

INSTITUTO UNIVERSITARIO NAVAL
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR



Tesina de Licenciatura

**“ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DE LA LÍNEA DE COSTA EN
EL PARTIDO NECOCHEA PARA LA DENSIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE
LA LÍNEAS DE BASE”**

Alumna: Técnica Cartógrafa Anahí Maricel Ayala.

Director de tesis: Ing. María Alejandra Arecco.

Co-director: Ing. Enrique Eduardo D'Onofrio



Agradecimientos

La presente Tesis, no hubiera sido posible sin el apoyo de varias personas, a las cuales quiero agradecer.

En primer lugar quiero agradecer a mi directora, la Ing. María Alejandra Arecco, quien además de estar dirigiendo, supervisando, aconsejando y observando cada detalle de este trabajo, agradecerle por su gran apoyo, estímulo y confianza incondicional que siempre puso en mí, y sobre todo su infinita paciencia, que tuvo durante todo estos largos años a que me decidiera poner punto final a esta hermosa y linda carrera.

También agradecer a aquellos grandes y admirables profesionales y que me brindaron su ayuda incondicional de manera desinteresada, solo con el fin de verme con mi título: Enrique D'Onofrio, Fernando Oreiro, Mónica Fiore.

Agradecerle a la Escuela Ciencias del Mar, principalmente por formarme profesionalmente, y por todos los conocimientos brindados, además de brindarme la oportunidad de conocer personas maravillosas, tanto como los profesores y compañeros de cursada.

Al Servicio de Hidrografía Naval por ceder parte del material empleado en esta tesis como las restituciones y la carta náutica.

Al Instituto Geográfico Nacional (IGN) por facilitar el uso de programas como el Global Mapper, el ERDAS y por ceder el material empleado para este trabajo, como las cartas topográficas, mosaico, fotogramas.

A mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional, por confiar siempre en mí en que lo lograría y sobre todo a mis papás por su esfuerzo y empeño que siempre pusieron para que yo logre cumplir mis metas y sueños con absoluta libertad.

Y finalmente para cerrar a mis amigas, amigos y compañeros de trabajos, quienes siempre estuvieron alentando, aportando y siempre aconsejando para que culmine con este sueño para el cual vine a esta ciudad.



Índice

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	5
1.1	Introducción	5
1.2	Objetivos generales	7
1.3	Objetivos específicos	7
CAPÍTULO 2	ÁREA DE ESTUDIO	9
2.1	Área de estudio	9
CAPÍTULO 3	MARCO TEÓRICO	12
3.1	Introducción	12
3.2	Marco geológico	13
3.3	Marco oceanográfico	16
3.3.1	Nivel medio del mar	17
3.3.2	Cambio en el nivel medio del mar	17
3.3.3	Marea astronómica o predicha	19
3.3.4	Onda de Tormenta	21
3.4	Principios de la restitución Aéreo fotogramétrica	21
3.4.1	Evolución de la Fotogrametría	22
3.4.2	La fotografía considerada como una perspectiva geométrica	22
3.4.3	Visión estereoscópica	27
3.4.4	Sistemas de coordenadas utilizados en Fotogrametría	28
3.4.5	Orientaciones	28
3.4.5.1	Orientaciones Analógicas	28
3.4.5.2	Orientaciones Analítica	33
3.4.5.3	Orientaciones Digitales	36
3.5	Proyecciones cartográficas	40
3.5.1	Clasificación de las Proyecciones	40



3.5.1.1	Proyecciones por Perspectivas	40
3.5.1.2	Proyecciones por Desarrollo	41
3.5.1.3	Clasificación de las Proyecciones por sus propiedades	42
3.6	Proyección Mercator	43
3.7	Proyección Gauss-Krüger	45
3.8	Carta Náutica	47
3.9	Carta Topográfica	51
3.10	Posicionamiento	53
3.10.1	El Elipsoide	54
3.10.2	El Geoide	54
3.10.3	Sistema de Referencia	54
3.11	El Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	58
3.11.1	Principio de posicionamiento con GPS	60
3.11.1.1	Posicionamiento absoluto	61
3.11.1.2	Posicionamiento relativo	62
3.11.1.3	Posicionamiento diferencial	62
3.12	Teledetección	62
3.12.1	Espectro Electromagnético	64
3.12.2	Interacción de la radiación solar	66
CAPÍTULO 4	DATOS	68
4.1	Cartas topográficas	68
4.2	Carta náutica	71
4.3	Imágenes Aéreas	73
4.3.1	Restituciones Aéreo-fotogramétricas	73
4.3.2	Fotogramas	77
4.3.3	Mosaico de ortofotos rápidas	79



4.3.4	Fotografías aéreas	80
4.4	Imágenes satelitales	82
4.4.1	Imágenes Spot 5	82
4.4.2	Imágenes Google Earth	83
4.5	Campañas geodésicas de Georreferenciación	85
4.6	Ley Nº 23968- Espacios Marítimos	87
CAPÍTULO 5	METODOLOGÍA	89
5.1	Escaneo	90
5.2	Georreferenciación	90
5.3	Elección del indicador de línea de costa	97
5.4	Digitalización	98
5.5	Superposición de datos	101
5.6	Detección de los cambios de la línea costera	102
5.7	Metodologías para la elección de puntos pertenecientes a las Líneas de base	104
5.7.1	Elección de los puntos de baja densificación	104
5.7.2	Elección de los puntos de alta densificación	104
CAPÍTULO 6	RESULTADOS	106
6.1	Resultado de la baja densificación	106
6.2	Resultado de alta densificación	107
6.3	Análisis comparativo	109
CAPÍTULO 7	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	111
	Bibliografía	113



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

Este proyecto de tesis se realiza en el marco del Proyecto de Investigación del Instituto Universitario Naval (INUN) titulado ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ÁREAS DE EROSIÓN Y ACRECIÓN POR COMPARACIÓN ENTRE LA LÍNEA DE LA COSTA CARTOGRÁFICA vs LA COSTA ACTUAL DURANTE LAS ÚLTIMAS DÉCADAS EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES Cód.: B-ESCM-01/13. Realizado en las Unidades Académicas Escuela de Ciencias del Mar – (ESCM) y el Departamento Hidrografía del Servicio de Hidrografía Naval del Ministerio de Defensa. Como una necesidad del Servicio de Hidrografía Naval (SHN), específicamente del Departamento de Hidrografía del SHN, de densificar puntos de las “Líneas de Bases Normales” (línea de costa) de la Argentina, según lo estipula la ley N° 23.968, se permitió encarar el estudio y el acceso a parte de la información. Estos puntos, cuya importancia es primordial para la soberanía nacional ya que definen el Mar Territorial (12 M) no pueden ser elegidos arbitrariamente. Los puntos pertenecientes a las Líneas de Base se utilizan para construir los arcos de 12 M por lo cual dependen no sólo de su ubicación estratégica sino también de la estabilidad de la costa. Por este último motivo se realizó el estudio de la variación de la línea costera a partir de imágenes tomadas estos últimos 68 años aproximadamente. En el caso de encontrar cambios en la delineación de la línea costera deberían ser aislados los tramos variables y confirmar los estables.

La línea de costa es parte del espacio costero, que en la provincia de Buenos Aires ha sido estudiado por diversos autores ya que condiciones y usos ejercidos desde el pasado a la actualidad, han causado cambios en las tendencias naturales del entorno. Se pueden citar los estudios de Fiore *et al.* (2009) y Campetella *et al.* (2006), en cuanto a las ondas de tormenta principales responsables de la variación de la línea costera en las playas, de D’Onofrio *et al.* (2008) en cuanto a la variación del nivel medio del mar, de Marcomini y López (1997) y Marcomini *et al.* (2007) quienes evaluaron la erosión y manejo costero de Necochea, Villa Gesell y Las Toninas, de Celsi y Monserrat (2005) quienes han estudiado la evolución de dunas de Monte Hermoso y Pehuencó, finalmente estudios realizados por Arecco *et al.* (2013) en la zona de Mar de Plata han mostrado, como en los últimos 50 años, importantes variaciones acumulativas o acresionales de arena en las playas se han registrado utilizando imágenes. Si bien la erosión de la línea de costa es un problema global



(Bird, 1985) y las causas pueden ser tanto de índole local, como regional, naturales o antropogénicas, a escala local se requiere un mejor y más detallado estudio.

En particular el partido de Necochea no escapa a la dinámica natural expresada anteriormente y presenta un panorama variado. Como es sabido, el motor del desarrollo económico del partido está formado por la actividad portuaria y turística; además, ambas comparten un ámbito relativamente estrecho de la costa por lo cual es importante constatar cuanto ha variado la posición de la línea costera para un mejor conocimiento. Por otra parte, el grado de certeza en la ubicación de la línea de costa tiene relevancia desde el punto de vista del conocimiento estratégico y económico para el municipio. Bajo el punto de vista cartográfico la variación de la línea costera con el transcurso del tiempo produce secuelas, como por ejemplo, la desactualización en la representación gráfica de la misma.

Necochea es considerada una de las mejores ciudades balnearias de la Argentina por tener amplias playas, y suave declive. Estas se desarrollan aproximadamente a lo largo de 72 km y en algunas zonas alcanzan aproximadamente un ancho de 200 m.

Las actividades económicas más relevantes son la agroindustrial, la agrícola, la portuaria, la turística y la comercial. El Puerto Quequén, se encuentra ubicado entre las ciudades Necochea-Quequén, es decir, la ciudad de Necochea se ubica al oeste y la ciudad de Quequén al este del puerto, también se lo caracteriza por estar en una zona estratégica que es sobre el litoral atlántico (http://www.nuestromar.org/servicios/puertos/puertos_maritimos/pto_quequen).

