleada para este trabajo es la H-361, (*Imagen 26*) Ría Deseado, de la provincia de Santa Cruz. Esta carta tiene una escala de latitud media de 1:20.000, y su proyección es Mercator. Sus profundidades están representadas en metros y referidas al límite inferior de las bajamares de sicigias, las elevaciones están en metros sobre el nivel medio. Fue publicada en 1971 por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN), y es una compilación de levantamientos hidrográficos y aéreo-fotogramétrico del SHN, reimpressa en agosto 2011. Esta carta papel, cubre el área desde 47°41'30"S, hasta 47°41'30"S y de 66°05'30"W a 65°47'30"W.



**Imagen N° 26.** Carta Náutica H-361 de la Ría Deseado.



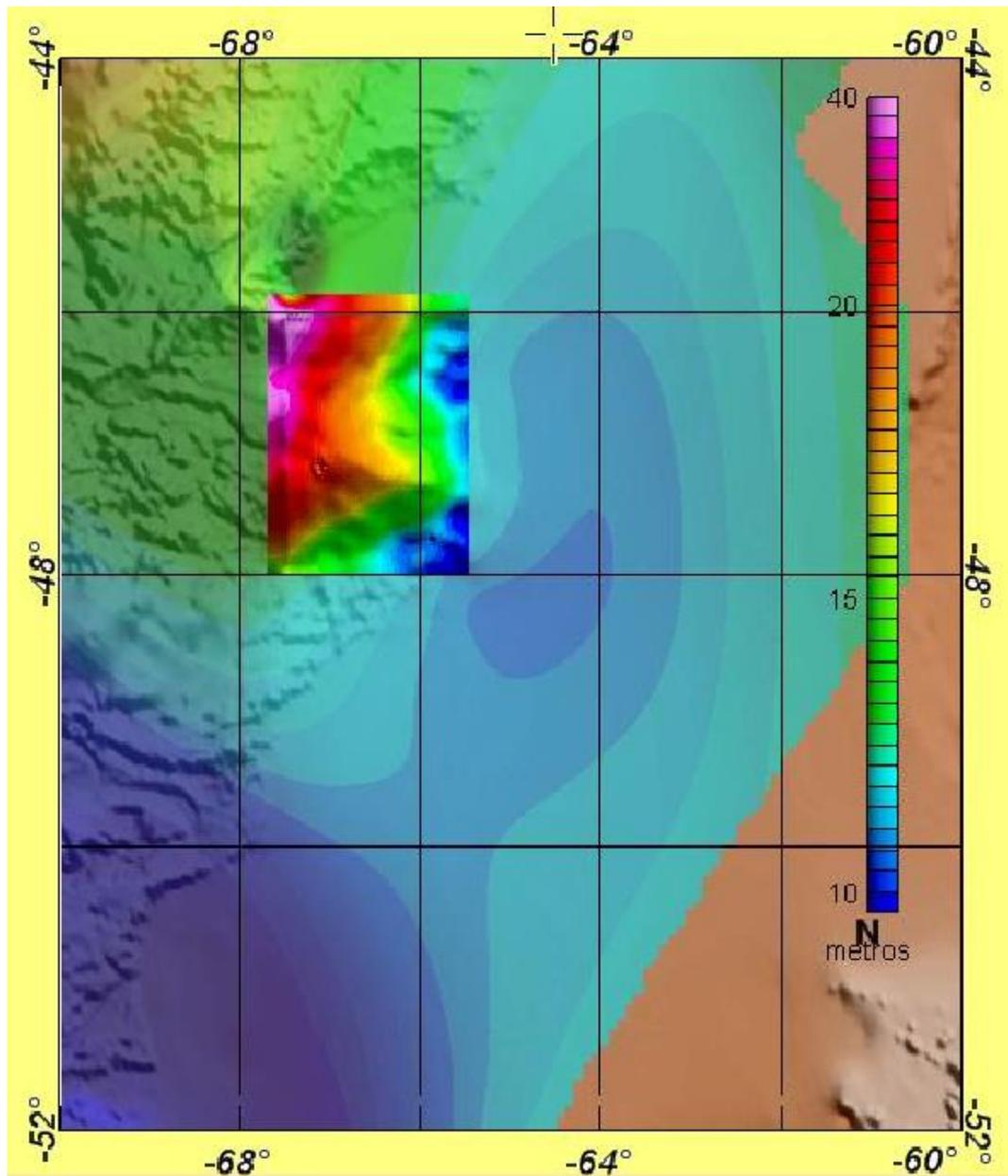
#### 4.4. Geoide

##### Geoide Local

El modelo de geoide local que se utiliza en esta tesina fue cedido por los autores (Oreiro et al., 2010) en formato digital publicado en la XXV reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas (AAGG), en la ciudad de Córdoba en el año 2010 (ver Imagen 27). El modelo de geoide consiste en una grilla regular en coordenadas geográficas WGS84 materializado en un archivo de texto. Este modelo regional de geoide fue vinculado a la red mareográfica del SHN mediante una nivelación corregida por gravedad. Este geoide puede ser empleado en la reducción de sondeos utilizando el procedimiento GPS Cinemático en Tiempo Real (RTK).

La zona que cubre el geoide se halla comprendida entre Comodoro Rivadavia y Puerto Deseado en la Patagonia Argentina. En el puerto de esta última localidad se encuentran un mareómetro y un mareógrafo de la red del SHN. El modelo de geoide local se obtiene de la combinación de diversos modelos de geoides. Uno de ellos es el modelo global de EGM2008, generado recientemente con las técnicas más avanzadas y la mejor base de datos disponible hasta 2008. Dicho modelo proviene del empleo del método de la integral de Stokes, la cual se muestra como una herramienta eficiente para alcanzar el objetivo previsto. También se utiliza un modelo de gravedad de longitud de onda media, Geoide Argentino (GAR) cuyas correcciones del terreno se han calculado de un modelo digital del terreno basado en la SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de 90 m de resolución. Estas correcciones se utilizaron para obtener los residuos de las anomalías de gravedad. Finalmente, el geoide local utiliza las ondulaciones del geoide correspondientes a puntos situados en el área de estudio, obtenidas por GPS/nivelación en campañas realizadas a tal efecto. El geoide GAR y el modelo de EGM2008 se comparan con las ondulaciones del geoide calculadas en los puntos GPS/nivelación. A partir de esta combinación se obtiene un nuevo geoide que presenta un mejor ajuste que los modelos individuales, debido a que se incorporan ondulaciones de larga, media y muy corta longitud de onda.

La precisión del mismo es aceptable para levantamientos hidrográficos según indican las normas de la Organización Internacional Hidrográfica en el Manual de Hidrografía (Publicación C-13), los Estándares Mínimos para Levantamientos Hidrográficos.



**Imagen N°27.** Modelo del Geoide local para la aplicación del sistema RTK en levantamientos hidrográficos, *tomado de Oreiro et. Al. 2010.*



El ajuste final combinando el modelo geopotencial EGM2008 de  $10' \times 10'$  (producido por gfz-potsdam), el Geoide Argentino (Corchete et al. 2007) y las ondulaciones locales medidas mediante el método geométrico (GPS/nivelación) considerando la zona de estudio entre los  $33^{\circ}20' - 34^{\circ}40' S$  y  $59^{\circ}40' - 58^{\circ}21' W$ , arrojó una desviación standard, entre el modelo geométrico (GPS/nivelación) y el GAR de  $\pm 0,10 m$ . Para el caso entre el modelo geométrico y el modelo global, como era de esperar, en todos los puntos relevados las diferencias fueron positivas alrededor de  $0,17 cm$ . Los resultados fueron satisfactorios.



## CAPÍTULO 5      **METODOLOGÍA**

La información de base para la elaboración de un MDE consiste, en su forma más simple, en puntos a los cuales se les conoce su posición planimétrica y su elevación;

Para la elaboración del MDE de la ría de Puerto Deseado se utilizó la técnica indirecta de información básica, utilizando las fuentes mencionadas en el Capítulo 4. Dada la heterogeneidad de las fuentes utilizadas fue necesario realizar un proceso de unificación que requirió de una serie de tareas tales como

- el escaneo de las cartas papel y las restituciones fotogramétricas,
- la georreferenciación de los escaneos, antes mencionados,
- la digitalización del contenido necesario de las fuentes
- transformación teniendo en cuenta los sistemas de referencia horizontal (WGS84) y vertical de origen.

Por otra parte también fue necesaria la conversión del modelo de geoide al sistema unificado.

La georreferenciación estuvo apoyada tanto en los canevas de cada fuente como en puntos cuyas coordenadas fueron tomadas en campañas geodésicas del Instituto de Geodesia y Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (IGGA). La digitalización estuvo centrada en las curvas de nivel, puntos notables, la línea de costa, las isobatas de la batimetría, datos culturales como el tramado del amanzanamiento de parte de la ciudad y de edificaciones portuarias. Para la georreferenciación, digitalización, grillado, unificación de datos y preparación del MDE se utilizaron los programas gvSIG y GMT.

### 5.1. Escaneo

Todas las cartas se encuentran en formato digital, pero se adquirieron en formato papel. Las cartas topográficas hoja 4766-33 y hoja 4766-34, carta náutica H-361 y las restituciones aero-fotogramétricas 208A en sentido E-W y la restitución 208B en sentido N-S, se adquirieron en formato papel.

El Instituto Geográfico Nacional ofrece el servicio de escáner fotogramétrico de alta precisión que permite la digitalización de negativos, diapositivas o cualquier tipo de original transparente con la mayor calidad radiométrica y geométrica, permitiendo diferenciar hasta los tonos más sutiles entre las sombras.



**Imagen N°28.** Escáner

Kyocera Mita KM - 4850W.

Como no están en ventas en formato digital las cartas H4766-33 y la H4766-34, al igual que la carta náutica y las restituciones, el Instituto Geográfico Nacional no permite utilizar su escáner. Por este motivo se optó por escanear a cada una con un escáner tradicional. En este caso se utilizó con el equipo Kyocera Mita KM - 4850W en blanco y negro con una resolución de 300 dpi, (ver imagen nº 28). El formato de escaneo original es TIFF monocromo. Se obtuvieron cinco archivos .TIFF dos de las cartas topográficas, dos de las imágenes de las restituciones de vuelos y uno de la carta náutica.

Una de las características más destacadas de este escáner es la que permite controlar la geometría en tiempo real, aprovechando la redundancia de los bordes superpuestos de las bandas. Gracias a este sistema el R.M.S. la precisión supera ampliamente los errores que se esperan obtener considerando las escalas de las cartas topográficas, restituciones y la carta náutica.

## 5.2. Georreferenciación

La georreferenciación de las imágenes resultantes del escaneo tiene dos objetivos. Por un lado se realiza la corrección de la deformación originada por el proceso del escaneo, al no ser el “escáner preciso”, y por otro se refieren a un mismo sistema de referencia horizontal todas las fuentes, teniendo en cuenta que no se encuentran en un mismo sistema de referencia ni en la misma proyección. Este proceso se realiza a partir de las coordenadas planas y geográficas impresas en el canevas de la carta o restitución.

El sistema de referencia al que se refirieron todas las digitalizaciones fue a WGS 84 y la proyección es Gauss Krüger faja 3. Se utilizó el programa gvSIG para la georreferenciación. La tarea se desarrolló de la siguiente forma:

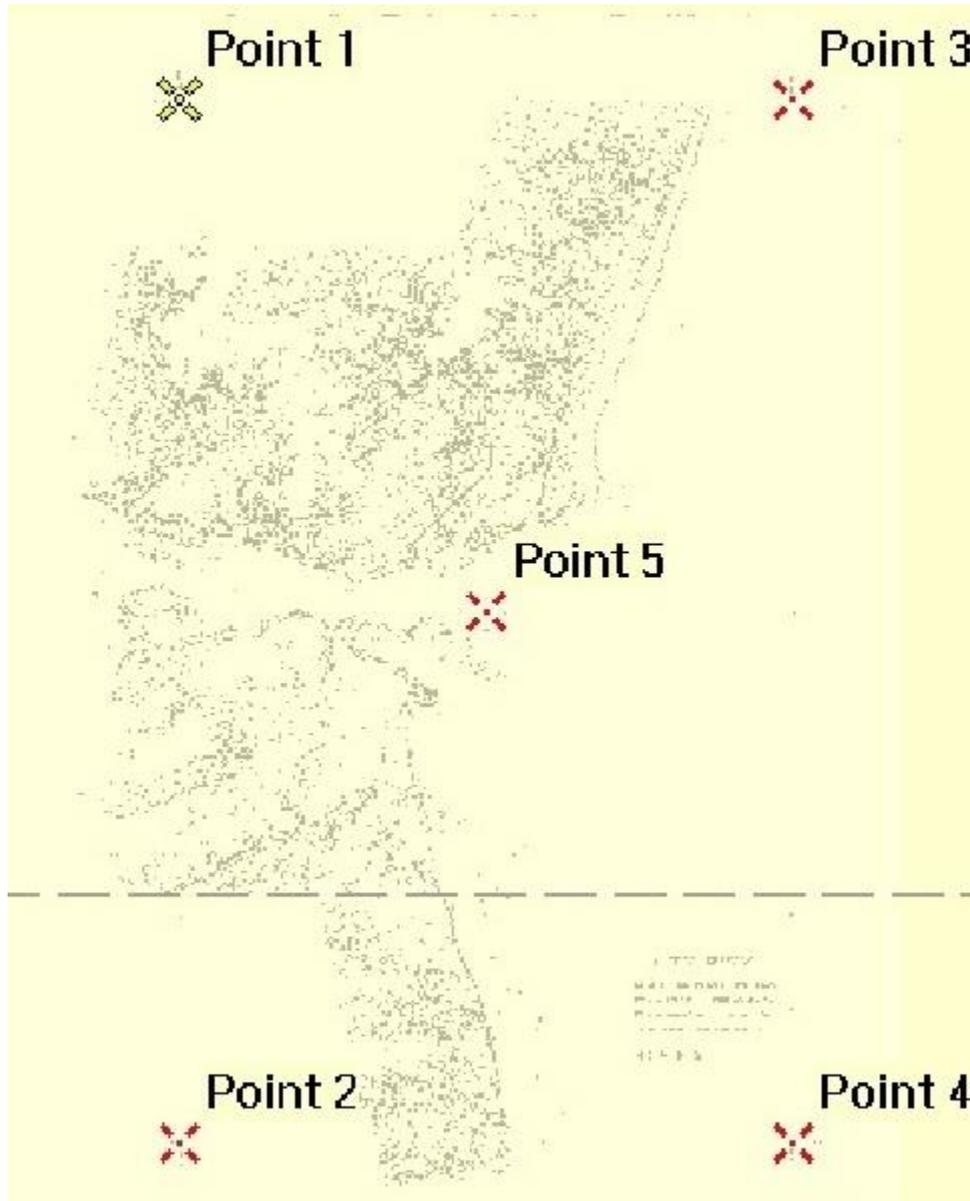
- En las cartas topográficas se tomaron todos los puntos de intersección del canevas (ver Imagen 29), alrededor de 35 puntos, teniendo en cuenta las coordenadas planas y geográficas. También se utilizaron los puntos de las campañas geodésicas del Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas (IGGA) como control de la georreferenciación.