Esta zona cuenta con un muy buen rendimiento productivo, lo que beneficia al puerto, dándole una buena salida para los excedentes agrícolas y un eficaz acceso a las rutas internacionales (http://www.nuestromar.org/servicios/puertos/puertos_maritimos/pto_quequen).

El puerto diferencia su actividad dependiendo del lado de la ribera, del lado de Quequén, se realizan actividades de mayor importancia económica como embarques de granos, subproductos, aceites y madera en astillas (chips). A diferencia del lado de Necochea, en donde se desarrollan actividades de carga general, sobre todo aquellas ligadas a la industria pesquera, exportación de madera, cemento e importación de fertilizantes (http://www.nuestromar.org/servicios/puertos/puertos_maritimos/pto_quequen).



Dicho puerto, es de gran importancia, tanto en el área económica, social y medioambiental ya que contribuye de manera positiva al crecimiento de las comunidades que se encuentran en la región

(http://www.nuestromar.org/servicios/puertos/puertos_maritimos/pto_quequen).

1.2. Objetivos generales

El primero de los objetivos de este trabajo final de tesis es mostrar si existe o no variación planimétrica en el espacio de la línea costera durante el transcurso del tiempo (1947-2015), en el partido de Necochea. En el caso positivo, aislar los tramos de línea costera más inestables, y en el caso negativo colocar puntos, sobre la línea de costa, útiles para la realización de los arcos de 12 M.

Recopilar material como imágenes aéreas (antiguas y modernas), satelitales, cartas topográficas y náuticas, restituciones de vuelos fotogramétricos y datos de campo para la georreferenciación de las imágenes no georreferenciadas.

Seleccionar el indicador de línea costera dentro de la variedad existente de posibles definiciones.

De los resultados que arrojen los mapas antes mencionados, la línea costera del partido de Necochea, se clasificará en zonas según la tendencia de los resultados sea de variable o constante.

No es el propósito de este trabajo discriminar el motivo del cambio, si es natural o debido a la acción del hombre, sino evaluar el cambio de posición planimétrica del indicador de la línea costera definido previamente en el lapso de tiempo establecido.

Transferir los resultados del presente trabajo al Servicio de Hidrografía Naval, puntualmente al Departamento de Hidrografía.

1.3. Objetivos específicos

Para elaborar un análisis temporal de la línea costera en el área propuesta y cumplir los objetivos planteados se realizarán las siguientes acciones:

1. Depuración de las distintas fuentes de datos.



2. Adopción de un marcador de la línea costera común al conjunto de datos mencionados.
3. Adopción de un sistema de referencia (WGS84) y georreferenciación de las distintas fuentes de datos.
4. Obtención de la línea de costa digitalizada de las distintas fuentes clasificándolas por año.
5. Obtención del mapeo de los puntos que componen las Líneas de Base y el tipo de línea que unen, normal o recta (Definición de línea normal en el capítulo 4, título 4.6)
6. Obtención, en un mismo proyecto digital, de los mapeos de las líneas de costas digitalizadas y los puntos de las Líneas de Base.
7. Clasificación de los resultados del ítem anterior por tramos, según hayan resultado estables o variables.
8. Producción de puntos para la conformación de la densificación alta de la Línea de Base y realización de los arcos de 12 M.
9. Obtención de las áreas resultado del emplazamiento de los arcos de 12 M del punto anterior.
10. Producción de puntos para la conformación de la densificación baja de la Línea de Base y realización de los arcos de 12 M.
11. Comparación de las áreas barridas por una u otra densificación de puntos y obtención de las diferencias en km^2 .



CAPÍTULO 2

ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Área de estudio

La provincia de Buenos Aires es una de las 23 provincias que componen la República Argentina, siendo su capital La Plata. Está situada en la región centro-este del país, comprendida entre los paralelos 31° y 41° de latitud Sur y entre los meridianos 55° 30' y 64° 30' de longitud Oeste (Figura 1). Limita al norte con la provincia de Entre Ríos, de Santa Fe y de Córdoba; al sur con el Mar Argentino y la provincia de Río Negro, al este con el Río de la Plata, la Ciudad de Buenos Aires y el Mar Argentino y al oeste con las provincias de Córdoba, de La Pampa y de Río Negro. Con una población de 15.517.831 habitantes (38,7 % del total del país) y una densidad media del 50,4 hab/km², es la provincia más poblada de la República Argentina, (Atlas Geográfico de la República Argentina, 2015).

Su superficie es de 307.571 km² y es la segunda unidad política en superficie (8,2 % del total del país). Su relieve forma parte de la extensa llanura pampeana. En el centro y sur de la provincia se elevan los sistemas de Tandilla y Ventania y entre ambos se interpone una planicie ondulada, drenada por ríos y arroyos que bajan de ambos sistemas. La mayor elevación provincial es el cerro Tres Picos de 1239 metros, en el sistema de Ventania. Los cursos fluviales más importantes son el curso inferior del río Paraná, el río Salado y el Río de la Plata. Considerándose la posición latitudinal, el relieve y la cercanía al océano, es característico de este espacio el clima templado, variedad oceánico, pampeano y de transición. Los vientos locales son: la Sudestada, el Norte y el Pampeano, (Atlas Geográfico de la República Argentina, 2015).

La provincia de Buenos Aires agrupa diversas actividades económicas como la pesca, el turismo, la agricultura extensiva, el comercio, la minera, la industria automotriz, química, textil, etc., además de ser una vía natural para el transporte de materias primas como productos agrícolas a través de los puertos.

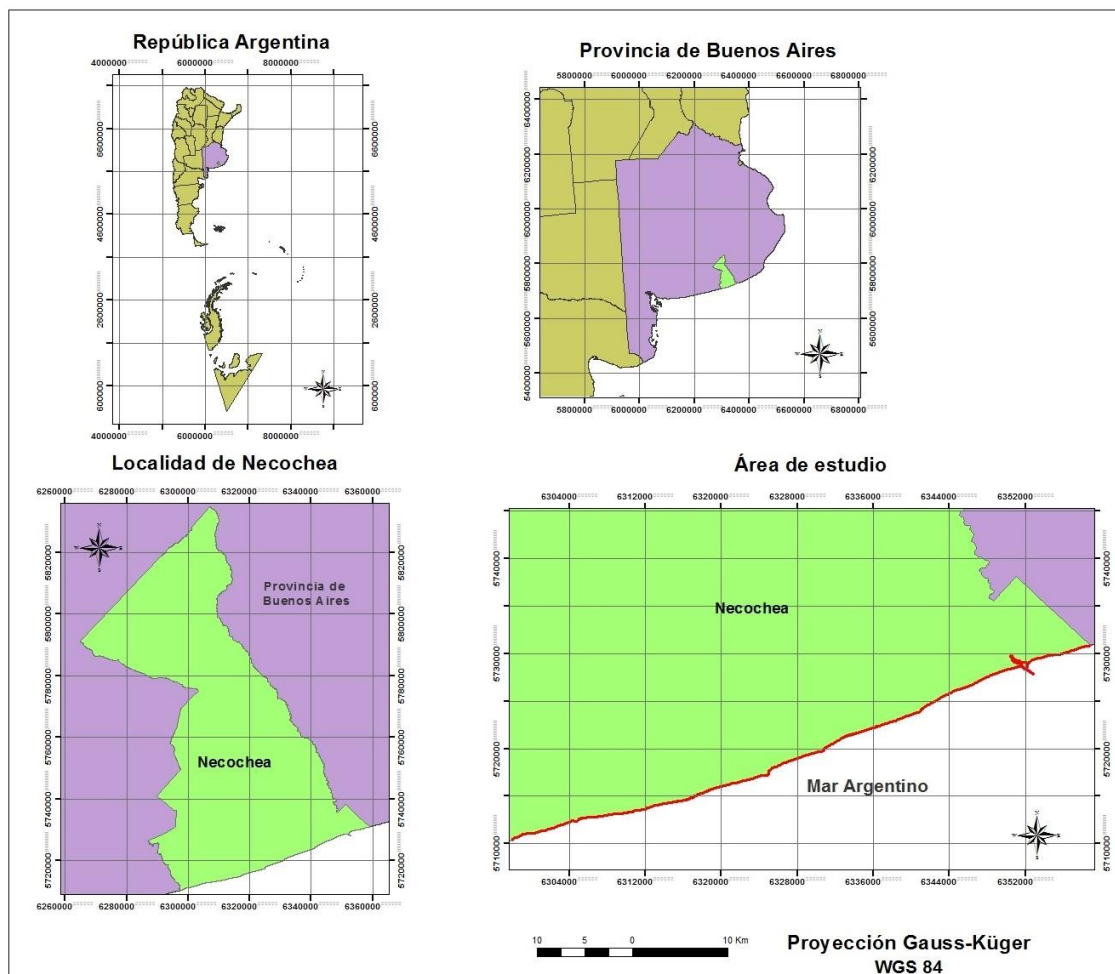


Figura 1: Mapa ubicación de la zona de estudio (Proyección Gauss-Krüger. WGS84)

El Partido de Necochea, el cual corresponde a parte del área de estudio de esta tesis, se encuentra ubicado al SE de la provincia de Buenos Aires; sobre el Mar Argentino en su lado Sur. Linda al Oeste con el Partido de San Cayetano, al Norte con el Partido de Benito Juárez y al Este con los Partidos de Tandil y Lobería. La ciudad de Necochea, cabecera del Partido, se encuentra ubicada en el vértice SE, a los 38° 34' Latitud Sur - 58° 40' Longitud Oeste. La superficie total del partido es de 4.791,57 Km² (<http://www.necocheanet.com.ar/la-ciudad/datos-geograficos>).