**Imagen N°29.** Georreferenciación de una carta topográfica.

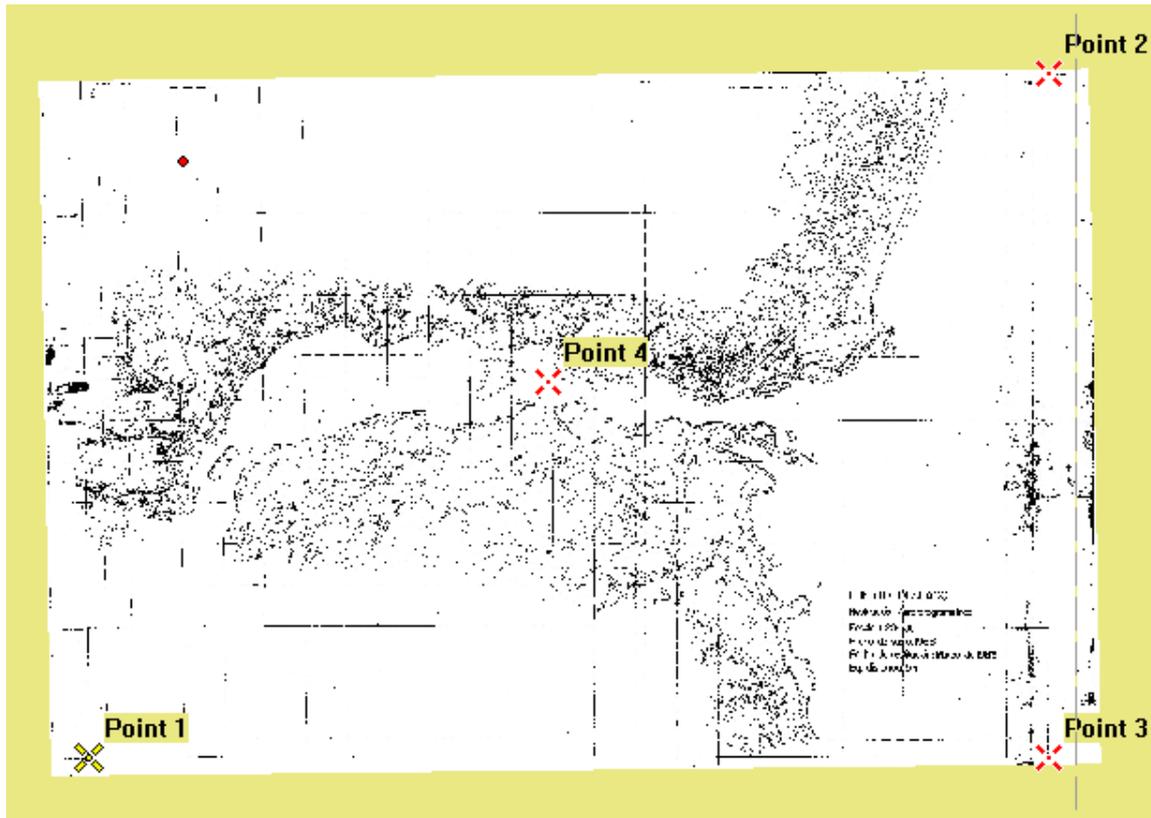


- La carta náutica se encuentra en proyección Mercator. Las coordenadas geodésicas de su grilla de coordenadas se encuentran en el sistema de coordenadas oficial de la República Argentina, Campo Inchauspe, es decir, en un sistema local de referencia. En la operación de georreferenciación se tuvo en cuenta la migración de las coordenadas del dátum local al dátum global elegido para la realización del MDE en Puerto Deseado (WGS84). Para la georreferenciación se tomaron cinco puntos distribuidos en forma uniforme en toda la carta, dos al Norte, dos al Sur y uno en el centro de la carta, se corrigió 0.12' Norte y 0.15' al Oeste como indica la carta, para que coincida con el sistema de referencia global WGS84.
- En el caso de los vuelos se utilizó la misma metodología considerando que se encuentran en coordenadas planas Gauss- Kruger faja 3, provenientes del sistema geodésico Campo Inchauspe. Se utilizaron de 5 a 6 puntos según el vuelo (ver Imagen 30 y 31) la información que proveen. Es decir, se cargaron las imágenes en gvSig, y para georreferenciarlas, se tomó en cuenta los cinco puntos con coordenadas conocidas que tenía cada imagen, una vez que se realizó la georreferenciación a cada imagen se prosiguió con la digitalización de las curvas y la línea de costa. De esta manera se realizó todo el trabajo quedando toda la información en un mismo sistema de proyección.



**Imagen N° 30.** Georreferenciación de una restitución del vuelo 208B en sentido N-S.

Análogamente, a la georreferenciación realizada para los anteriores, con el programa GvSig, se realizó la georreferenciación para las restituciones (vuelo 208 A y B) tomando los puntos notables de la carta, dos inferiores, dos superiores y uno central.



**Imagen N°31.** Georreferenciación de una restitución del vuelo 208A en sentido E-W.

### 5.3. Digitalización

La digitalización es el proceso mediante el cual, partiendo de una señal analógica u óptica, como una imagen, se obtiene una representación de la misma en formato digital. El proceso de digitalización consiste en una conversión de información analógica a digital, con el propósito de facilitar su procesamiento (codificación, compresión, etc.). En la tesis se realiza una digitalización vectorial, en donde se obtuvieron coordenadas de puntos o líneas. La digitalización se realizó en el programa gvSIG para los puntos con información altimétrica (cotas aisladas) y también para curvas de nivel de interés.

En cada fuente se digitalizó la información más relevante y sobresaliente para la confección del MDE. En todos los casos se tuvo en cuenta la distancia vertical entre el dátum de la carta y el dátum del modelo. Las profundidades de la carta náutica están referidas al nivel medio de las bajamares de sicigias el cual está a 3.20m respecto del nivel medio del mar. Las cotas y curvas de nivel de las cartas topográficas están referidas al nivel medio del mar (ver imagen N° 32 y 34).



En el caso de las restituciones de los vuelos fotogramétricos el proceso fue más complejo debido a la gran cantidad de información que exhibían. Se digitalizó la línea de costa, los puntos notables y las curvas de nivel, que presentan una equidistancia de 5 m, lo que permite tener más detalle de la zona de trabajo (ver Imagen 33).

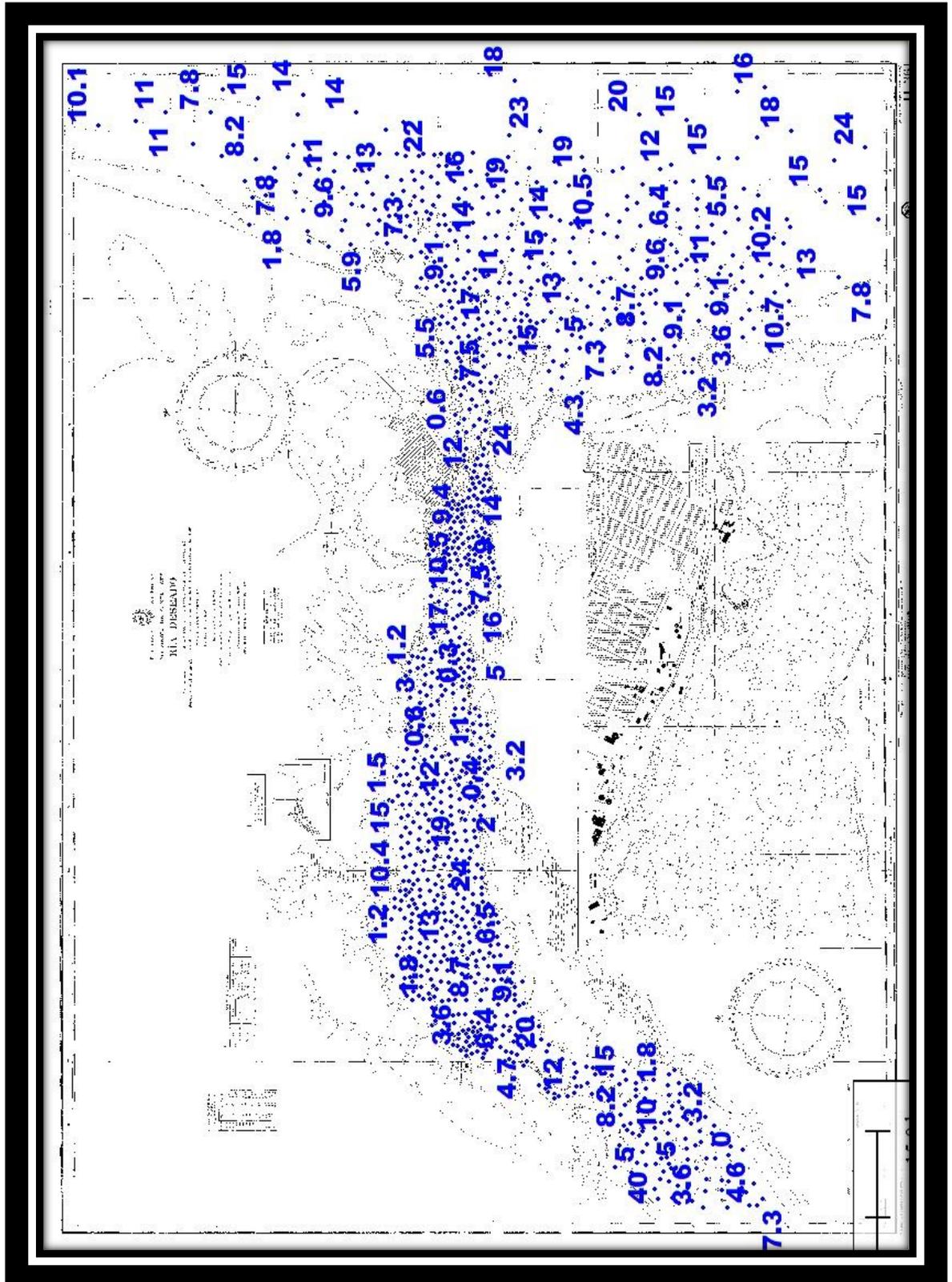


Imagen N°32. Digitalización de la carta náutica

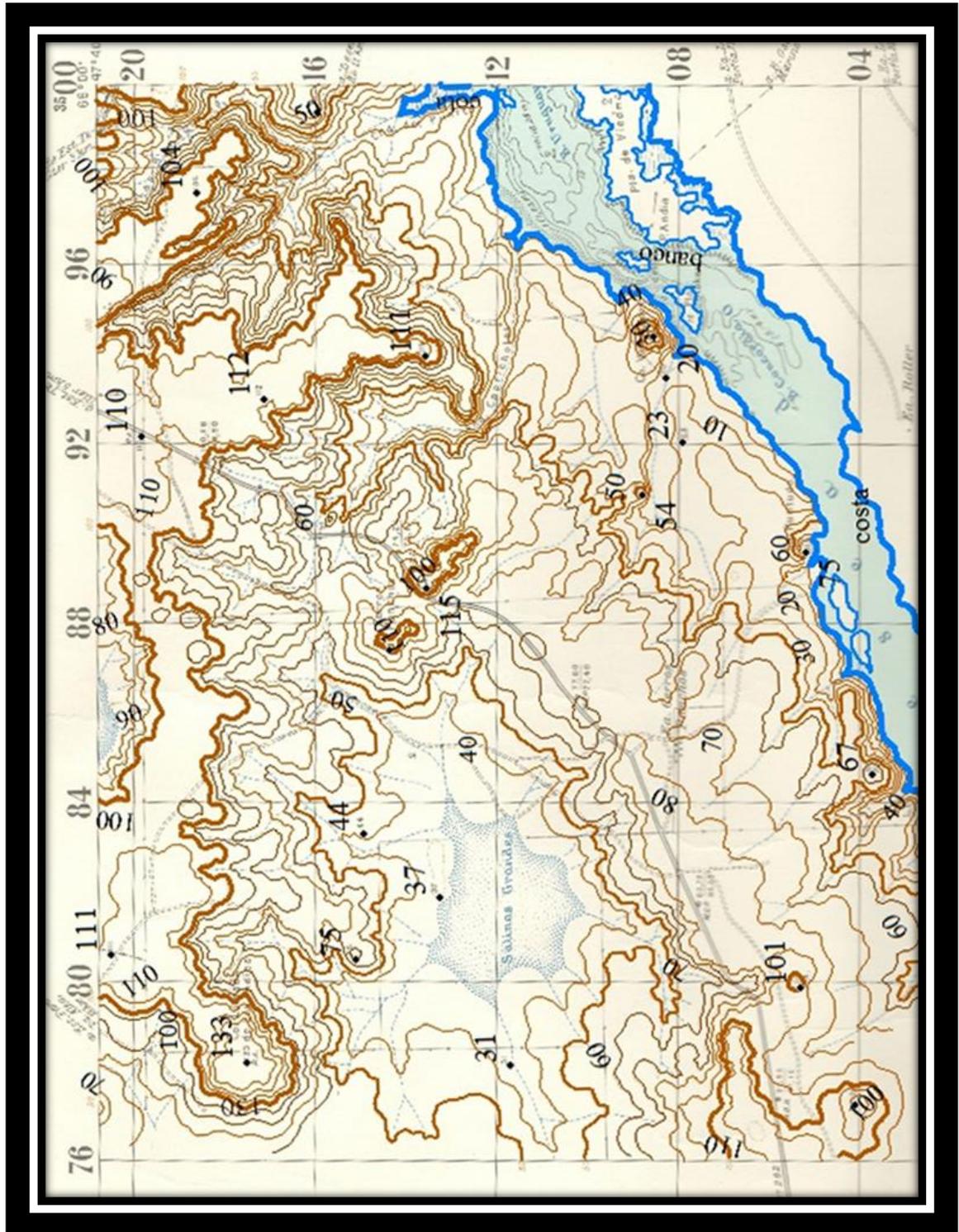


Imagen N°33. Digitalización de una carta topográfica, hoja 4766-34.