En esta zona el clima es templado. Las precipitaciones medias anuales son de 947 mm, registrándose en enero y marzo los máximos mensuales y los mínimos en septiembre. Aproximadamente se estiman unos 32 días de tormenta y 115 días de lluvia al año. La temperatura media ronda en los 14 °C, con mínimas de -3,9 °C y máximas de 39,9 °C. Los vientos frecuentes son los del norte con una velocidad media de 9 km/h, le siguen los del sur y este con velocidades de 20 y 17 km/h respectivamente. Los vientos del sudoeste son los de mayor velocidad con una



velocidad media de 24 km/h, (http://digital.bl.fcen.uba.ar/gsd-282/Libro_0002_Marcomini/5_riesgos/index.htm).

En el puerto de Quequén las alturas de ola son de 1,33 m, con períodos que varían entre 7 y 10 segundos. La media anual de la potencia del oleaje es 7,5 kW/m y el promedio máximo anual alcanza los 61,3 kW/m, (Lanfredi *et al.* 1992).

El régimen de marea es semidiurno con desigualdades diurnas alcanzando una amplitud de marea de 2 m en Necochea. Las playas son disipativas; la pendiente media es de 2° 40' y el ancho de playa varía, por lo general alrededor de los 50 m en costas acantiladas a 200 m en costas de dunas (Necochea, cercanía a la escollera). Las playas están constituidas por arena mediana a fina (Marcomini, *et al.*, 2007).

La textura del suelo varía entre franca - arenosa y franca - arcillosa. Por su alto contenido de materia orgánica son suelos aptos para los cultivos. Ricos en calcio, potasio y en menor grado en fósforo. En su mayor parte cuenta con relieve llano, pero a lo largo de la costa marítima, se extiende una ancha franja medanosa. (<http://www.necocheanet.com.ar/la-ciudad/datos-geograficos>).

Existen variadas lagunas. Dos cursos de agua son límite natural con partidos vecinos, el arroyo Pescado Castigado y el río Quequén Grande. Otros arroyos son El Dulce, el Quequén Grande, El Zanjón, el Calengueyú, La Reserva, Mendoza y Calaveras. (<http://www.necocheanet.com.ar/la-ciudad/datos-geograficos>).

El Parque Miguel Lillo debe su nombre al botánico Tucumano, que luchó por el mantenimiento de los espacios verdes, es una reserva forestal de 640 hectáreas paralelas a la costa y por sus características es único en el país ([www.ciudadnecochea.com/Parque Miguel Lillo.htm](http://www.ciudadnecochea.com/ParqueMiguelLillo.htm)).



CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

3.1. Introducción

La erosión de la línea de costa es un problema global. Por lo menos, el 70% de las playas arenosas del planeta están sufriendo este proceso (Bird, 1985). El impacto de este fenómeno erosivo en la costa no es aún conocido dada la escasez de estudios físicos para entender la dinámica del litoral, conocer acerca de los agentes que participan en ella así como sus consecuencias directas e indirectas de las poblaciones y las actividades antrópicas. Kokot, R. (1999) publicó un aumento de los procesos erosivos a lo largo de la costa de la provincia de Buenos Aires durante las últimas tres décadas del siglo 20. Este autor relacionó la mayor erosión con cambios en los procesos atmosféricos y oceánicos que parecen ser una consecuencia del cambio climático.

Los estudios del nivel medio del mar tienen una relación directa con la actualización de la línea costera, así como, aquellos que tienen en cuenta el aumento en la frecuencia, intensidad y duración en los eventos de ondas de tormenta ocurridos en el Río de la Plata. (D'Onofrio *et al.*, 2008) y encuentran un patrón similar para los eventos de ondas de tormenta positivos en Mar del Plata (Fiore *et al.*, 2009).

Chen y Rau (1998) detectan cambios de la línea de costa usando imágenes satelitales multi temporales, en el monitoreo de la erosión de la costa mediante modelos espaciales y análisis. Casal *et al.* (2010) muestran como generar una línea de costa utilizando fotointerpretación y segmentación dinámica. Boak y Turner (2005) realizan una recopilación de indicadores de costa para una mejor detección. Y Tarig (2010) realiza un análisis geométrico de los cambios de la costa basados en las representaciones de la costa en sistemas de información geográfica (SIG)

En el mundo se han implementado métodos para la detección de costas a partir de sensores remotos Boak y Turner (2005) y Lim *et al.* (2008), métodos de detección automática (Shah, 2001) u obtención de tasas de cambio a partir de métodos polinomiales (Romine *et al.*, 2009). Por otra parte las imágenes satelitales han demostrado su eficacia en la identificación de características costeras, pero además se ha probado la calidad en la georreferenciación de las imágenes Puig *et al.* (2001), Chen y Rau (1998), Boak y Turner (2005) y Casal *et al.* (2010) o formaciones geológicas costeras Marchionni y Cavayas (2010).



Debido a los objetivos que nos hemos planteado en esta tesis y a posibles cambios en el nivel del mar, y erosión de las costas en esta tesis nos basamos en los siguientes marcos teóricos:

- El marco geológico que es el que nos permite comprender el análisis de la evolución geológica de la costa.
- El marco oceanográfico que nos permite considerar el cambio del nivel medio del mar el cual produce consecuencias directas sobre la línea costera.
- El marco de las imágenes estereoscópicas y centrales en el que se basan y definen gran parte de nuestros datos.
- El marco de la representación cartográfica, también sustenta parte de nuestra información.
- Y finalmente en el marco teórico geodésico que da sustento a la medición de distancias del sistema y del posicionamiento satelital GPS método empleado en las campañas de geo posicionamiento de las imágenes que contaban con un sistema de posicionamiento diferente al WGS 84.

3.2. Marco geológico

Es una zona, que se encuentra afectada por constante cambios, la cual siempre en su formación está intervenida por los procesos fluvial, marino y eólico. El fluvial se evidencia por la presencia de ríos principales que corren perpendiculares a la línea de costa. Siendo el río principal el río Quequén Grande (Marcomini, *et al.*, 2007).

El proceso eólico se lo justifica por la presencia de campos de duna activos, inactivos y forestados. Las dunas activas cubren los acantilados en varios sectores. Adoptan crestas transversales, con una alineación NNE, cuya cara de impacto se ubica hacia el NO. Se encuentran al norte de Costa Bonita, por una extensión de 1,5 km desde el pie de duna. Los espacios interdunales están desprovistos de vegetación, (Isla *et al.*, 2001; Marcomini, *et al.*, 2007; Bértola y Merlotto, 2010).

En cuanto a la morfología marina se ha detectado la influencia de geoformas de erosión con el desarrollo de acantilados y plataformas de abrasión. Se diferenciaron acantilados con distintas morfologías en el sector de estudio, clasificándolos de la



siguiente manera: acantilados activos, inactivos, inactivos con rampas eólicas o con rampas mixtas (Isla *et al.*, 2001; Marcomini, *et al.*, 2007; Bértola y Merlotto, 2010).

Los acantilados activos presentan un importante retroceso de la línea de costa y se encuentran unidos a una plataforma de abrasión de gran desarrollo. Se los ubica al norte de la localidad de Las Grutas, y al sur en el sector de bahía de los Vientos. Tienen una altura media de 6 a 7 m. Comúnmente, por la erosión del oleaje en la base se forman cavernas. Las plataformas de abrasión mayormente carecen de sedimentos arenosos. La exposición al oleaje es alta ya que la base de los mismos es lavada durante las pleamares. Tienen un perfil de pendientes muy abruptas variables de 53° a 80° . Los acantilados inactivos, se debe a que su base es alcanzada por lo general en pleamares de sicigias o en tormentas. Cuentan con un pie de playa poco desarrollada (Marcomini, *et al.*, 2007; Monserrat, 2010).

Es frecuente encontrar los acantilados ocultos por rampas eólicas. Estas rampas se generan en acantilados cubiertos por campos de dunas activos y con buen desarrollo de la playa al frente de los mismos. Las rampas están constituidas por arena fina bien seleccionada. La playa posee berma de lavado, por ello la base del acantilado no es alcanzada repetidamente por el oleaje. Dichas rampas tienen una pendiente de 20° y alcanzan alturas de 3 a 4 m. Puede darse también, que alguna lleguen a la altura del acantilados. Esta se encuentra al oeste de Punta Negra, al norte de Las Grutas y al norte de Quequén. Los acantilados con rampas mixtas se han reconocido al sur de Las Grutas. Se generan cuando el acantilado cuenta con una playa considerable en el frente y a su vez está asociado en la parte superior con campos de dunas inactivos. En estos casos la base del acantilado solo es alcanzada ante eventos extraordinarios y por consiguiente modelan su configuración la alternancia de eventos donde predomina la remoción en masa o el proceso eólico. Cuando el aporte continental es más intenso las rampas se generan por meteorización y caída formando depósitos de talud. Durante precipitaciones intensas las rampas se cubren por depósitos de flujos. Durante períodos con vientos intensos (del cuadrante sur), se genera una importante deriva eólica a lo largo de la playa sepultando o cubriendo los depósitos anteriores. Asimismo la acción del oleaje durante estos eventos escarpa las rampas. (Marcomini, *et al.*, 2007)

Las rampas eólicas se forman desde la base del acantilado y van creciendo hacia arriba. Los depósitos de talud se forman con aporte del sector extremo del acantilado, y por lo tanto provienen del sector continental. Durante las tormentas estas rampas se cortan e inician un nuevo ciclo de generación. Las rampas también son erosionadas



por las precipitaciones, mediante la generación de cárcavas y rills en la superficie debido a la baja permeabilidad de los depósitos limoarenosos (http://digital.bl.fcen.uba.ar/gsdl-282/Libro_0002_Marcomini/5_riesgos/index.htm).

La aerodinámica del campo de dunas fue alterada por factores como, la urbanización de las ciudades de Necochea-Quequén, la forestación del campo de dunas, que conformaba el parque Miguel Lillo y la construcción del puerto. La urbanización y forestación a lo largo de 12 km de costa generó una barrera eólica alterando las tasas de ingreso de arena al sector ubicado entre Quequén y bahía de los Vientos. La forestación del Parque Miguel Lillo, indujo una onda aerodinámica erosiva hacia el noreste. La ciudad de Necochea varió y degradó la duna costera para la construcción de la rampa, igual se puede decir que en la actualidad no se detectaron efectos erosivos, debido a la intensa acumulación que se genera por la retención de arena en la escollera sur. Del lado noreste, la subsaturación litoral producida por las escolleras ha intensificado la onda erosiva, con una concentración muy importante en bahía de los Vientos, (Marcomini, *et al.*, 2007; Marcomini y López, 1997).

Para la formación de rampas eólicas los factores que influyen principalmente, son el aporte de sedimentos, la frecuencia y magnitud de las grandes tormentas y la velocidad y dirección de los vientos predominantes, (Marcomini, *et al.*, 2007; Marcomini y López, 1997).

El aporte local está limitado por las corrientes litorales, siendo importante también la dinámica de los bancos interiores y el ingreso de barras de lavado al sistema litoral. También influye el ancho de playa en el desarrollo de las rampas eólicas, la cual lo hace de dos diferentes maneras: moderando la acción del oleaje durante las tormentas y aumentando el alcance del transporte eólico. Así una playa ancha minimiza la frecuencia de la erosión e incrementara el desarrollo de las rampas. Se pudo detectar que en el área de estudio las morfologías estables del perfil de playa (bermas estables, de tormenta o mareales) cooperan a la formación de rampas, dado a que el volumen de la arena en la playa seca aumenta y esto genera que crezca la tasa de transporte eólico en la playa posterior. Suele suceder que las bermas se transporten por la acción del viento y pasen a formar parte de las rampas, por ello se hace común encontrar playas extensas sin el desarrollo de bermas (Marcomini y López, 1999, 1997; Marcomini, *et al.*, 2007).

Las tormentas debido a su frecuencia y magnitud, provocan el aumento del escarpamiento y limitan el tiempo para la formación de las rampas. Los vientos hacia



la costa aportan sedimentos de la playa hacia las rampas, pero por la baja humedad y bajo gradiente de playa el alcance eólico es restringido. Los que más aportan sedimentos son los vientos oblicuos, en esta zona serían los vientos del E y SE y S - SO. En general las rampas trepan sobre el acantilado y alimentan los campos de dunas colgadas, donde la actividad de estos campos de dunas va a depender del desarrollo de las rampas eólicas. La generación de rampas está asociada a un buen desarrollo de la playa, esencialmente a la playa posterior o al desarrollo de campos de dunas activos colgadas. Las playas se encuentran apoyadas en una extensa plataforma de abrasión y desarrollan bermas mareales. Posteriormente a las fuertes tormentas de viento, los sedimentos de la playa son transportados formando dunas que migran hacia el acantilado y que terminan adosándose a la base del mismo. El nivel de la playa posterior aumenta gracias a las rampas, de tal manera que las crestas alcanzan la altura del acantilado, y a su vez alimentan los campos de dunas colgadas. Los vientos del sur son los menos frecuentes, pero los más intensos. Los de mayor frecuencia son los del norte, en estos casos sucede que la alimentación se da en sentido inverso, es decir, de los campos de dunas colgadas hacia la playa. Sucede que cuando se producen las tormentas extraordinarias las rampas son escarpadas y pierden gran cantidad de arena, pero benefician a que erosión de los acantilados se minimice. Una vez que la tormenta paso, ocurre que las rampas vuelven a alcanzar su perfil de equilibrio, y posteriormente pierden la humedad y vuelven a alcanzar el ángulo de reposo de la arena. (Marcomini y López, 1997; Marcomini, 2002; Marcomini, *et al.*, 2007).

Las rampas mixtas se desarrollan en las áreas costeras donde el oleaje y la actividad eólica son mínimos, lo que produce que el acantilado se encuentre afectado por la meteorización y debido a ello por la remoción en masa y fluvial de origen continental (Marcomini y López, 1997; Marcomini, 2002; Marcomini, *et al.*, 2007).

Concluyendo en el área de estudio, se da que el desarrollo de las rampas sucede con mucha más frecuencia en otoño-invierno posteriormente a la época de mayor recurrencia de tormentas que es en el verano. Dándose de tal manera, que se genera una alternancia entre periodos con dominio de procesos continentales y otros con formación de rampas (Marcomini, 2002; Marcomini, *et al.*, 2007).

3.3. Marco oceanográfico



Al tomar los registros de la altura de agua, por medio de una regla o un mareógrafo, dicho valores se encuentran compuestos por 3 términos: nivel medio del mar, marea astronómica, onda de tormenta.

3.3.1. Nivel medio del mar

Se define al nivel medio del mar como la media aritmética de alturas registradas en un mareógrafo en forma horaria (o en un intervalo menor) que son obtenidas en un periodo variable, éstos periodos están referidos a los ciclos completos de marea por ejemplo, un mes, un año ó 19 años. Esto se hace para eliminar la influencia de la marea en el cálculo del nivel medio (D'Onofrio, 2011).

Sucede que la fuerza de atracción gravitatoria ejercida por la Luna y el Sol sobre la Tierra en rotación, produce deformaciones en su superficie, y dichos periodos se encuentran afectados por esta fuerza, la cual va a variar dependiendo de las posiciones relativas adoptadas por el sistema Tierra-Luna-Sol.

Las mareas terrestres, como tienen poca amplitud, no son detectables para el humano, por lo cual se usa un instrumento de precisión para la medición de dicha marea. En los océanos se generan ondas de marea de aproximadamente 40 cm o 50 cm de amplitud que se propagan hacia las costas, donde al disminuir la profundidad y entrar en las plataformas continentales, por efecto de resonancia la amplitud varía, llegando a alcanzar amplitudes de 12 m, este fenómeno se puede observar en Río Gallegos, provincia de Santa Cruz, (D'Onofrio, 2011).

Se sabe que el geoide se lo define como la superficie de nivel del campo de gravedad terrestre que se aproxima al nivel medio del mar y el cual es esencial para los trabajos geodésicos, geofísicos y oceanográficos, por ello el nivel medio del mar determinado por la cantidad de 18,67 años de observación (ciclos de los nodos de la Luna), es el que se toma como buena primera aproximación al geoide. Tomando como este nivel medio, podría exceder el metro de diferencia como máximo con el geoide, (D'Onofrio, 2011).

3.3.2. Cambio en el nivel medio del mar

Hace unos 21.000 años, luego del último periodo glacial, por consecuencia del derretimiento de los hielos, el nivel del mar ascendió globalmente unos 125 m. Hubo estudios de comparación que se realizaron de los últimos 2000 o 3000 años de la variaron del nivel medio con la variaron registrada durante el siglo XX, de los cuales



se obtuvieron resultados llamativos, ya que dicha variación fue muy pequeña en comparación con esta última etapa del siglo XX (<http://www.pol.ac.uk/psmsl/longrecords/longrecords.html>).

Se detectaron en las últimas dos décadas del siglo XX ascenso del nivel medio del mar por consecuencia del cambio climático global. Las elevadas temperaturas que general el derretimiento de las grandes masas de hielo y la expansión térmica del agua oceánica, producen el ascenso relativo del nivel del mar. Pero existen zonas donde se produce un descenso del nivel del mar, como es el caso de ciudad de Sitka (Alaska), que se produce una elevación isostática de la tierra, por la disminución de la capa de hielo. La isostasia, para entender mejor este fenómeno es comparada con la flotación, ya que la misma busca el equilibrio de las unidades de la corteza que se encuentran sobre el manto terrestre de mayor densidad. Entonces como ya se mencionó, la eliminación de la capa de hielo produce un alivio en el peso y busca equilibrarse por ascenso, a través de movimientos verticales de la corteza, al elevarse el movimiento del nivel del mar da como resultado negativo o descenso del mismo.

A partir de la década del 80, se realizaron cálculos para evaluar la tendencia del nivel medio referidos a puntos fijos ubicados en las costas argentinas, obteniéndose como resultado una concordancia con los calculados a nivel global (aproximadamente +2mm/año, para el siglo XX). Dicha tendencia es denominada relativa, ya que no tiene en cuenta el movimiento vertical de la corteza terrestre donde están colocados los puntos fijos. Para obtener una tendencia absoluta del nivel medio del mar el Servicio Internacional de Posicionamiento Global International GPS Service (IGS, por sus siglas en inglés) implementó un proyecto piloto de monitoreo de las ondas de marea, el *GPS Tide Gauge Benchmark Monitoring-Pilot Project* (TIGA-PP, http://adsc.gfz-potsdam.de/tiga/index_TIGA.html), cuyo objetivo es monitorear con equipos GPS (*Global Positioning System*) puntos fijos ubicados en las estaciones mareográficas o cercanos a ellas para detectar movimientos verticales de la corteza terrestre.

Obteniendo dichos resultados y luego aplicarlos a las mediciones relativas del nivel medio del mar permiten obtener valores absolutos. Los cuales son de gran importancia para los estudios de cambio climático y también se los puede utilizar para la calibración de altímetros satelitales y otras actividades oceanográficas, (D'Onofrio, 2011).