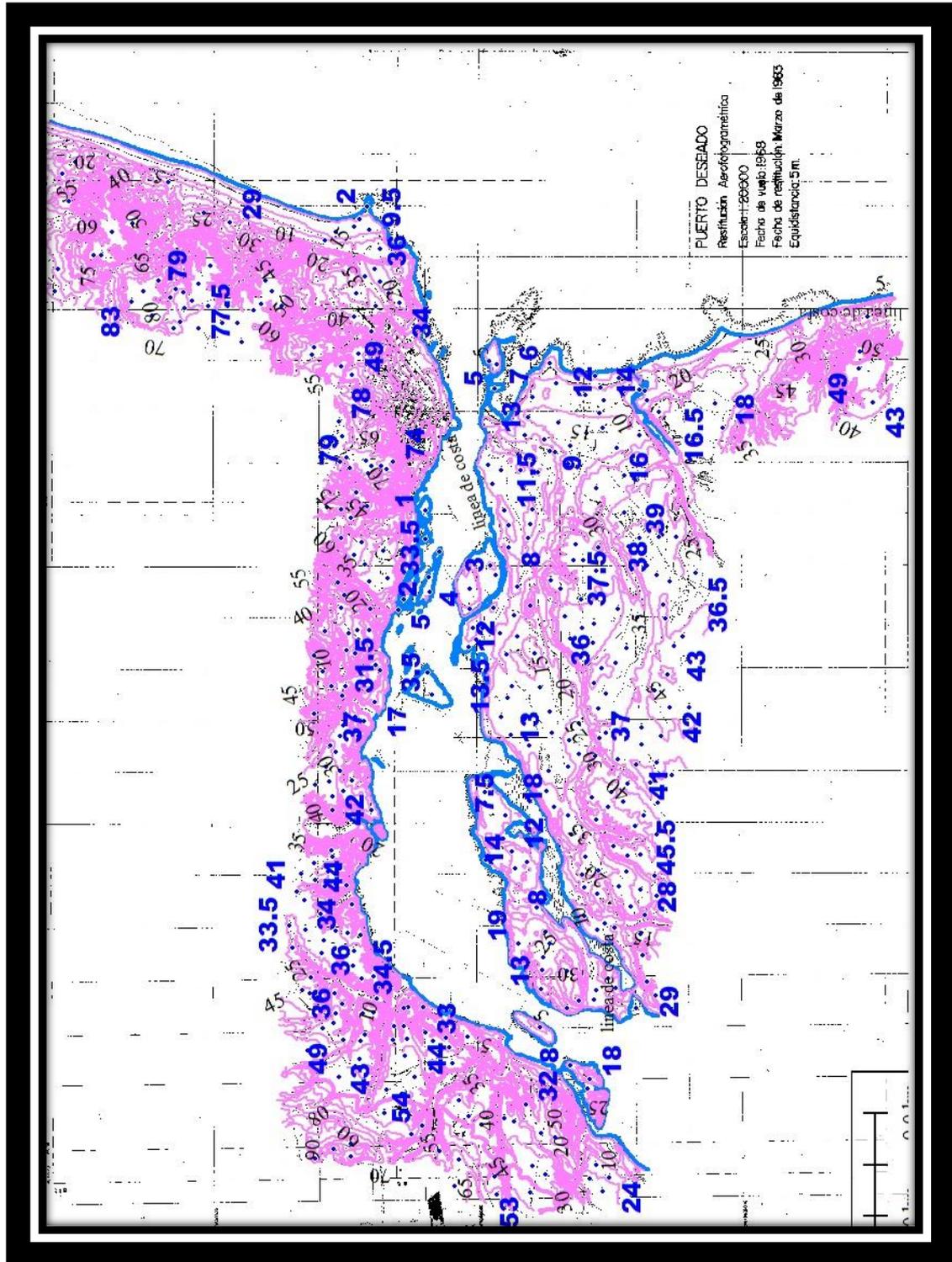


Imagen N°34. Digitalización de la restitución del vuelo 208A en sentido E-W.



#### 5.4. Unificación los sistemas de referencia

Una vez realizado el escaneo, la georreferenciación y la digitalización de la información relevante de las fuentes es necesario unificar los sistemas de referencia verticales para construir el MDE. Además es necesario establecer la proyección final del MDE y vincular los sistemas de referencia de cada fuente al sistema de referencia vertical del MDE.

El sistema de referencia vertical elegido para la construcción del MDE de Puerto Deseado es el nivel medio del mar, es decir, el cero del IGN; debido a que es el más difundido en las redes de nivelación nacional. El sistema de referencia horizontal elegido es el WGS 84 por tratarse de un sistema de coordenadas mayormente utilizado en geodesia y navegación. Debido a que la mayoría de las ciencias, disciplinas o actividades que harán uso del MDE de la Ría de Puerto Deseado utilizarán navegadores o receptores GPS ha sido conveniente incluir el modelo de geoide para recintos navegables realizado en el Instituto de Geodesia y Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la UBA, (Oreiro et al., 2010). Este modelo de geoide brinda las ondulaciones o los apartamientos del sistema de referencia vertical con el elipsoide WGS84.

De cada uno de los datos fuente se verificaron los dátum horizontal y vertical. Las cartas topográficas, náuticas y restituciones se encuentran en el antiguo sistema horizontal de referencia oficial argentino, Campo Inchauspe. Se realizaron las transformaciones correspondientes para llevar las coordenadas horizontales a WGS84. En el caso de la carta náutica se encuentran impresos los parámetros de transformación para su corrección.

Las cotas de las cartas topográficas y de las restituciones de los vuelos están referidas al nivel medio del mar, sin embargo las profundidades de la carta náuticas están referidas al nivel medio de las bajamares de sicigias el cual está a 3.20 m respecto del nivel medio del mar, con lo cual antes de la unificación con las restantes modelos fuentes de datos, se sumó 3.20 m a las profundidades.

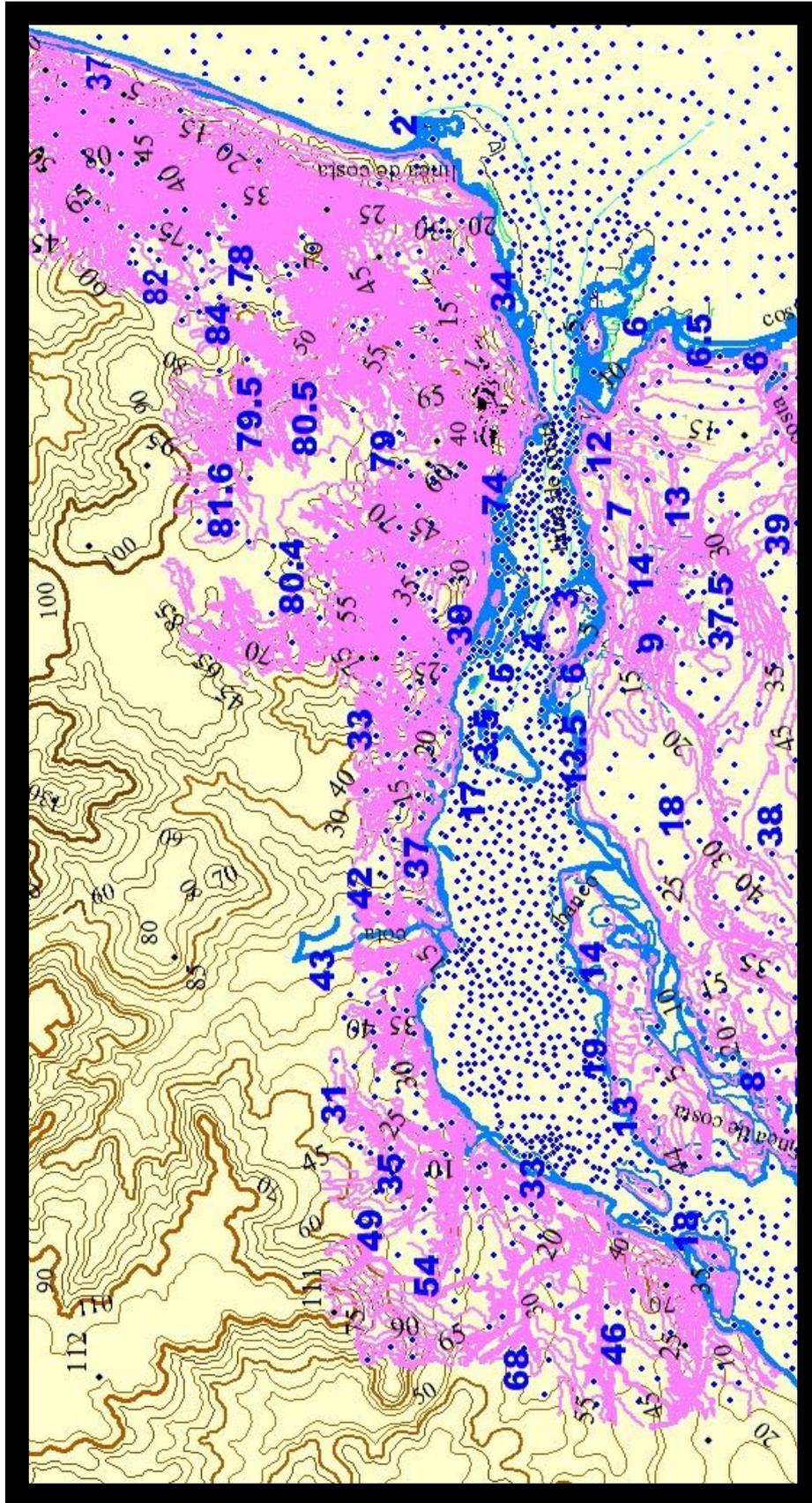


## 5.5. Recorte de los modelos fuente

En el área que conforman los modelos fuente, existe superposición de información; en la zona Noreste, se superponen la carta topográfica (Hoja 4766-34) y la restitución 208B; al Suroeste se superponen la Hoja 4766-33 y la restitución 208A (ver imagen 35). Luego de un análisis visual, se optó por recortar y eliminar la información de las Hojas 4766-33 y 4766-34, donde existía superposición, para dejar la información que brindan los vuelos fotogramétricos. Esto se debe a que las cartas topográficas tienen información correspondiente a un conjunto de levantamientos expeditivos, menos precisos, mientras que las restituciones, además de ser más modernas, contienen mayor información.

Posteriormente se cortaron los archivos de cada uno de los modelos fuente, seleccionando el área en la que estos eran más confiables, de modo que, en la posterior unificación no existiera superposición de los datos y que no hubiera “saltos” entre las cotas de los modelos fuentes en los bordes adyacentes de las uniones. Esta tarea se realizó con el programa gvSIG, a modo de comprobación para que la cobertura fuera completa. Teniendo toda la información en el mismo sistema de referencia vertical y horizontal, y en la misma proyección se unificaron los archivos.

A partir de un reconocimiento visual se observó que la región oeste no presenta una densidad de datos apropiada para el modelo (ver imagen 35). Como esta región no cubre sectores de relevancia y se utiliza como complemento, se decide excluirla del dominio del modelo definitivo. Esta reducción no afecta regiones de interés para la navegación. Por último, una vez que se realiza la unificación de las fuentes y la reducción de las zonas con escasa información, se obtiene una base de fuentes más ordenadas y con la información necesaria para poder realizar el MDE.



**Imagen N°35.** Selección de zona a trabajar, para el MDE



Los detalles de los pasos que se siguieron para la realización del MDE se describen a continuación:

Se volcaron y recortaron las zonas de superposición de los datos.

- A partir de las cartas digitalizadas y rectificadas, se generó un nuevo proyecto de trabajo en gvSIG con el objetivo de unificar todos los datos, incorporando cada carta digitalizada y georreferenciada. Las restituciones, que se encuentran en la proyección en Gauss Krüger Argentina faja 3, son las primeras fuentes que se importaron. Se importó el resto de las digitalizaciones, y a medida que se incorporan las fuentes se re proyectan y verifica el ajuste entre ellas. Una vez volcada y unificada toda la información se realizó un rectángulo sobre la zona de interés, dejando en su interior la información más abundante y confiable, (considerando la digitalización de las restituciones) y fuera de este las zonas con escasa información.

El rectángulo que determina el dominio del modelo para la zona de interés abarca la zona del Río Deseado. Sus coordenadas son:

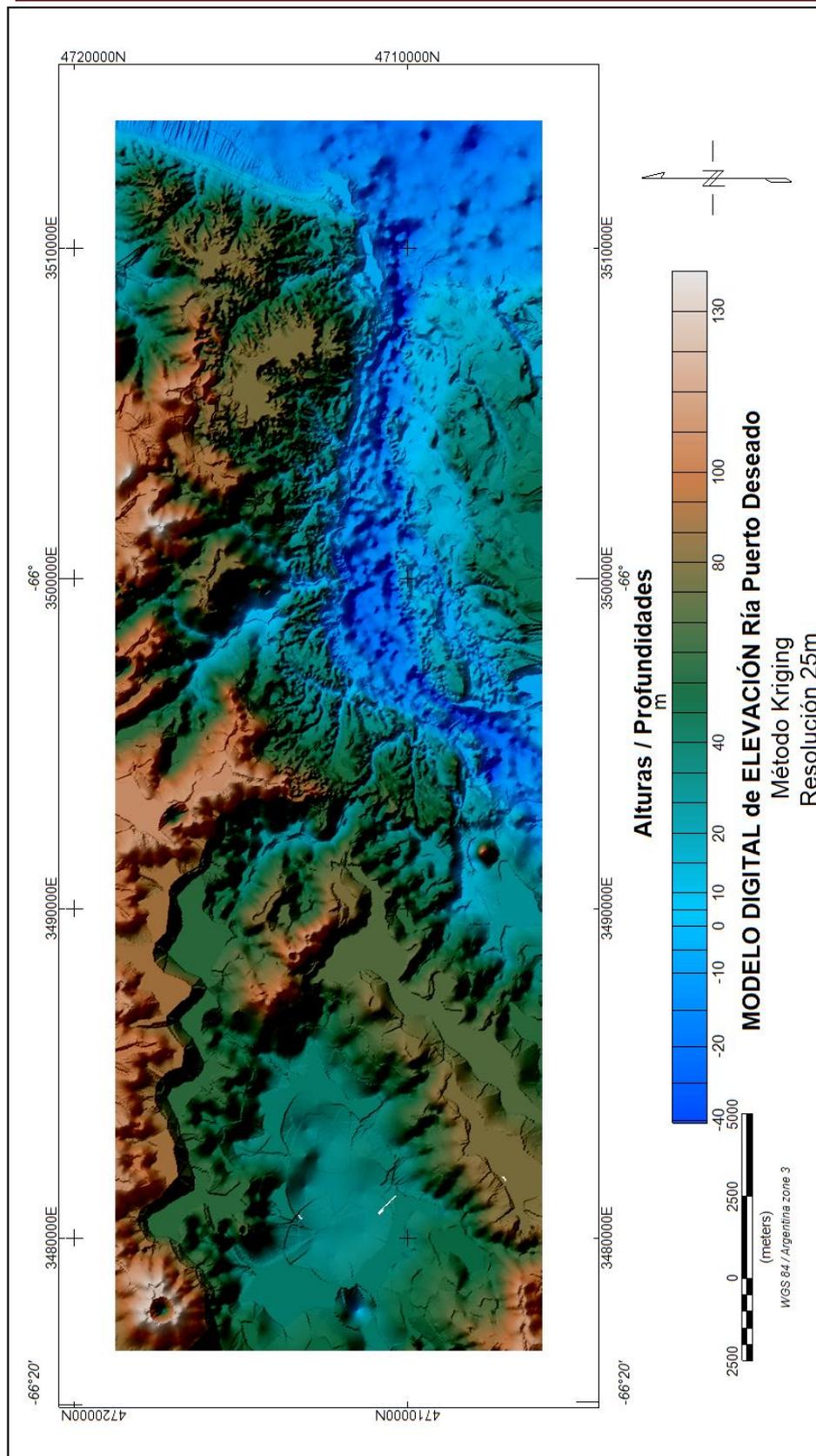
Esquina NW:	47° 40' 56.68" S; 66° 18' 25.17" W
Esquina NE:	47° 40' 57.55" S; 65° 47' 57.39" W
Esquina SW:	47° 48' 01.34" S; 66° 18' 27.34" W
Esquina SE:	47° 48' 02.43" S; 65° 47' 55.76" W

Los valores extremos del rectángulo en coordenadas geográficas no son exactos ya que fueron obtenidos en coordenadas Gauss Kruger Argentina Faja 3.

Como también los valores en coordenadas planas:

Esquina NW:	4718500 ; 3491000
Esquina NE:	4718500 ; 3514000
Esquina SW:	4706000 ; 3491000
Esquina SE:	4706000 ; 3514000

Se realizó un primer grillado de prueba para verificar la combinación de las diferentes fuentes y como se entrelazan entre sí. El modelo obtenido se muestra en la imagen 36.



**Imagen N° 36.** Primera prueba para la obtención del Modelo Digital de elevación de Puerto Deseado (MDEPD).



## 5.6. Generación del MDE de Puerto Deseado

El archivo unificado conteniendo, curvas de nivel, puntos acotados, profundidades y línea de costa, en el paso anterior, se llevó al programa gvSIG, para la creación del modelo digital de elevaciones. A continuación se enumeran los pasos de la obtención del MDE de Puerto Deseado.

### A. Organización y unificación de los datos.

A partir del archivo digital unificado con toda la información disponible de las fuentes se procedió a limpiar de la información obtenida, ya que en algunas zonas se encontraron superposiciones residuales entre las cartas topográficas y las restituciones.

En la región que comprende a la línea de costa se dispone de abundante información proveniente de los vuelos fotogramétricos, las cartas topográficas y la carta náutica. Se visualizó y se optó por dejar la línea de costa de la carta náutica, coincidente con las restituciones de los vuelos y referida al Nivel Medio del Mar. Luego, se visualizaron todas las líneas de curvas y puntos notables que bordean a la línea de costa, de igual modo que para la línea de costa, se optó por elegir la información proveniente de la digitalización de las restituciones, por su gran abundancia en información, detalles y por su confiabilidad.

### B. Elaboración de la grilla

Para la creación del MDE del Puerto Deseado se utilizó el programa GMT. En este se volcaron las grillas parciales de las distintas fuentes. Para la creación del modelo definitivo se probaron distintos métodos de grillado; los métodos utilizados fueron de Kriging, mínima curvatura y triangulación. En todos los casos se adoptó una celda de 25m x 25m en función de la información obtenida de la escala de las diferentes fuentes, (Tabla 2).

Fuente	Escala
208A	1:20.000
208b	1:20.000
Carta náutica	1:20.000
IGN 33	1:100.000
IGN 34	1:100.000

Tabla N 2. Escala de las fuentes utilizadas.



Según FIUBA (2012), la menor distancia perceptible a simple vista entre dos puntos corresponde a 0,2 mm sobre la carta o fuentes. Si se trabaja a una escala 1:100.000, 0.2 mm en el papel corresponden a 20 m en el terreno. Siguiendo este razonamiento la información que se dispone para generar el MDE tiene una resolución mínima de 20 m. No se puede pretender obtener un modelo con una resolución mejor a los 20 m restringidos por las fuentes. Se considera, además, un error residual en los procesos de escaneo y digitalización, determinando como resolución del modelo 25 m de modo de representar lo más fielmente posible el relieve, sin obtener un archivo extremadamente grande y complejo de utilizar.

Para la elaboración de las grillas se partió de un archivo ASCII (X, Y, Z) de los datos, es decir, coordenadas horizontales Gauss-Krüger Argentina Faja 3 y la altitud o profundidad. En el caso de las curvas digitalizadas, este archivo se crea manualmente desde una planilla de cálculo, ya que al exportar las líneas de la digitalización, se obtiene un archivo solo con las coordenadas X e Y, sin el valor de la coordenada Z. Esta coordenada entonces, se coloca en forma manual. Para el caso de la línea de costa se realiza un archivo aparte con la diferencia que a estas curvas se les asigna como coordenada Z el valor cero.

Este procedimiento se realizó en cada carta topográfica, en la carta náutica y en las restituciones fotogramétricas para poder utilizar la información en el programa GMT y generar una grilla con cada fuente. Para esto, al cargar los archivos en el programa se deben indicar la información de origen, el método de interpolación y los datos que definen las características de la grilla (límites máximos y mínimos y espaciamiento entre nodos o tamaño de celda). Una vez indicados todos los datos correctamente, se genera la grilla.

El procedimiento para generar el MDE se realizó 3 veces, una por cada método de grillado, utilizando los mismos datos, (archivos ASCII con las coordenadas X, Y, Z), obteniendo una grilla con el método TIN (Ver Imagen 37), luego otra con el método mínima curvatura (Ver Imagen 38) y por último otra con el método Kriging (ver figura 39).

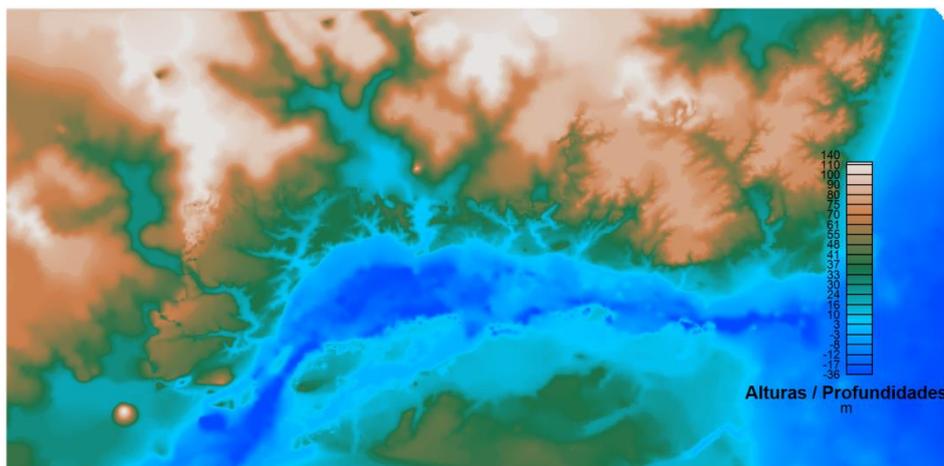


Imagen N° 37. Resultado del grillado por el método TIN.

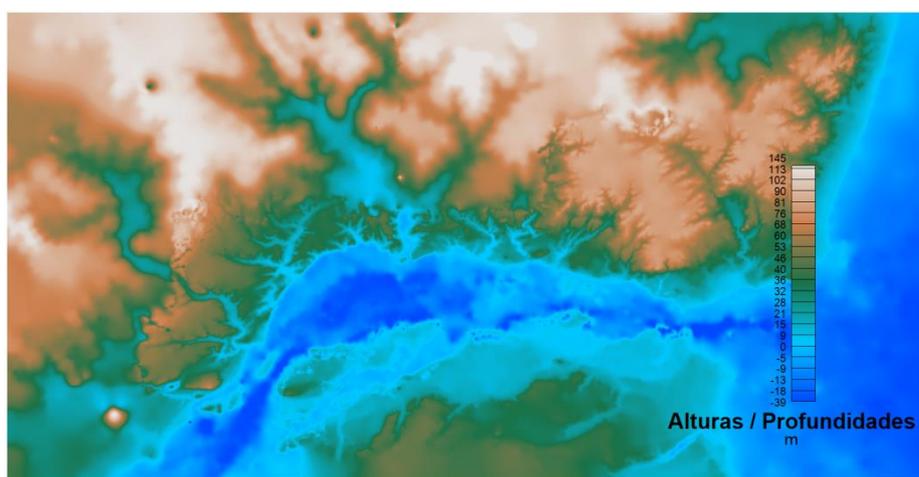


Imagen N° 38. Resultado del grillado por el método Mínima Curvatura.

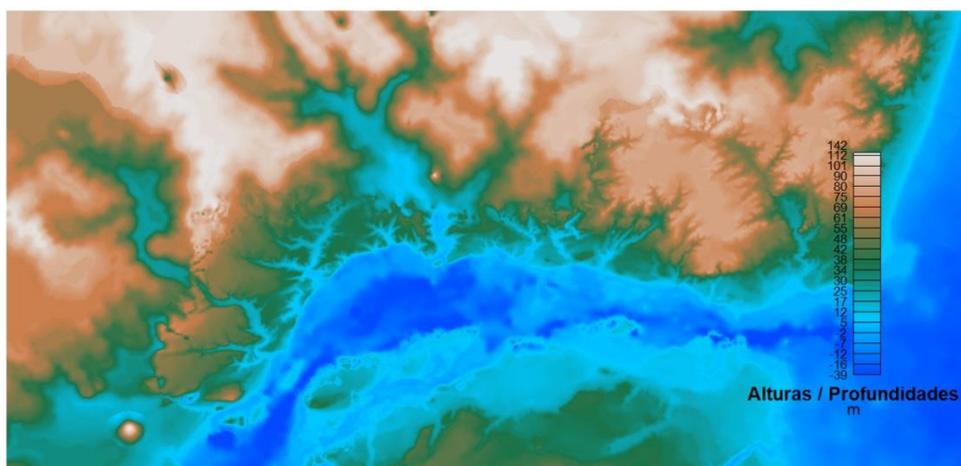


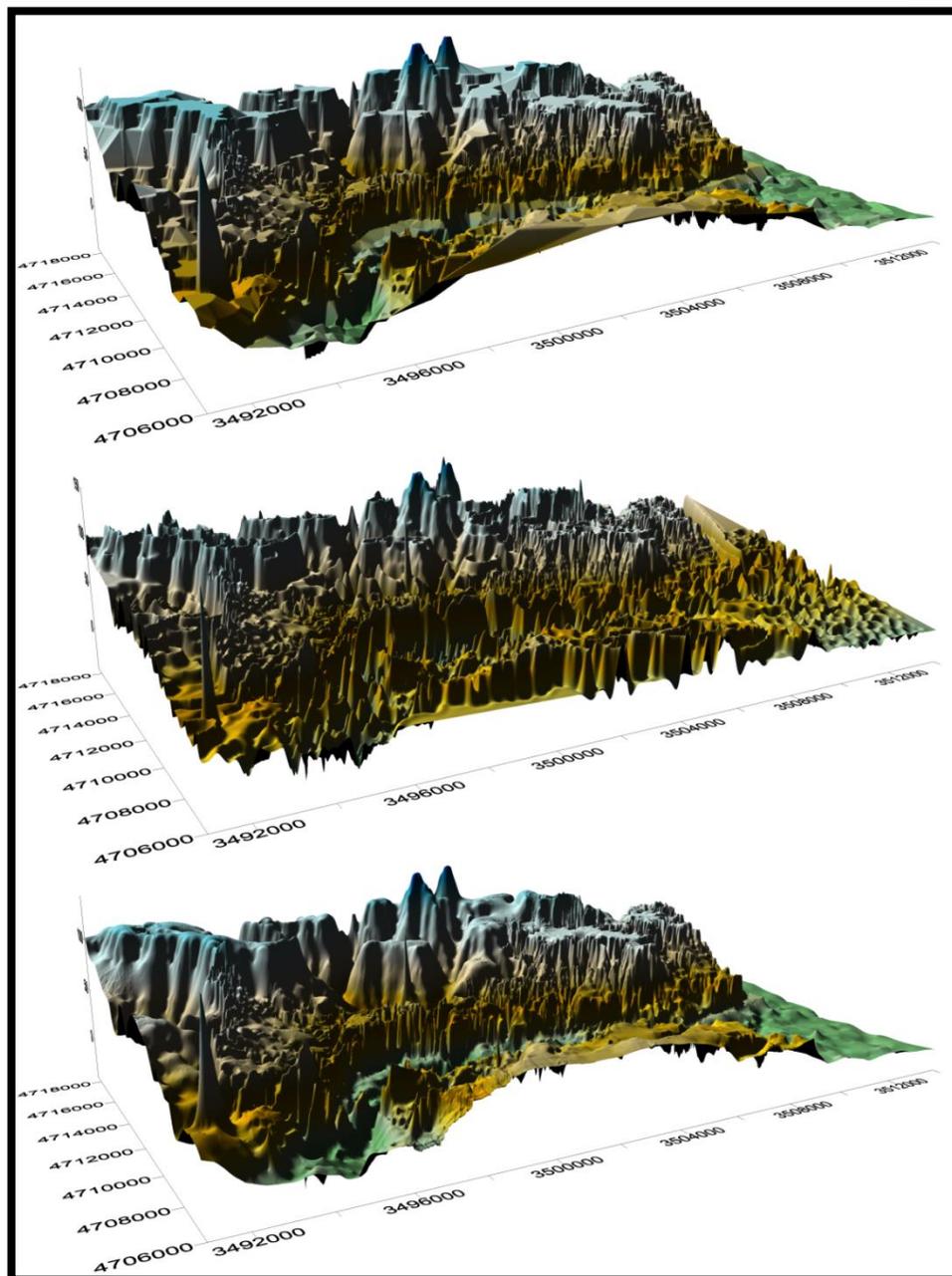
Imagen N° 39. Resultado del grillado por el método Kriging.