Las consecuencias debido al aumento del nivel medio, produce que las aturas de la marea, durante las tormentas generadas, sean cada vez más altas, lo que genera un



incremento de inundación y erosión en las zonas costeras más bajas. También vale agregar que se realizaron investigaciones donde afirman que el anticiclón del Atlántico Sur, se está desplazando de manera lenta hacia al sur, lo que incrementa el número de sudestada. Las sudestadas, suelen generar inundaciones en las zonas costeras, en forma directa y/o indirecta cuando impiden la descarga normal de los cursos de agua. Un caso es en la ciudad de Buenos Aires, que durante una sudestada, el nivel del río crece, la cual actúa como un tapón hidráulico en la desembocadura de los desagües, generando así que el agua reingrese a la ciudad.

En la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires, como es el caso de la ciudad de Mar del Plata, hasta la segunda década del siglo XX, presentaban un balance natural. Pero a causa del crecimiento de la ciudad y la construcción de diferentes obras costeras, generaron graves problemas de erosión. Esta erosión, últimamente no afectó solo a las playas sino también parte de la ruta interbalnearia. Este ascenso del nivel del mar, habilita a un mayor avance de las olas sobre la playa, favoreciendo la acción erosiva del mar.

3.3.3. Marea astronómica o predicha

Se entiende por marea astronómica o lunisolar a la oscilación periódica del nivel del mar que resulta de la atracción gravitacional de la Luna y el Sol que actúan sobre la Tierra en rotación. Estas por su carácter determinístico permiten su predicción y la confección de Tablas de Marea, las cuales son publicadas anualmente por el Servicio de Hidrografía Naval.

El cálculo de la fuerza de marea (f_m) es la resultante de la suma de la fuerza de atracción del astro (f_a) y de la fuerza centrífuga (f_c) debida a la rotación de la Tierra alrededor del centro de masa del sistema Tierra – Astro. Para calcular f_m en un punto (P) (Figura 2) de la superficie de la Tierra se la descompone en f_v y f_h , según un eje normal a la superficie de la Tierra (v) y otro tangente a la misma (h) (http://oceanografia-gral-fis.at.fcen.uba.ar/TP4-Biol&Geol/Mareas_2010).

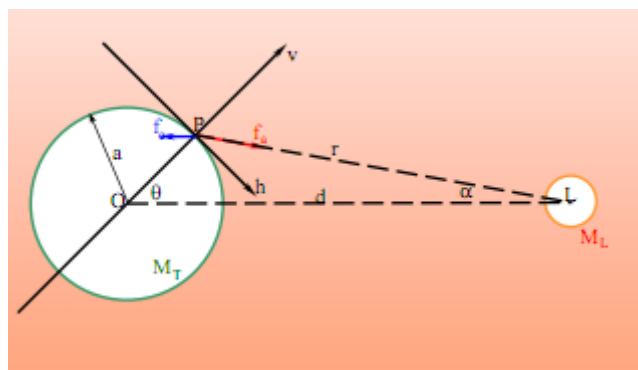


Figura 2: Calculo de la fuerza marea, (Tomado de http://oceanografia-gral-fis.at.fcen.uba.ar/TP4-Biol&Geol/Mareas_2010.pdf)

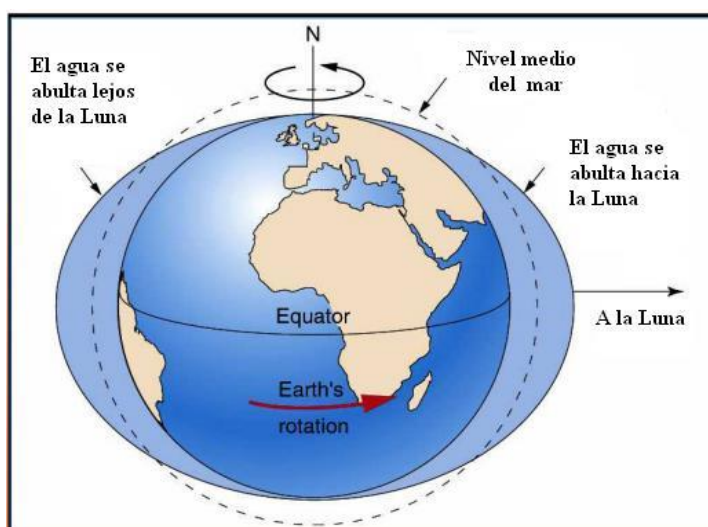


Figura 3: Observación de la marea generada por la Luna, (Tomado de http://oceanografia-gral-fis.at.fcen.uba.ar/TP4-Biol&Geol/Mareas_2010.pdf)

Al comparar las masas y las distancias desde la Tierra a otros astros, se puede decir que los únicos generadores de marea son la Luna y el Sol. La Figura 3 muestra la deformación teórica del agua provocada por la fuerza de marea debida a la Luna. La magnitud de la fuerza de marea, en todos los casos es mucho menor que la fuerza de gravedad terrestre. Luego la componente vertical de la fuerza de marea es anulada por la fuerza de gravedad, resultando ser la componente horizontal, la fuerza de marea que provoca este fenómeno. Las fuerzas de marea vertical y horizontal, se escriben en función de longitudes astronómicas medias.

Cada uno de los términos de estas expresiones puede ser pensado como originado por un astro ficticio. Cada astro ficticio representa a una componente de marea. La



suma de los efectos de todos los astros ficticios es equivalente a los debidos a la Luna y el Sol. Cada componente representa un cambio periódico o variación en las posiciones relativas de la Tierra, Luna y Sol.

Finalmente la altura observada de la marea puede calcularse como suma de un cierto número de mareas parciales. En cada punto de la Tierra cada marea parcial tiene amplitud y fase distinta y características de cada lugar geográfico.

3.3.4. Onda de Tormenta

Las ondas de tormenta (*storm surges*) son las modificaciones del nivel del agua producidas por cambios bruscos de presión atmosférica y efecto de arrastre del viento, que alteran a la marea astronómica. Su duración puede variar desde algunas horas hasta 2 ó 3 días produciendo, en ocasiones, alturas que difieren en más de 1 m con las de la marea predicha.

Históricamente, en muchas áreas costeras, se han ocasionado inundaciones catastróficas, a causa de la coincidencia de las grandes ondas de tormenta con las pleamares astronómicas más, (D'Onofrio, 2011).

3.4. Principios de la restitución Aéreo fotogramétrica

Casi todas las cartas de navegación se realizan a través de la fotogrametría aérea. Gracias a esta técnica es posible realizar cartas topográficas de amplias áreas en tiempos relativamente cortos, en vez de los muchos años que se requieren con las técnicas tradicionales.

El concepto de fotogrametría se podrá resumir en “medir sobre fotos”. Si se trabaja con una foto se puede obtener información, en primera instancia, de la geometría del objeto, es decir, información bidimensional. Si se trabaja con dos fotos que tengan una zona de superposición (zona solape), es posible obtener visión estereoscópica, o dicho de otro modo, información tridimensional.

Trabajando con varias fotos, con diferentes procedimientos y asociando los datos de un sistema de coordenadas ortogonal (X,Y,Z), es posible obtener información precisa de las dimensiones, formas y posición de los diferentes objetivos que se encuentran sobre la superficie terrestre, de manera tal que luego puedan ser representados en la cartografía, (Orellana Ramírez, 2006).

3.4.1. Evolución de la Fotogrametría

Se pueden distinguir básicamente tres etapas: Fotogrametría Analógica, Fotogrametría Analítica y Fotogrametría Digital, (Ramírez, Rodrigo Orellana, 2006).

El paso de la Fotogrametría Analógica a la Analítica únicamente supuso una evolución en el modo de trabajar apoyada por la aparición de los sistemas informáticos, obteniendo mejores rendimientos y precisiones al sustituir la analogía mecánica por los cálculos matemáticos, el paso de la Fotogrametría Analítica a la Digital supone un cambio radical en cuanto a la instrumentación, al proceso fotogramétrico y en cuanto a los resultados por los que se ha dicho que se trata de una revolución tecnológica, (Ramírez, Rodrigo Orellana, 2006).

3.4.2. La fotografía considerada como una perspectiva geométrica

Si sobre un objeto 3D identificamos varios puntos singulares (A,B,C,...) Y los unimos a un punto O (exterior al objeto), se origina un haz de rayos perspectivas OA, OB, OC...contenidos en un cono y con centro en O.

El punto O se convierte en:

- El centro de proyección
- El centro de la perspectiva
- El punto de vista (ojo del observador).

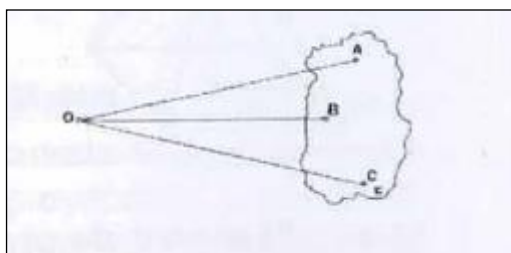


Figura 4: Perspectiva geométrica 1. (Tomado de Cheli, 2012).

Si entre O y el objeto 3D colocamos un plano π , los rayos perspectivas intersectarán al mismo, en A', B', C'... (los que unidos entre sí representarán la forma plana de la figura del objeto 3D)

El plano π se llama: Plano del cuadro o Cuadro de la representación y contendrá en su interior a la: "Perspectiva plana o Perspectiva central cónica".