---

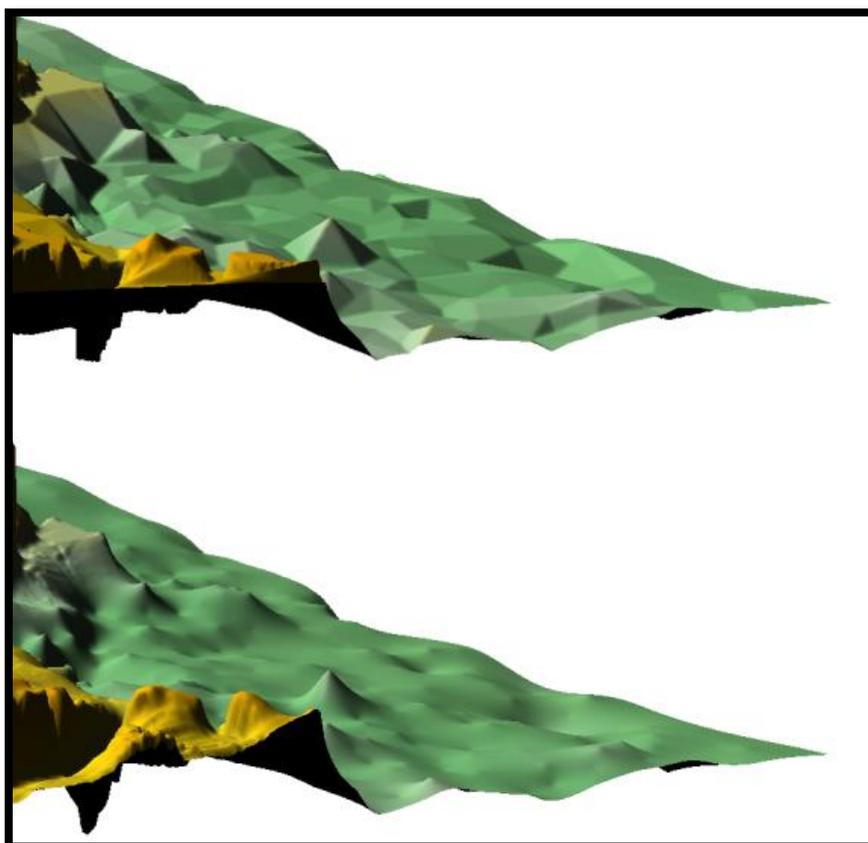
De los tres métodos elegidos, el desvío estándar calculado como la diferencia entre la altura original y la obtenida a partir del modelo interpolado para todos los métodos es 0.05 m. Debido a que todos los métodos tienen el mismo desvío este parámetro no se puede utilizar para seleccionar el método definitivo.

El método de mínima curvatura genera una superficie rugosa que en los extremos devuelve resultados ficticios. La Imagen N°40, muestra los tres modelos obtenidos utilizando (TIN, Mínima Curvatura y Kriging). En el modelo generado por el método de Mínima Curvatura se pueden identificar valores ficticios en los bordes (sector Sur principalmente), por lo que se decide descartarlo.



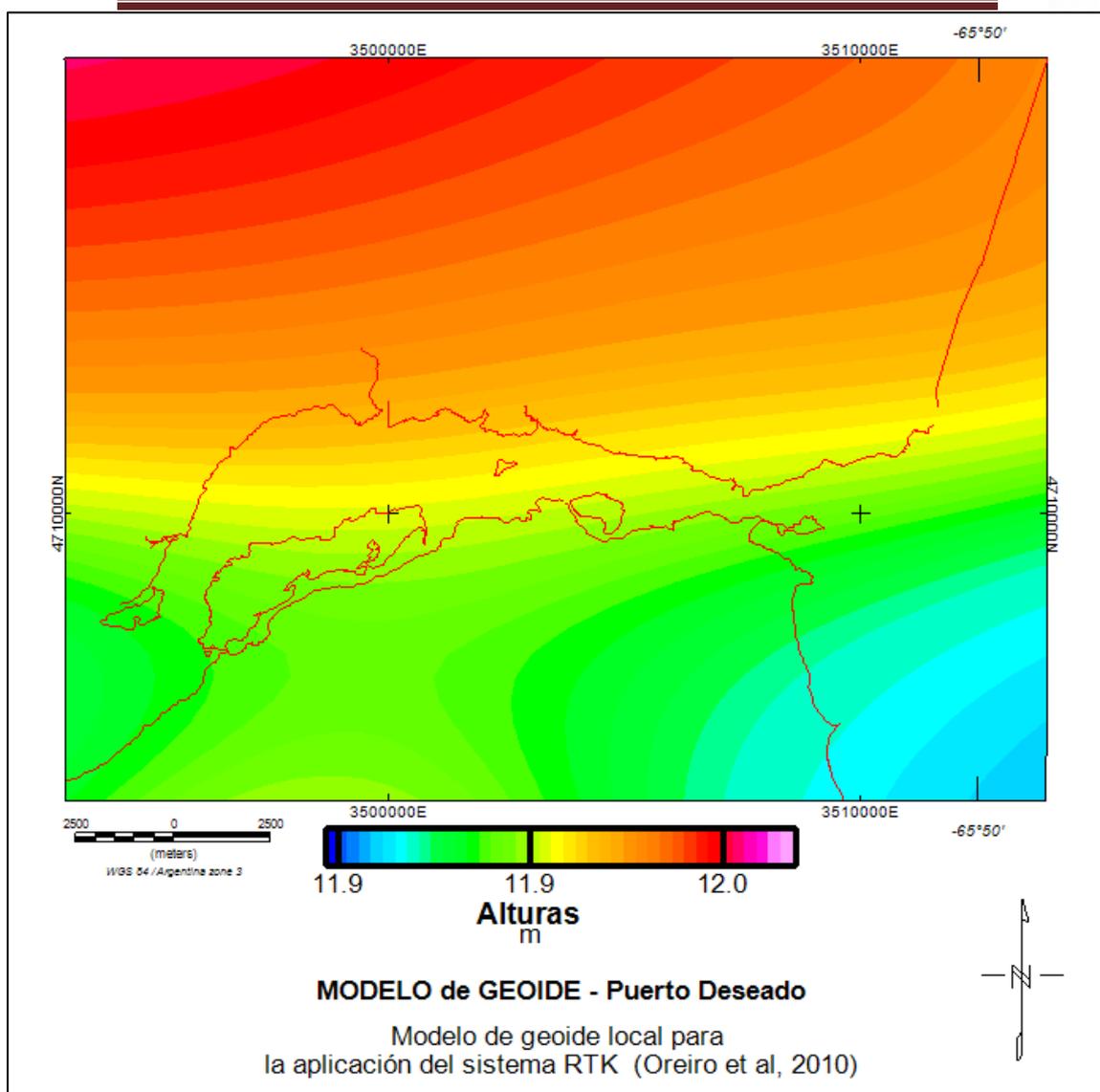
**Imagen N° 40.** MDE obtenidos utilizando los métodos TIN (superior),  
Mínima Curvatura (medio) y Kriging (inferior).

En la Imagen 41 se muestra en detalle el sector Sureste de los modelos tridimensionales generados con las interpolaciones TIN y Kriging. Se puede observar que la interpolación TIN devuelve un modelo mucho más facetado que el método Kriging, siendo esta representación menos representativa de la realidad. Si bien se espera obtener este tipo de resultados con el método TIN, como los resultados con el método de Kriging son superiores se decide descartar este método y utilizar el método de Kriging para la generación del MDE.



**Imagen N°41.** Interpolación con el método TIN y Kriging.

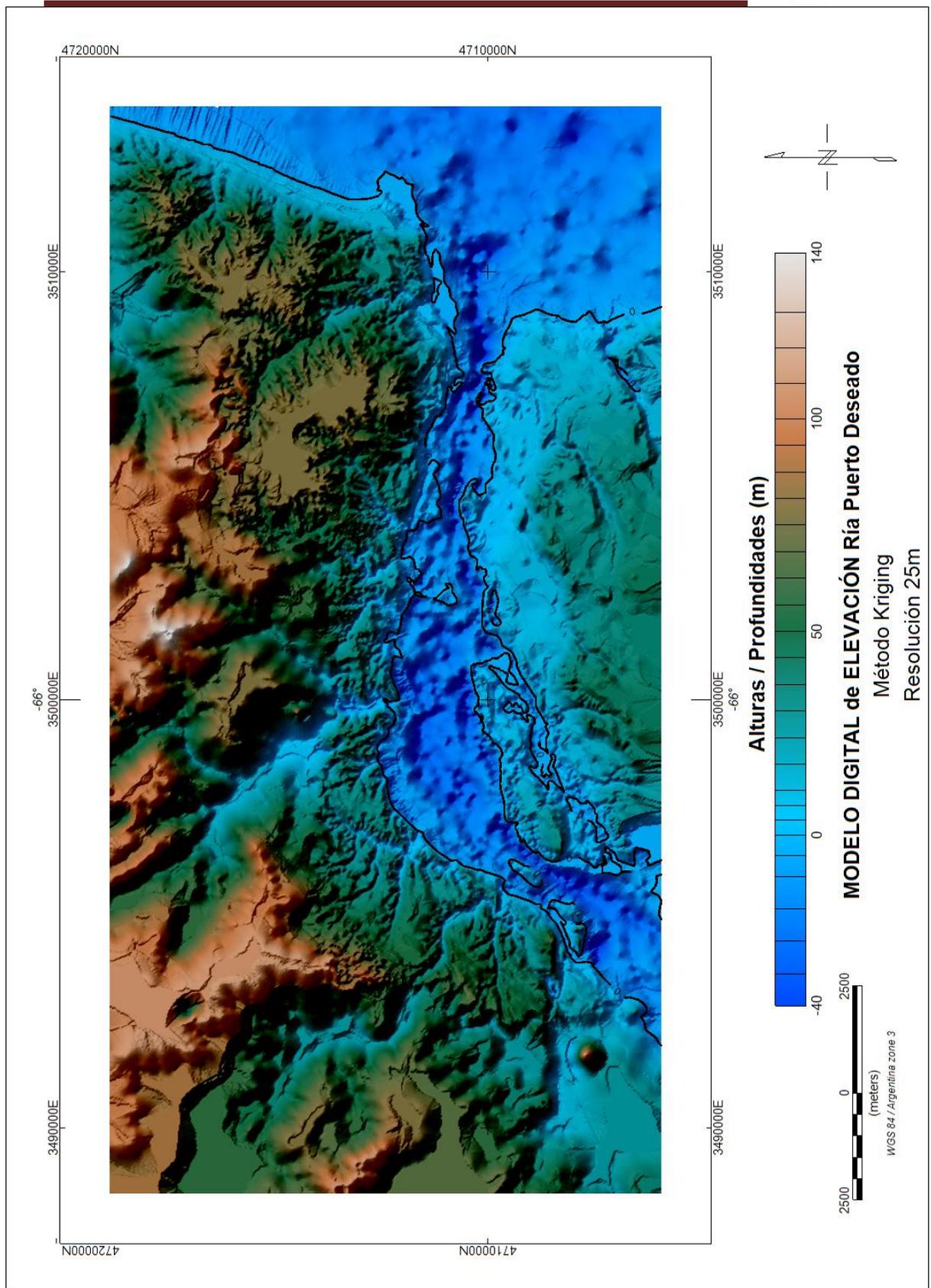
El modelo digital de elevación que se genera en este trabajo, cuenta con la vinculación a los valores de ondulación del geoide, es decir, además de las coordenadas espaciales X, Y, Z cuenta con una cuarta coordenada denominada N (ondulación del geoide). Esta última coordenada es la que permitirá utilizar el modelo en levantamientos RTK, por ejemplo, como una aplicación adicional del mismo. Además esta coordenada permite obtener la altura elipsoidal en cualquier parte del modelo. La representación del modelo de Geoide se muestra en la imagen 42.



**Imagen N°42.** Modelo de geoides para Puerto Deseado.

**C.** Elaboración del MDE para la zona del Puerto Deseado.

La imagen 43 muestra el Modelo Digital de Elevaciones definitivo para la zona de Puerto Deseado, obtenido a partir del método de interpolación de Kriging, utilizando todas las fuentes descriptas.



**Imagen N°43.** Modelo digital de elevación de Puerto Deseado (MDEPD).



#### D. Modelo Digital en formato ASCII

A continuación se muestra un extracto del MDEPD en formato ASCII.

ESTE	NORTE	COTA	N
3491000	4706000	23.34	11.94
3491025	4706000	22.97	11.94
3491050	4706000	22.61	11.94
3491075	4706000	22.24	11.94
3491100	4706000	21.88	11.94
3491125	4706000	21.52	11.94
3491050	4706000	21.17	11.94
3491075	4706000	20.84	11.94
3491100	4706000	20.52	11.94
3491125	4706000	20.29	11.94
3491050	4706000	20.07	11.94
3491075	4706000	19.75	11.94
3491100	4706000	19.44	11.94
3491125	4706000	18.70	11.94
3491050	4706000	17.94	11.94
3491075	4706000	17.94	11.94
3491100	4706000	17.11	11.94
3491125	4706000	16.27	11.94
3491050	4706000	15.42	11.94
3491075	4706000	14.58	11.94
3491100	4706000	13.73	11.94
3491125	4706000	12.87	11.94
3491050	4706000	12.00	11.94
3491075	4706000	11.13	11.94
3491100	4706000	10.23	11.94
3491125	4706000	9.36	11.94
3491050	4706000	8.55	11.94
3491075	4706000	7.79	11.94
3491100	4706000	7.06	11.94
3491125	4706000	6.34	11.94
3491050	4706000	5.63	11.94
3491075	4706000	4.92	11.94
3491100	4706000	4.22	11.94
3491125	4706000	3.52	11.94
3491050	4706000	2.79	11.94
3491075	4706000	2.09	11.94
3491100	4706000	1.50	11.94
3491125	4706000	1.00	11.94

**Tabla N 3.**MDEPD en formato ASCII

## CAPÍTULO 6

### ANÁLISIS COMPARATIVO

El Modelo Digital de Elevación de Puerto Deseado (MDEPD) obtenido a través de las fuentes citadas en el Capítulo 4 y grillado por el método de Kriging se compara con el Modelo Digital de Elevación SRTM ajustado por el Instituto Geográfico Nacional, denominado MDE-Ar (45m x45m), el cual puede encontrarse en la siguiente dirección [http://www.ign.gob.ar/archivos/Informe\\_MDE-Ar.pdf](http://www.ign.gob.ar/archivos/Informe_MDE-Ar.pdf).

El modelo MDE-Ar para la zona de estudio se muestra en las Imágenes 44 y 45. Se destaca que la información que contiene el modelo se encuentra restringida a los niveles por encima del Nivel Medio del Mar.

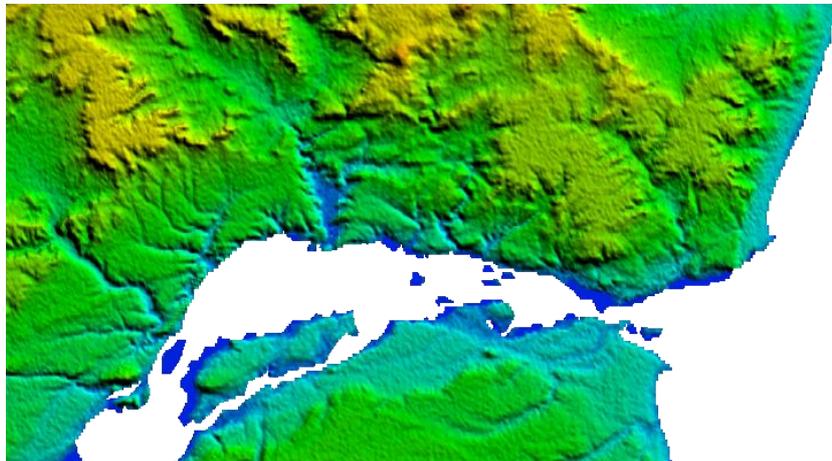


Imagen N° 44. Modelo digital de elevación SRTM.

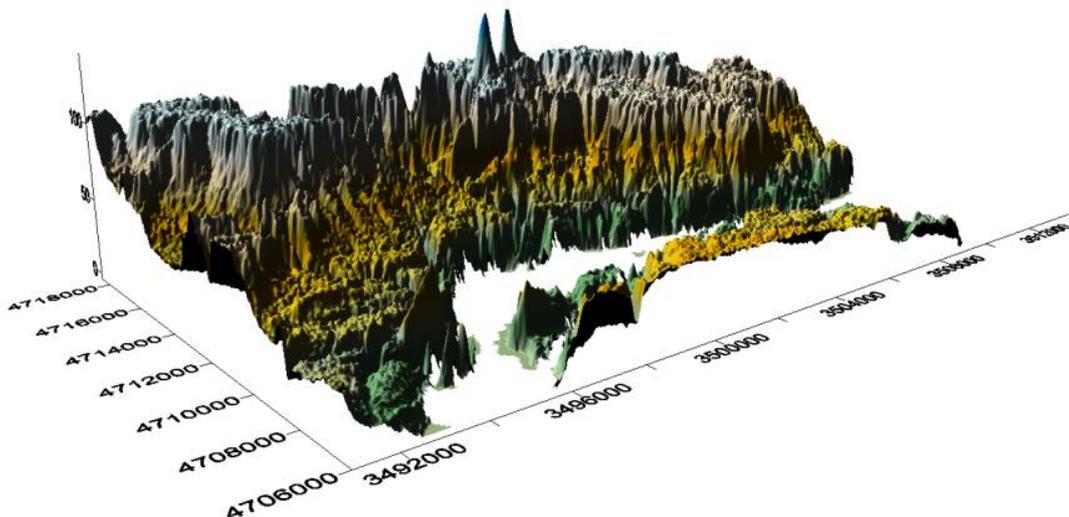
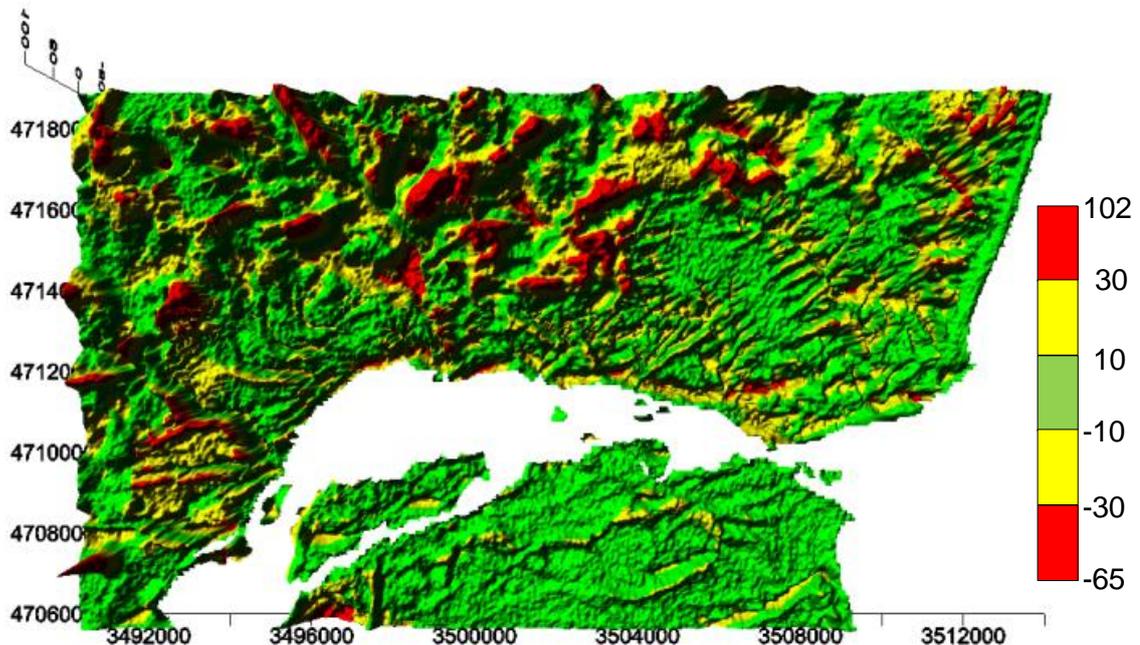


Imagen N° 45. Modelo digital de elevación SRTM.

La comparación entre los modelos se realizó re muestreando el modelo MDE-Ar en una grilla de 25m x 25m, coincidente con la grilla del modelo MDEPD, y restando nodo a nodo los valores correspondientes. Los resultados obtenidos se muestran en la imagen 46.

Las diferencias entre las cotas y los MDE se calcularon como promedio menos cota, estas diferencias arrojan valores tanto negativos como positivos, siendo:

El mínimo:	-64,57m
El máximo:	101,80m
Medio:	1,32m
Desvío estándar:	13,50m



**Imagen N°46.** Resultado de la comparación del MDEPD y el SRTM.

Además de la imagen 46 se puede observar que la mayor concentración de las diferencias mayores a 30m, están agrupadas al Norte y al NO del MDEPD. Según los objetivos de la misión SRTM el error absoluto vertical esperado era menor a 16 m. Este valor está dentro del orden del desvío estándar que alcanzó el MDEPD (13,5 m).

En función de la distribución de las diferencias encontradas se decidió realizar un recorte del Modelo SRTM y calcular las diferencias nuevamente. La comparación con este recorte puede verse en la imagen 47, la cual arrojó los siguientes valores estadísticos:

Mínimo:	-56,37m
Máximo:	61,18m
Medio:	-0,51m
Desvío estándar:	10,65m



**Imagen N°47.** Resultado de la comparación del MDEPD y el SRTM.

Este recorte se realizó en función de las fuentes del MDEPD, se recortó según la región abarcada por las cartas topográficas que eran las que aportaron las mayores diferencias (ver distribución).



## CAPÍTULO 7

### DISCUSION Y CONCLUSIONES

En este capítulo de Discusión y Conclusiones, se puede decir que la fiabilidad de los resultados obtenidos dependió de cómo se han resuelto algunas cuestiones que surgieron en la elaboración de un trabajo como este. En este sentido habría que diferenciar dos aspectos que avalan la credibilidad de los resultados, estos fueron la calidad de los datos y la metodología empleada en la elaboración de las grillas de datos filtrados. Sin mencionar, por supuesto, que el profundo conocimiento previo del proceso de generación de un MDE allanó el camino para la obtención del mejor resultado del MDEPD.

Entre los primeros hay que destacar la variedad de datos fuente como cartas topográficas a escala 1:100.000, náuticas y restituciones fotogramétricas con mejores escalas, 1:20.000 y gran cobertura de la zona aproximadamente 1.000 km<sup>2</sup>. Entre los segundos se destacan el cuidado en la digitalización manual de las curvas de nivel, la meticulosidad en la conversión a un mismo sistema de coordenadas planas de todas las fuentes y al mismo Dátum vertical, sin dejar de mencionar, la adecuada aplicación de métodos de interpolación y grillado entre los distintos tipos sugeridos. Por otra parte y como reaseguro, avala la calidad de los resultados, la comparación con otros modelos digitales de elevación de la zona.

A continuación se exponen una serie de conclusiones que fueron consolidando y sintetizan el aporte de esta tesina. En primer lugar aparecen conclusiones de tipo general y en segundo lugar, se indican otras más específicas relacionadas con los métodos de interpolación, errores altimétricos y los relativos al análisis espacial.

En primer lugar:

- Tras haber estudiado los distintos modelos obtenidos por distintos interpoladores, podemos concluir que: a) antes de elaborar cualquier producto derivado a partir de un MDE, es de máxima importancia evaluar la calidad de la información y comparar la misma con alguna fuente independiente, b) también, es fundamental conocer los



principios físicos y los métodos utilizados en la obtención y el procesamiento de los datos, ya que, en general, los MDE son el resultado de complejos algoritmos (de hecho, es factible que a partir de un mismo conjunto de datos “crudos” u originales se generen distintos MDE según cuales sean los criterios adoptados). Esta última decisión se fundamenta en los siguientes aspectos: 1) resulta más coherente con las características topográficas y morfológicas del área de estudio, 2) no se le detectaron datos aberrantes y, 3) de los dos modelos estudiados es el que presenta la menor diferencia entre la máxima elevación del modelo.

- No existe un único método de interpolación que sea el más adecuado para las zonas de mayor o menor error medio cuadrático y el que consigue mejor resultado en esas zonas difiere en función del relieve y escala. Sin embargo los análisis realizados indican que Kriging obtiene mejor resultado en las zonas en que el error es mayor.
- Esta última decisión se fundamenta en los siguientes aspectos: 1) resulta más coherente con las características topográficas y morfológicas del área de estudio, 2) no se le detectaron datos aberrantes y, 3) de los dos modelos estudiados es el que presenta la menor diferencia entre la máxima elevación del modelo.

En segundo lugar:

- Las diferencias en el error medio cuadrático alcanzadas por modelos generados con distintos métodos de interpolación son en general muy similares, por lo que, a la hora de seleccionar un método es preferible elegir aquel que se acomode mejor con los datos fuentes.
- La equidistancia entre curvas de nivel y el tamaño de la celda, son factores más importantes que el método de interpolación seleccionado.
- De los valores medios de las diferencias de cotas, entre las fuentes y el MDEPD, encontramos el valor medio de 2,87 m y de desvío estándar 0,77 m correspondiente a la digitalización de la restitución del vuelo 1999, el cual está muy por encima de lo esperado. A partir de estos resultados se decidió desechar esta fuente de datos. El resultado de la comparación entre las diferencias de los valores medios se encontró



que, excluyendo el vuelo de 1999, la mayoría de los valores medios se encuentran entre -0,032 m y 0,31 m, y desvíos estándar menores a 0,63 m.

- Comparando el modelo MDEPD con el MDE-Ar, se encontró que las diferencias estuvieron dentro de lo esperado. De este modo se consideró apropiado el modelo MDEPD para la elaboración de nuevos productos digitales para el mencionado puerto.

Resulta entonces un producto de gran utilidad y su publicación es un gran aporte a la comunidad científica y a la sociedad en general ya que su precisión y comportamiento mejora sustancialmente a sus predecesores modelos digitales de elevaciones.

Este modelo digital de elevaciones se encuentra disponible en formato .TIFF, en forma pública, brindando alturas referidas al sistema de referencia WGS 84, en toda la zona que rodea a la Ría de Puerto Deseado.



## Bibliografía

- AISM/IALA, 2006, Manual de ayuda a la navegación de la AISM/IALA, Edición 5.
- Arce Mesén R., 2001. Análisis Espacial, Universidad de Costa Rica.
- Braun J., Inpho GmbH, Stuttgart, 2003, Aspects on True-Orthophoto Production.
- Burrough, P. A., McDonnell, R., A. (1998) Principles of Geographical Information Systems. Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford University Press
- McCullagh, M. (1990) Digital Terrain Modelling and Visualisation. In : G. Petrie & T. J. M. Kenzie (ed.) Terrain modelling in surveying and civil engineering, pp. 128-151
- Casal, G., Sánchez-Carnero, N., Freire, J., Grupo de Recursos Marinos y Pesquerías, Digitalización y publicación de una línea de costa del litoral gallego. Universidad de A Coruña, Campus da Zapateira s/n, 15071 A Coruña.
- Cátedra de Fotogrametría, Planificación de vuelo, 2008. Apuntes de clase, CEFOCCA-UNSJ, (Centro de Foto, Carto y Catastro de la facultad de ingeniería de la UBA, Universidad Nacional de San Juan).
- Cátedra de Fotogrametría, Proceso fotogramétrico, 2008. Apuntes de clase, CEFOCCA-UNSJ, (Centro de Foto, Carto y Catastro de la facultad de ingeniería de la UBA, Universidad Nacional de San Juan).
- Codignotto J. O., 1987, Glosario Geomorfológico Marino, Asociación Geológica, Bs.As, Argentina.
- Corbasi Á., 1998, Sistemas de Navegación, McGrawHill.
- Corchete et al, 2007, XXVII Reunión Científica de La Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, 10-14 de noviembre de 2014.
- Diaz Viera M.A. y Gonzalez R.C., 2010, Geoestadística Aplicada: Otros métodos de estimación espacial.