Op P es el eje de la perspectiva

p es el pie de la perpendicular que pasa por O

Op es la distancia principal

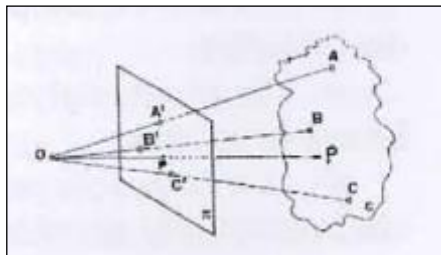


Figura 5a: Plano del cuadro (π) y en su interior contiene la Perspectiva central cónica (Tomado de Cheli, 2012).

Para que cada punto (A' , B' , C' ...) o la figura plana por ellos representada quede geoméricamente bien definida, es imprescindible conocer la posición del centro O con respecto al plano π .

Análogamente desde el punto de vista geométrico, la perspectiva fotográfica (imagen) puede considerarse como una perspectiva plana (central o cónica) de un objeto tridimensional (Figura 5b). Es decir, todos los rayos de luz provenientes del objeto en su camino hacia el plano de la imagen, deben pasar a través de un solo punto (objetivo de la cámara).

Solo se diferencian en que una es la figura invertida del objeto (negativo foto-gráfico) y la otra es una figura derecha (como la copia positiva). Para que ambas perspectivas sean consideradas análogas, se requiere contar con un dispositivo cuyos elementos físicos materialicen la coincidencia de los elementos siguientes:

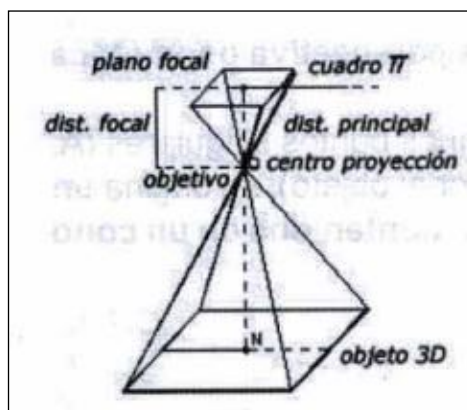


Figura 5 b: Perspectiva fotográfica, considerada como Perspectiva plana (central o cónica). (Tomado de Cheli, 2012).



- El centro de proyección O con el punto nodal imagen del objetivo.
- El plano del cuadro π con el plano focal en donde se forma la imagen.
- La distancia principal de la proyección O_p con la distancia focal (f) del objetivo.

Solamente una cámara métrica puede materializar tal coincidencia.

La imagen fotográfica que se forma en el plano focal estuvo siempre limitada por una superficie habitualmente cuadrada (de dimensiones normalizadas para que puedan ser usadas en instrumentos de distintos fabricantes)

Tabla Nº 1: Dimensiones de fotogramas.

Dimensiones de fotogramas
120 mm x 120 mm
150 mm x 150 mm
180 mm x 180 mm
230 mm x 230 mm

Distancias focales o principales (cfl, c, f) expresadas hasta la centésima de milímetro son:

Tabla Nº 2: Distancias focales de cámaras métricas.

Dist. Focal	Objetivo
90 mm	supergran-angular
150 mm	gran-angular
210 mm	ángulo estrecho
300 mm	ángulo normal

Cada imagen métrica (fotograma) contiene una serie de muescas mecánicas, cruces o puntos luminosos (las marcas fiduciales) en sus esquinas o en la mitad de sus lados, las que son utilizadas para definir un sistema de ejes imaginario (X,Y), cuya intersección define el centro fiducial (CF). El fabricante suministra las coordenadas (X,Y) de cada marca fiducial con respecto al centro fiducial.

Los objetivos fotográficos (sistema centrado de lentes) complejos, pueden presentar pequeñas imperfecciones remanentes que hacen imposible obtener una imagen perfecta.

Las imperfecciones (residuales) presentes en un objetivo se dividen en dos grupos: las aberraciones (esférica, coma, astigmatismo, curvatura de campo, cromática) y las distorsiones (radial y tangencial).

Las primeras degradan la calidad de la imagen (luminosidad, nitidez), mientras que las segundas deterioran la calidad geométrica (producen desplazamientos de puntos en forma radial o perpendicular a las anteriores).

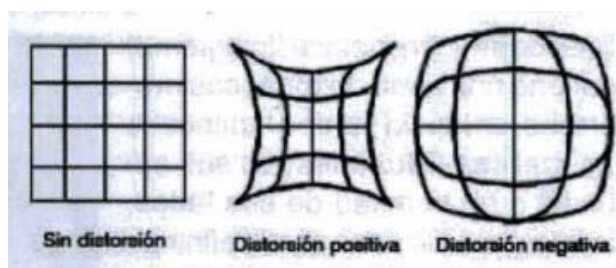


Figura 6: Distorsión del objetivo (extraído de <ftp://ftp.unsj.edu.ar/agrimensura/Fotogrametria>).

La curva de distorsión del objetivo a usar debe ser conocida para poder compensarla. En un principio era compensada ópticamente (Wild) o mecánicamente (Santoni), posteriormente dicha compensación pasó hacerse matemáticamente (etapa analítica), donde los fabricantes suministraban, con cada cámara, un certificado de calibración, que contenían los siguientes datos:

- Identificación de la cámara
- Tipo de objetivo y serie
- La distancia principal (hasta la centésima o milésima de mm)
- Las coordenadas planas de las marcas fiduciales y del punto principal de autocolimación (con respecto al centro fiducial).
- Informe sobre la distorsión radial
- Informe sobre la calidad de la imagen
- Fecha de calibración.

Actualmente en el mundo digital, el certificado de calibración se convierte en una "cámara intelectual" que reemplaza matemáticamente a la cámara métrica (como antes la cámara de restitución lo hacía en los restituidores analógicos).

La evolución de las cámaras aéreas:

En sus inicios la cámara era disparada manualmente desde un costado del avión, más tarde se instaló en su interior.

La inclinación del eje de la cámara se tomó como referencia para clasificar las fotografías aéreas en verticales u oblicuas. Las oblicuas (inclinadas intencionalmente) altas incluyen el horizonte, y en las oblicuas bajas no aparece; se usaban para lograr mayor cobertura.

En un principio las cámaras estaban limitadas por su formato y el campo angular, lo que les impedía abarcar grandes superficies de terreno.

A fines de los '90 todas las cámaras de última generación están provistas de soportes giro estabilizados y compensación del movimiento de la imagen (IMe), y se alcanza la mayor calidad de fabricación.

Todas estas cámaras formaban la imagen sobre un formato cuadrado, registrando los rayos luminosos en forma simultánea luego de atravesar el objetivo, y su uso fue exclusivo para fines cartográficos; se las conoce como cámara de cuadro o *frame camera*.

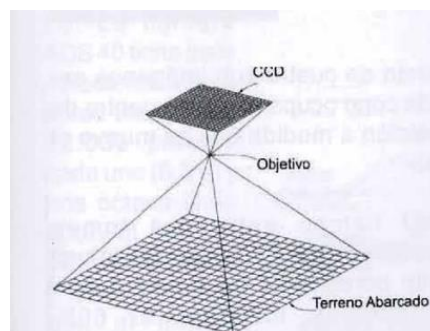
Para el reconocimiento con una cobertura fotográfica mayor, se desarrolló la cámara panorámica. El objetivo y la ranura rotaban solidariamente para barrer el terreno de horizonte a horizonte, en forma normal a la dirección del vuelo.

En el año 2000 se propone reemplazar la película con gelatina por un sensor o detector electrónico (CCD) (Figura 8), que convierte los fotones incidentes en señales eléctricas, que se almacenan en un soporte magnético.

Estos sensores del tamaño de un píxel (que oscila entre 5 y 15 micrones) se agrupan en forma matricial (filas y columnas) o formando una línea (o más de una).

La propuesta de usar matrices se asocia al concepto tradicional de la proyección central cónica (si bien no se podía armar estos sensores para cubrir los 23 x 23 cm clásicos).

Figura 7: Nuevo sensor o detector electrónico (CCD). (Tomado de Cheli, 2012).





3.4.3. Visión estereoscópica

Es una facultad físico - psicológica que posee el ser humano, la cual permite ver en tres dimensiones aquellos objetos que contempla mediante su visión binocular. En la retina de cada ojo, se forma una imagen perspectiva del mismo objeto, estas difieren entre sí, debido a que la posición de los puntos de vista es distinta, produciendo el efecto de relieve. La distancia entre estos dos puntos de vista, es decir, la separación entre los órganos receptores del ser humano, tiene un valor promedio de 65 mm y se la llama "distancia interpupilar".

En la Fotogrametría tanto terrestre como aérea, se debe usar como unidad de trabajo, pares de fotografías que contienen una superficie común del objeto fotografiado, debido a que una sola imagen fotográfica no puede suministrarlos la impresión de relieve o profundidad.

Para generar dicho efecto se deben cumplir ciertas condiciones que corresponden a las de la visión binocular natural y visión binocular artificial, como se explica a continuación:

- Visión binocular (estereoscópica) natural: La capacidad de percibir a través del sentido de la vista la sensación de relieve de los objetos, es una facultad que posee el ser humano, que le permite ver en relieve o tercera dimensión aquellos objetos que contempla con sus dos ojos.
- Visión binocular (estereoscópica) artificial: El mismo efecto de la visión estereoscópica directa, puede ser reconstruido en forma artificial si en lugar de ser los propios objetos los que se presentan a los ojos, son sus imágenes fotográficas. La visión estereoscópica se basa, en que al observar dos imágenes del mismo objeto, tomadas desde dos puntos de vista diferentes, se puede obtener una impresión tridimensional del objeto observado, formándose lo que se llama Modelo Espacial o Modelo Estereoscópico.