- ECDIS, electronic charts-where, when, why, Steve Douglas, Asian Shipping, November 1995.
- Englund, 1988: XIV, "Interpolacion Espacial".
- Felicísimo Á.M., 1994. Modelo digital de elevaciones, Capítulo 2. <http://etsimo.uniovi.es/~feli/>.
- Felicísimo Á.M., 1999, La utilización de los MDT en los estudios del medio físico.
- Catedra de topografía, 2012, apuntes de topografía 1, Facultad de Ingeniera de la Universidad de Buenos Aires, Departamento de Agrimensura Catedra de Topografía.
- Gauss, C.F., 1828. Bestimmung des Breitenunterschiedeszwischen den Sternwarten von Göttingen und Altona. VandenhoeckundRuprecht, Göttingen.
- Geoestadística aplicada, 2010, "Otros Métodos de estimación espacial", <http://mmc2.geofisica.unam.mx/cursos/geoest/Presentaciones/CG9.pdf>.
- González Bonorino G., 2002, XV Congreso Geológico Argentino, I20 317-324, Erosión y Acreción litoral durante el Holoceno con especial referencia a las Puntas Bustamante y Dungeness.
- Gómez, A., 2000, Proceso digital en fotogrametría, Stereocarto España.
- Hinz, A., 1999. The Z/I Imaging Digital Aerial Camera System. Photogrammetric Week, Eds D. Fritsch / R. Spiller, Wichmann, Heidelberg. Págs. 109-115.
- Hodgson M. E. & Bresnahan P., 2003, Accuracy of airborne Lidar-Derived elevation: Empirical Assessment and error budget. University of South Carolina.
- Hofmann-Wellehof, B. y Moritz, H., 2005. Physical Geodesy. SpringerWienNewYork, NewYork. Pág 412.
- Holm M., 2001, An integrated approach for orthoimage production. Photogrammetric Week 01, D Fritsch & R. Spiller (eds). Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 249-253.
- IMO, 2004, SOLAS convention, publishing Londres.



- Introcaso A., 2006. Geodesia Física. Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología, Volúmen especial número 1, pp. 1 - 128. Rosario.
- Iztueta, E., 2011. Orientación y navegación terrestre: el arte de no perderse.-1ª ed. M- Buenos Aires: Librería y Editorial Alsina.
- Karsunke C. E., 2005. Operación con cámara fotogramétrica digital, [www.isprs.org/proceedings/2005/semana\\_geomatica](http://www.isprs.org/proceedings/2005/semana_geomatica)
- Lerma Garcia, J.L., 2002, Fotogrametría moderna; Analítica y Digital, Universidad Politécnica de Valencia.
- Livingstone, D. (1992) "Of Myths and Mapa: Geography in the Age of the Reconnaissance". En: The Geographycal Tradition. Oxford. Blackwell.
- Martínez de Osés, Francisco J., 2006, ICARO: Información para la navegación en consola portable y ergonómica.
- Miller y Laflamme (1958), "MODELOS DIGITALES DE TERRENO: ESTRUCTURAS DE DATOS Y APLICACIONES EN ANÁLISIS DE FORMAS DEL TERRENO Y EN EDAFOLOGÍA.
- Millán Gamboa J.M., Octubre 2008, Carta Náutica Electrónica y su implicación en la seguridad marítima, CC (IH).
- Organización Hidrográfica Internacional (OHI), 2010, Las Cartas Electrónicas de Navegación y las Prescripciones de Transporte: Hechos, Publicación S-66 de la OHI - Edición 1.0.0.
- Organización Hidrográfica Internacional (OHI), 2010, S-66 Las Cartas Electrónicas de Navegación y las Prescripciones de Transporte: Hechos, Buró Hidrográfico Internacional, Ed 1.0.0, pp. 44.
- Oreiro F., Citadini N., Pradelli A., Arecco M. A., Díaz R., 2010. Modelo de geoide local para la aplicación del sistema RTK en levantamientos hidrográficos. XXV Reunión Científica de la AAGG, Córdoba, 2010.

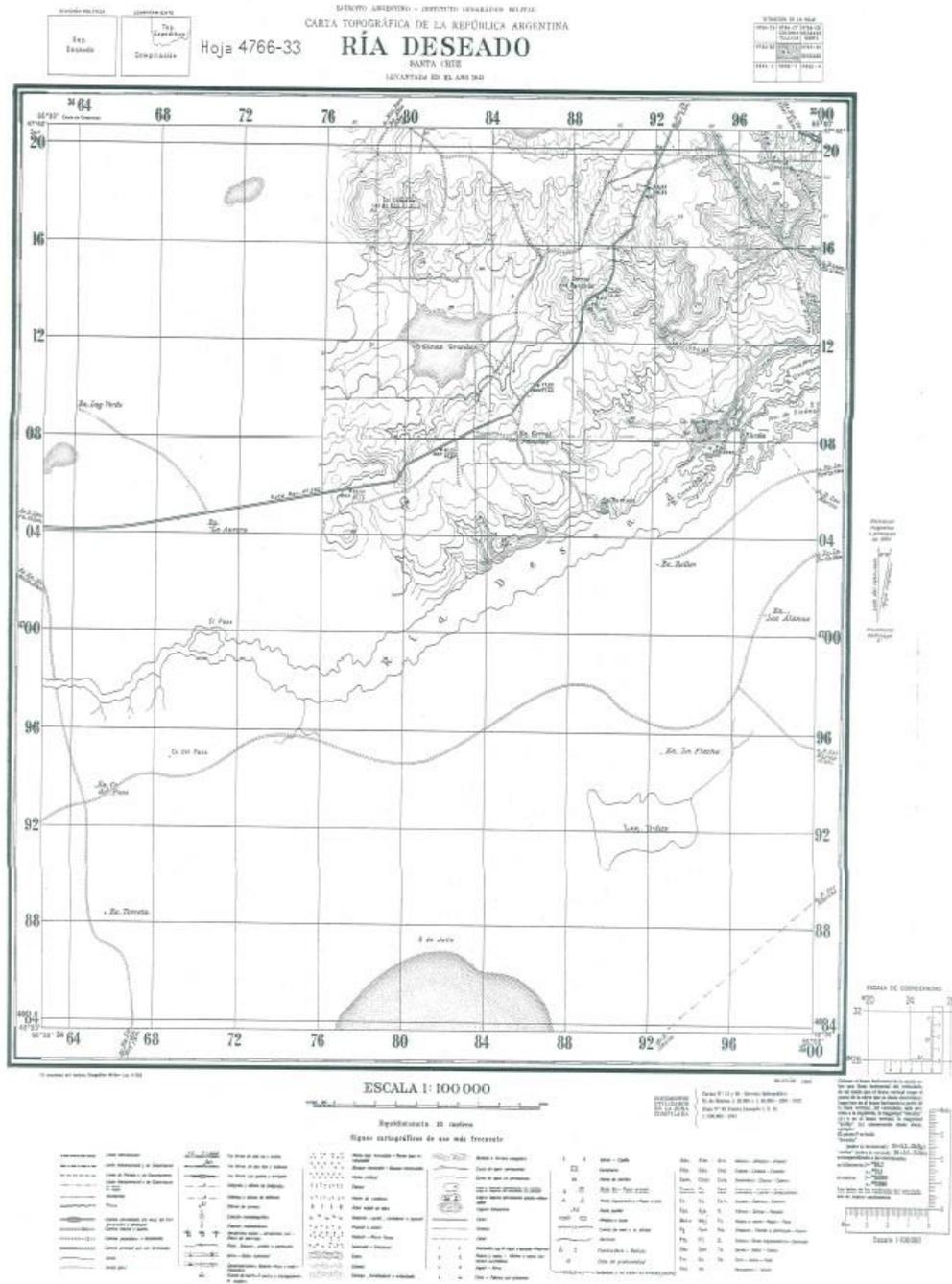


- Sáez. A., 2003. Análisis de Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) generados con imágenes SPOT-HRV y TERRA-ASTER. Tesis doctoral, Universidad de Jaén, España.
- Sanz Muñoz M., P., 2004, Apoyo aéreo cinemático y aerotriangulación digital frente a los sistemas de navegación inercial: Análisis de Precisiones. U.P.M. Madrid.
- Serafino A. L., Levantamientos especiales para obras, Topografía Aplicada F.I. - U.N.S.J. (Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de San Juan).
- Smith y Wessel 1990, Griding with continuous curvature splines in tensión.
- SHOA, 2015, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, <http://www.shoa.cl/index.htm> .
  
- <http://www.ign.gob.ar/>
- <http://www.hidro.gov.ar/noticias/ENCs.ASP>
- [http://www.iho.int/iho\\_pubs/standard/S-66/S-66\\_e1.0.0\\_ES.pdf](http://www.iho.int/iho_pubs/standard/S-66/S-66_e1.0.0_ES.pdf)
- [http://www.iho.int/iho\\_pubs/standard/S-66/S-66\\_e1.0.0\\_ES.pdf](http://www.iho.int/iho_pubs/standard/S-66/S-66_e1.0.0_ES.pdf)
- <http://www.ign.gob.ar/AreaServicios/Escaner>
- [www.shoa.cl](http://www.shoa.cl) (Servicio Hidrográfico y Oceánico de la Armada de Chile).
- [https://www.u-  
cursos.cl/forestal/2008/2/EF078/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=479227](https://www.ucursos.cl/forestal/2008/2/EF078/1/material_docente/bajar?id_material=479227)).
- [www.um.es](http://www.um.es)
- [http://www0.unsl.edu.ar/~geo/materias/Elementos\\_de\\_Geologia/documentos/co  
ntenidos/apoyo\\_teorico/APU-2011-Mapa-Topografico.pdf](http://www0.unsl.edu.ar/~geo/materias/Elementos_de_Geologia/documentos/contenidos/apoyo_teorico/APU-2011-Mapa-Topografico.pdf)