Para una observación estereoscópica correcta, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Cada ojo debe observar la imagen que le corresponde, o sea, el ojo izquierdo debe observar la foto izquierda y el ojo derecho debe observar la foto derecha.



- Durante la toma, el par fotográfico presenta una misma porción o todo el objeto tomado con cierta base o distancia.

La observación estereoscópica se logra en gabinete con un instrumento óptico apropiado para presentar a cada ojo por separado ambas imágenes fotográficas. Estos pueden ser estereoscopios de bolsillo, estereoscopios de espejo, anáglifos y las lentes polarizadas en el caso de trabajar en un entorno digital.

Formado el modelo se podrá explorar, medir y representar independientemente del estado climático, fecha o lugar en que se realizó la toma.

3.4.4. Sistemas de coordenadas utilizados en Fotogrametría

Los sistemas usados en Fotogrametría son cartesianos y responden a distintos conjuntos de coordenadas que se pueden obtener de un mismo punto del terreno a lo largo de todo el proceso fotogramétrico de restitución.

Por lo tanto existen los siguientes tipos de coordenadas que relacionan el espacio objeto y el espacio imagen:

- Coordenadas píxel: con origen en la esquina superior izquierda de la imagen.
- Foto coordenadas o coordenadas fiduciales: con origen en el punto principal de la imagen definido por la intersección de las marcas fiduciales.
- Coordenadas cámara: con origen en el centro de proyección.
- Coordenadas terreno: definidas para los puntos de apoyo, origen en función del sistema elegido.

3.4.5. Orientaciones

Brevemente se explicaran las orientaciones analógicas, analíticas y digital, los distintos avances que transcurrieron en la fotogrametría, es necesario entender de ellas ya que se aplicaron para este estudio.

3.4.5.1. Orientaciones Analógicas

Para aplicar el principio de medida de la Fotogrametría una vez obtenidas las coordenadas imagen de los puntos proyectados y para poder realizar el proceso inverso de la perspectiva, es decir, obtener las coordenadas terreno de dichos puntos, es necesario situar los centros de proyección y los planos de la imagen en la misma

posición espacial que cuando se realizaron las tomas, referenciando dichas posiciones al sistema de coordenadas absoluto del terreno, (Ferreira, 2010; Cheli, 2011).

3.4.5.1.1 Orientación Interna: reconstrucción del haz de rayos.

Al analizar la perspectiva fotográfica y según la ley de propagación rectilínea de la luz, la imagen P' de un punto objeto P , se encuentra sobre el rayo luminoso que proviene de P .

Las relaciones geométricas que existen entre el objeto fotografiado del espacio y de la imagen producida sobre el soporte que se utilice (negativo fotográfico por ejemplo), surgen de la colinealidad del rayo que une al punto objeto P , al centro de proyección O y al punto imagen P' (Figura 8).

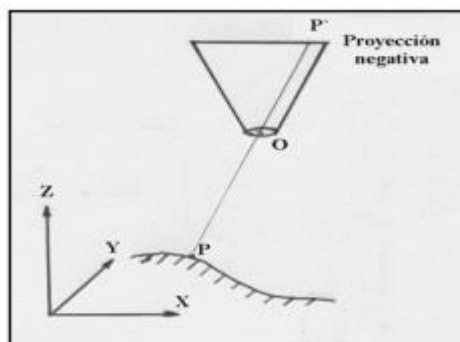


Figura 8: Colinealidad del rayo

Pero el objeto contiene muchos puntos, que siguiendo los mismos contenidos en un soporte plano (Figura 9).

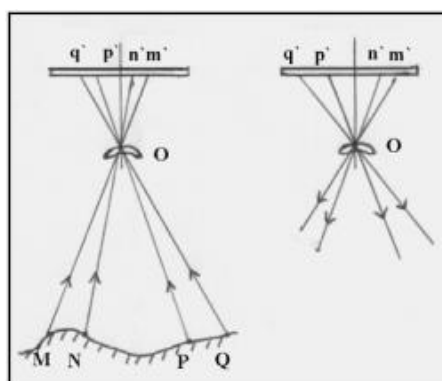


Figura 9: A la izquierda observamos: Haz de rayos con el objeto en el espacio y a la derecha, el haz de rayos sin el objeto en el espacio (después de la toma).

Después de la toma fotográfica, las distancias de los puntos del objeto (M N P Q) al centro de proyección O quedan indeterminadas, mientras que las direcciones entre

ellos dentro del haz han permanecido invariables, debido a la posición fija que conservaron los puntos imágenes (m' n' p' q') sobre el plano del negativo y el centro de proyección O .

Dentro del haz de rayos luminosos que da origen a la proyección fotográfica del objeto, habrá uno sólo que será perpendicular al plano focal de la imagen (eje óptico de la imagen o de la cámara) y que pasará por su punto medio.

En una cámara métrica se ajusta este punto medio para que coincida con el punto principal H , cuya posición está definida por un sistema de coordenadas rectangulares en el caso aéreo (x,y) y en el caso terrestre (x,z), cuyos ejes están materializados mediante dos pares de marcas de referencia (marcas fiduciales) que son fotografiadas sobre el plano sensible en el momento de su exposición (Figura 10).

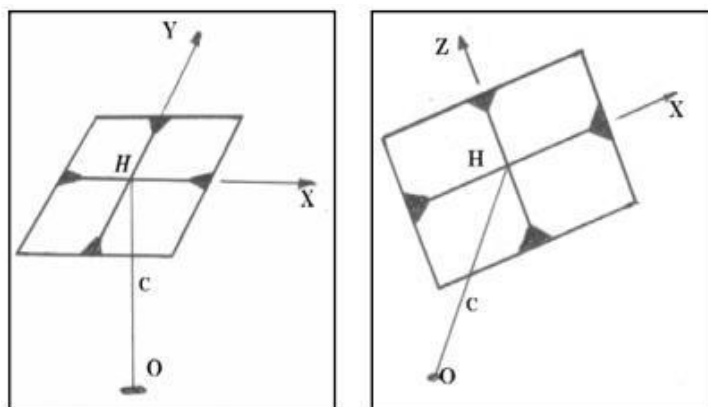


Figura 10: Sistema coordenado cartesiano de la imagen con origen en el punto principal. (Tomado de Lei *et al*, 2016).

El punto medio o principal H (Figura 10) constituirá el origen de las coordenadas planas de la imagen. La longitud del segmento de recta OH , se llama distancia principal y es igual a la distancia focal f o c de la cámara.

Esta operación se llama Orientación Interna de la cámara y estará definida cuando se conozca la posición de O con respecto al soporte fotográfico (distancia focal c ; coordenadas del punto principal y valores de distorsión del objetivo).

3.4.5.1.2 Orientación Relativa: determinación de la intersección de los haces

De los haces de rayos perspectivas que se formaron durante la toma fotográfica, considerando ahora las inclinaciones que tenía la cámara aérea al momento de la toma realizada desde O' y O'' ; los rayos proyectantes provenientes de los puntos del terreno (1, 2, 3,...) situados en la zona de superposición fotográfica, darán lugar (Figura 11) a la formación de los correspondientes puntos imágenes ($1'-1''$, $2'-2''$, $3'-3''$,...).

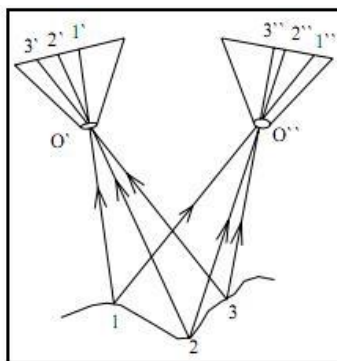


Figura 11: Intersección de rayos. (Tomado de Lei *et al*, 2016)

Como en el caso anterior, invirtiendo ahora el proceso, se podría decir que los rayos proyectantes provenientes de los puntos imágenes homólogos ($1'-1''$, $2'-2''$, $3'-3''$,...) darán lugar a la formación de los puntos del terreno (1, 2, 3,...) en sus respectivas intersecciones. Por lo tanto:

El lugar geométrico de todos los puntos de intersección de rayos proyectantes homólogos, forma un modelo geométrico del terreno.

Este modelo del terreno, representará su forma pero todavía no se conoce a que escala se reconstruyó ni su posición con respecto al sistema de coordenadas del terreno (figura 12).

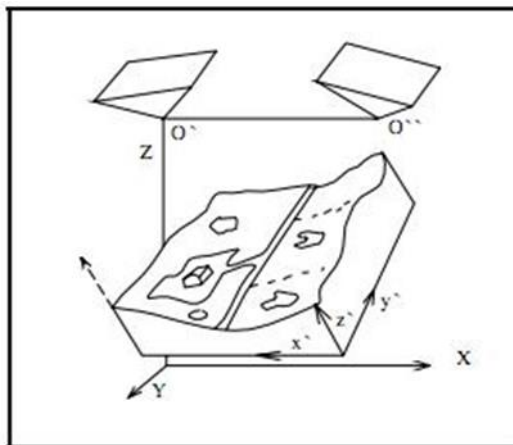


Figura 12: Modelo en coordenadas locales. (Tomado de Ferreira, 2010).

3.4.5.1.3. Orientación Absoluta: puesta en escala y orientación

Se realiza la orientación absoluta del modelo, escalándolo (λ) y nivelándolo (Ω , Φ) hasta que su plano definido por tres puntos de control altimétricos y dos puntos de control planimétrica coincidan con el plano referencia o dibujo o mapa, en el cual las coordenadas x , y , z instrumentales son medidas.