## Anexos

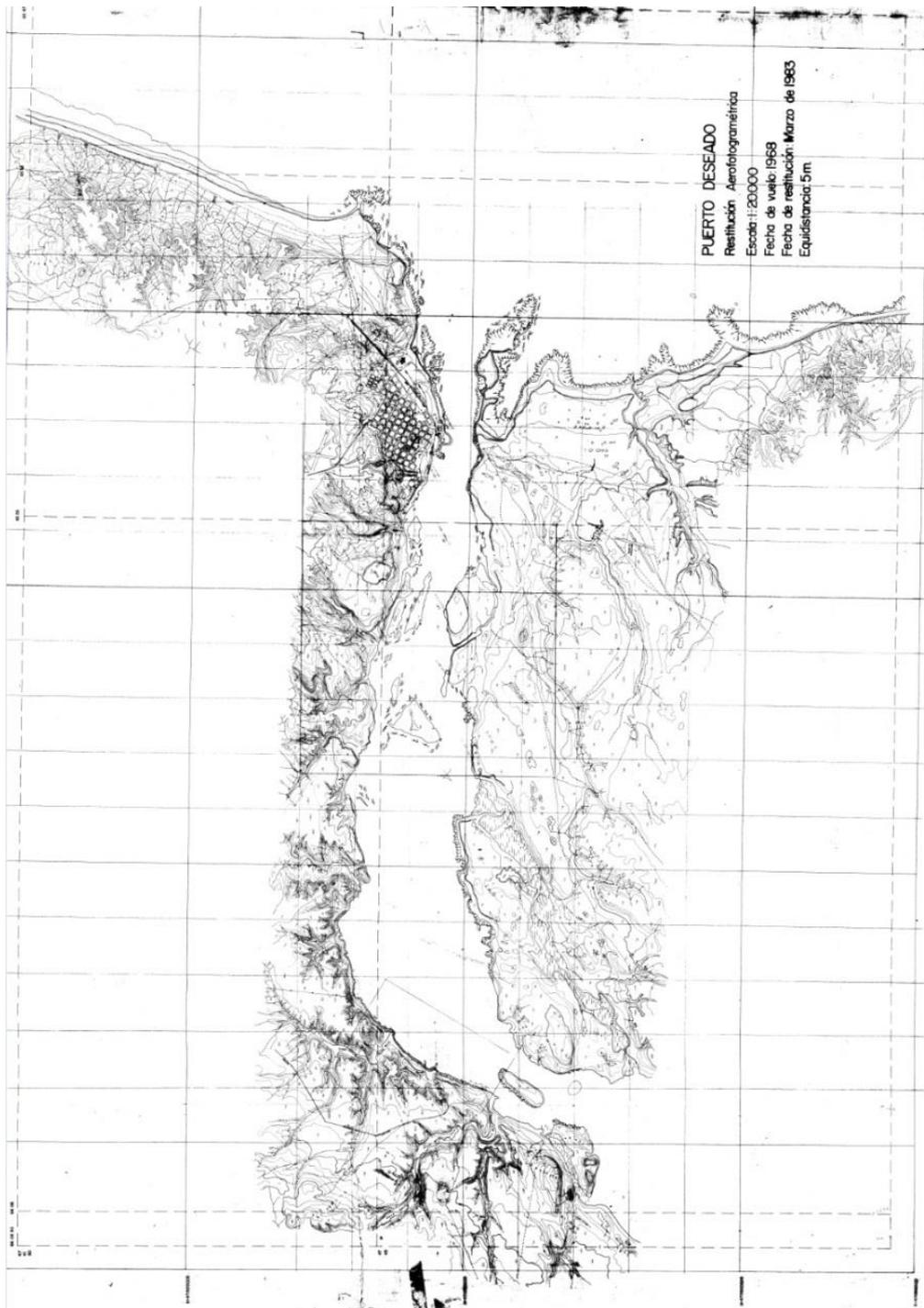
### Anexo 1



Carta topográfica hoja 4766-33

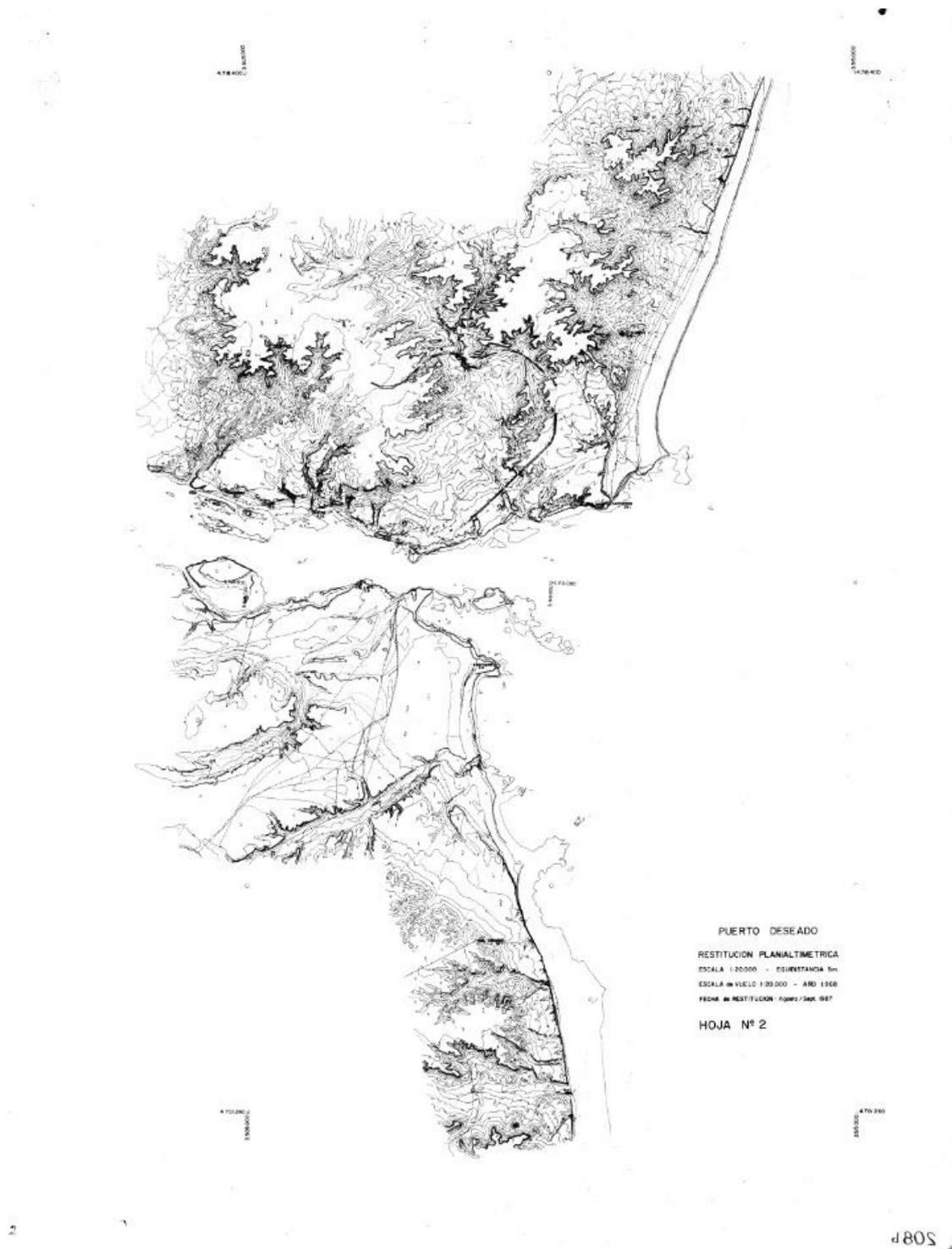


### Anexo 3



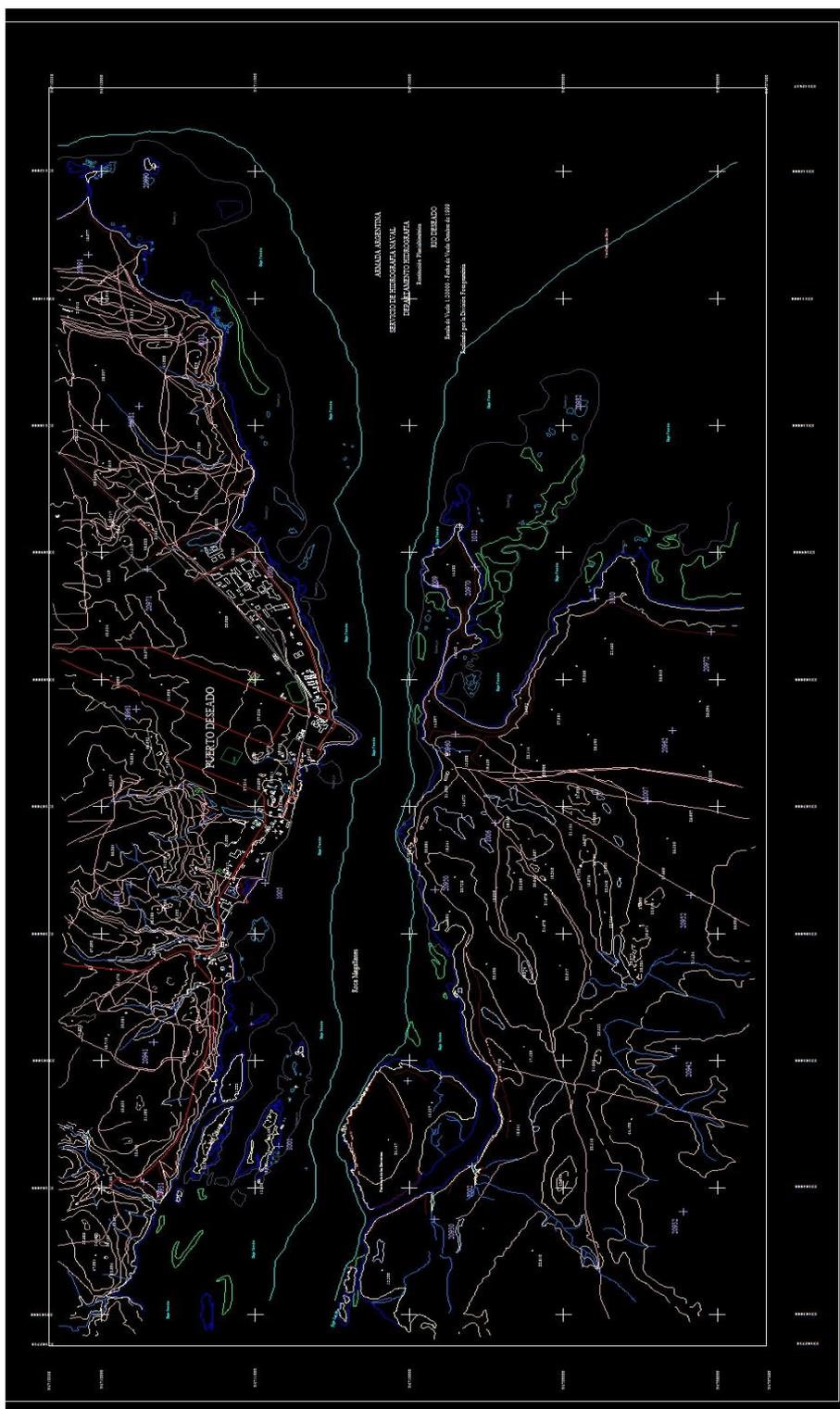
Restitución aereofotogramétrica 208A en sentido E – W, de 1968.

## Anexo 4



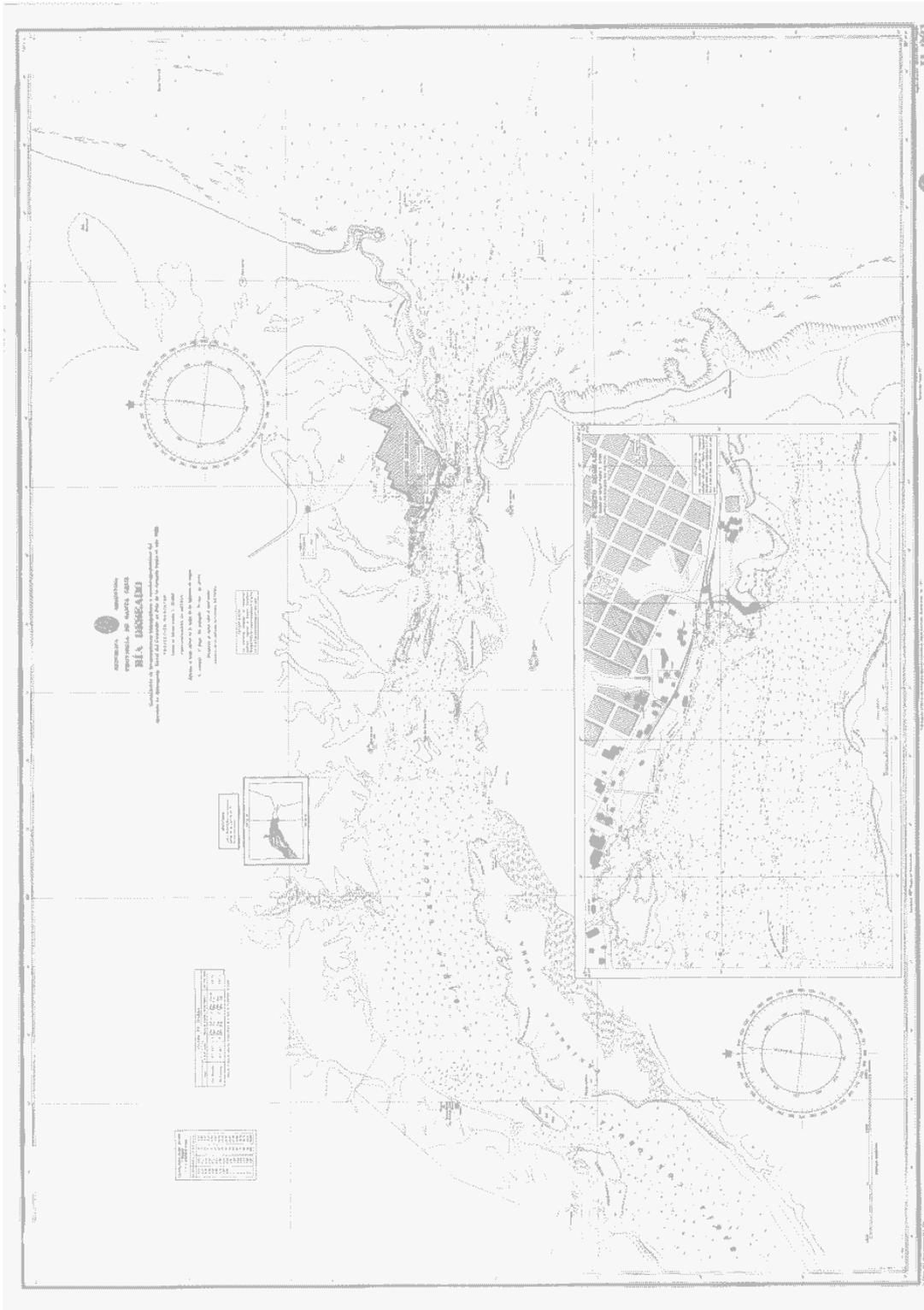
Restitución aereofotogramétrica 208B en sentido N – S, de 1968.

### Anexo 5



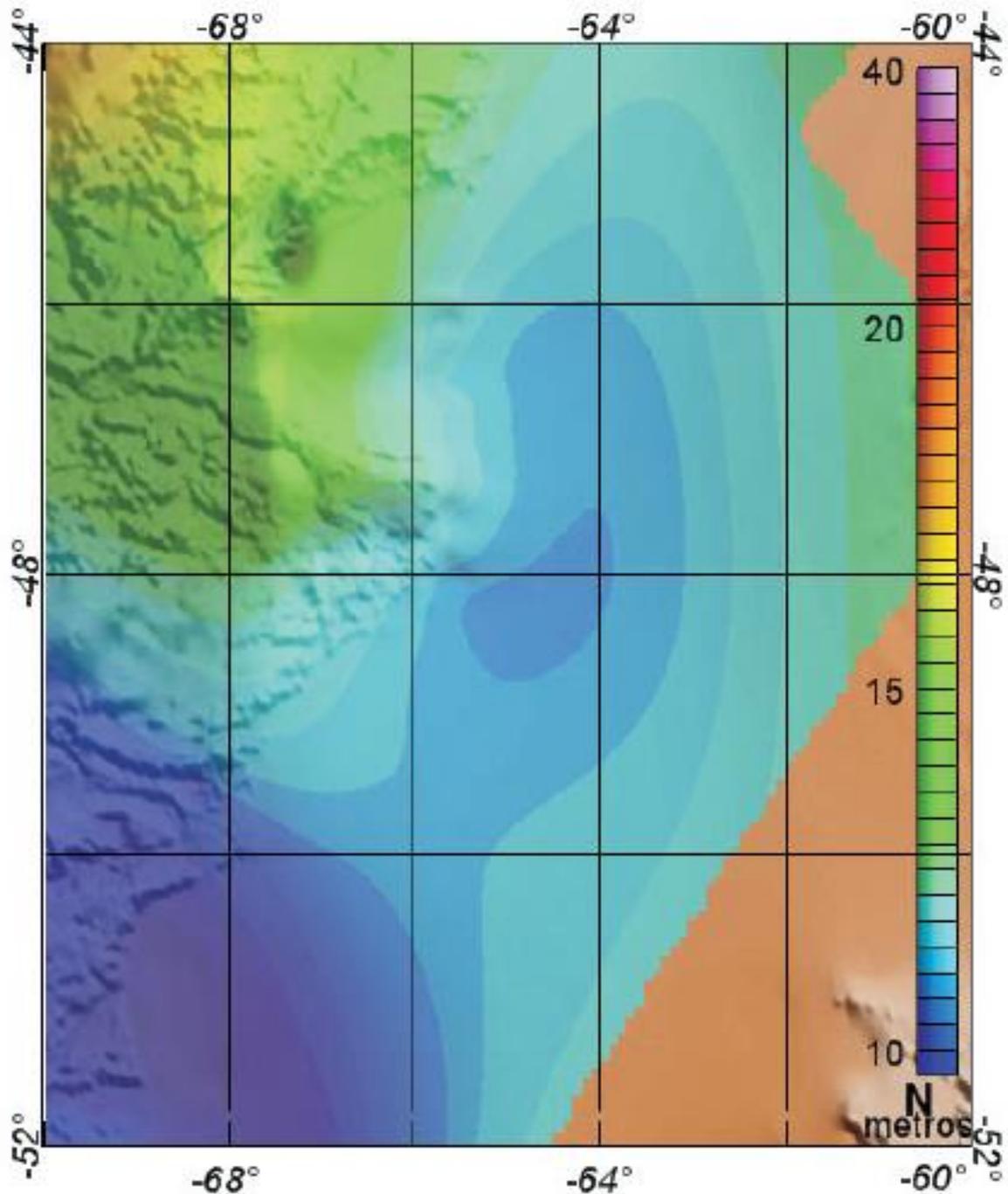
Restitución aerofotogramétrica, Digitalización n°3, del año 1999.

## Anexo 6



Carta Náutica Ría Deseado H-361.

## Anexo 7



### Geoide combinado

Modelo del Geoide local para la aplicación del sistema RTK en levantamientos hidrográficos.