Con el objeto de hacer coincidir el plano al cual está referido el modelo con el correspondiente al sistema de coordenadas del terreno, se hace necesario poder inclinar al modelo, alrededor de los ejes X e Y del instrumento.

Los movimientos comunes son Ω alrededor del eje X y ϕ alrededor del eje Y (figura 13).

La nivelación del modelo, conjuntamente con su puesta en escala, constituye la operación técnica, llamada Orientación absoluta del modelo, (Ferreira, 2010. Cheli, 2011).

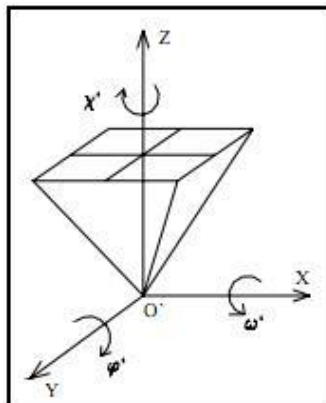


Figura 13: Orientación Absoluta. (Tomado de Lei *et al*, 2016).

3.4.5.2. Orientaciones Analítica

3.4.5.2.1 Orientación Interna:

El objetivo de la orientación interna es la reconstrucción de la geometría del haz perspectivo al momento de la toma, a tal efecto establece la relación existente entre el sistema de coordenadas imagen (píxel) y el sistema de foto coordenadas (mm) o coordenadas fiduciales, extraídas del certificado de calibración de la cámara. Se necesita conocer: La posición del punto principal en la imagen en relación a las marcas fiduciales, la distancia focal de la cámara f , la función de distorsión, la transformación que relaciona coordenadas píxel y foto coordenadas, (Ferreira, 2010. Cheli, 2011)

Una transformación bidimensional está dada por la ecuación:

$$\begin{aligned} x_F &= \lambda_x x_K \cos \alpha - \lambda_y y_K (\cos \alpha \operatorname{sen} \beta + \operatorname{sen} \alpha \cos \beta) + T_x \\ y_F &= \lambda_x x_K \operatorname{sen} \alpha + \lambda_y y_K (\cos \alpha \cos \beta - \operatorname{sen} \alpha \operatorname{sen} \beta) + T_y \end{aligned}$$

(1)

Dada la expresión anterior, si se reemplaza en función de los parámetros a , b , c y d , queda:

$$\begin{aligned} x_F &= a x_K - b y_K + T_x \\ y_F &= c x_K + d y_K + T_y \end{aligned}$$

(2)

En forma matricial, se pueden expresar como:

$$\begin{bmatrix} x_F \\ y_F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & -b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_K \\ y_K \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

Las coordenadas transformadas serán:

$$\begin{bmatrix} x_T = x_F - x_{\omega} \\ y_T = y_F - y_{\omega} \end{bmatrix} \quad (4)$$

siendo $(X_{\omega}; Y_{\omega})$ valores obtenidos del certificado de calibración de la cámara. La determinación de los parámetros de la transformación se obtienen por aplicación de la metodología de mínimos cuadrados, tras la medición de las coordenadas de las marcas fiduciales en el comparador.

Determinación de las coordenadas imagen: Obtenidas las coordenadas (x_T, y_T) hay que contemplar los efectos producidos por la distorsión del objetivo de la cámara métrica, la refracción y esfericidad terrestre sobre los rayos perspectivas, para obtener finalmente las coordenadas imágenes (x', y') , (Lei *et al*, 2016).

$$\begin{bmatrix} x' = x_T + (C_o + C_r + C_e) \left(\frac{x_T}{\sqrt{x_T^2 + y_T^2}} \right) \\ y' = y_T + (C_o + C_r + C_e) \left(\frac{y_T}{\sqrt{x_T^2 + y_T^2}} \right) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Donde: C_o es la corrección por distorsión de la lente; C_r la corrección por refracción y C_e , la corrección por esfericidad.

3.4.5.2.2. Orientación Relativa:

Una vez obtenidas las coordenadas imagen de los puntos proyectados es necesario situar los centros de proyección y los planos de la imagen en la misma posición espacial que cuando se realizaron las tomas.

La orientación relativa analítica consistirá, en la medida de coordenadas imagen de un número mínimo de puntos de dos tomas consecutivas y aplicación a cada uno de estos de la condición de colinealidad, o de la condición de coplanaridad (plano

epipolar) que definen como los dos rayos homólogos se intersectan en un punto común del espacio modelo $P(X, Y, Z)$. El mínimo número de puntos de intersección para lograr la formación del modelo es de cinco, distribuidos según Vön Grüber (figura 14).

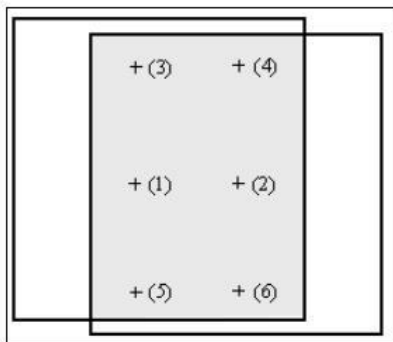


Figura 14: Zona de Vön Grüber. (Tomado de Ferreira, 2010).

3.4.5.2.3. Orientación Absoluta:

El próximo paso es efectuar la nivelación del modelo y trasladarlo a su verdadera posición en el espacio. Se parte del dato de las coordenadas de una serie de puntos ($n \geq 3$), tanto en el sistema modelo como en el terreno.

Datos conocidos: $(X_i, Y_i, Z_i), i = 1, 2, 3, \dots, n$ ($n \geq 3$)

$(x_i, y_i, z_i), i = 1, 2, 3, \dots, n$ ($n \geq 3$)

El problema se reduce a resolver un sistema de ecuaciones mediante una transformación de semejanza tridimensional:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \lambda [R] \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{bmatrix} \quad (6)$$

Donde: λ es el factor de escala; $R = f(\Omega, \Phi, K)$ matriz de rotación del sistema modelo al sistema terreno; X_o, Y_o, Z_o : traslaciones del sistema modelo respecto del terreno.

Por cada punto de coordenadas conocidas se establecerán un total de 3 ecuaciones, teniendo que resolver siete incógnitas $K, \Phi, \Omega, \lambda, Z, Y, X$, (Ferreira, 2010).



3.4.5.3. Orientaciones Digitales

La principal ventaja de la Fotogrametría Digital en el proceso cartográfico es la posibilidad de automatización del proceso. El trabajo con imágenes digitales permite que la computadora procese de diversas maneras la información contenida en ellas posibilitando los mecanismos de automatización (Ferreira, 2010).

3.4.5.3.1. Orientación Interna:

El objetivo es la identificación y localización automática de la marca fiducial. Se procede a la creación del archivo cámara con incorporación de los datos del certificado de calibración (focal, coordenadas de las marcas fiduciales, distorsiones radiales, esquema de medida de puntos de aero-triangulación, etc.) para generar los datos de entrada. El sistema puede incorporar en la base de datos el tipo de marca fiducial de la cámara utilizada.

Si se utilizan imágenes en color, las zonas seleccionadas se convierten a escala de grises, así como los negativos a positivos.

Se hace la OI manual en la primer marca y luego el programa la toma como patrón y rastrea las demás hasta que identifica las marcas correspondientes mediante dos estrategias según el restituidor con que se trabaje:

- ❖ Método por Áreas: implica dos pasos:
 - Localización aproximada: utilizando el método por Áreas que consiste en utilizar como referencia el modelo radiométrico de la marca fiducial estableciendo densidades de niveles de gris, analizando por ejemplo su histograma.
 - Localización precisa: correlación con la imagen ideal de la marca fiducial definiendo un espacio de búsqueda.
- ❖ Método por Características: implica dos pasos:
 - Localización aproximada: utiliza el modelo radiométrico de la marca fiducial.
 - Localización precisa: mediante un simple procedimiento de reconocimiento de patrones se construye el modelo geométrico de la marca fiducial.



Una vez realizadas las mediciones de las marcas fiduciales se realizan los cálculos de la transformación a fin por Mínimos Cuadrados y se obtienen los parámetros que permiten pasar al sistema de coordenadas imagen. También se obtienen los residuos del ajuste que se almacenan en archivo ASCII con todos los parámetros de orientación.

Si tenemos en cuenta la homogeneidad tanto en la forma como en la radiometría de las marcas, la correlación presenta en esta detección buena determinación en la medición obteniendo una correlación muy eficiente, (Ferreira, 2010; Orellana, 2006).

3.4.5.3.2. Orientación Relativa:

Las características de los sistemas de orientación relativa automática suelen estar basados en 4 puntos:

- son sistemas que trabajan a nivel de elementos (puntos);
- utilizan una estrategia de búsqueda de menor a mayor detalle;
- está controlado por las limitaciones radiométricas y geométricas de la imagen;
- utiliza un gran número de elementos para la orientación (puntos).

Para la realización de esta fase de orientación es necesario disponer de los siguientes datos:

- Los parámetros de orientación interna de la cámara.
- Las relaciones entre los sistemas de coordenadas de imagen y píxel.
- El orden de las imágenes.
- Valores aproximados de superposición.

El procedimiento consiste en lograr el desplazamiento automático a los puntos de Vön Grüber a fin de eliminar la paralaje en Y. Se lleva a cabo por correlación y consiste en la identificación de puntos homólogos en los fotogramas que forman el modelo. Para poder medir un punto en las dos imágenes el programa tendrá que comparar dos matrices de valores, una en la imagen izquierda y otra en la derecha y buscar igualdades de valores de gris o sea debe tratar de localizar la matriz patrón en la matriz de búsqueda.

55	55	221	54	53
55	55	221	54	53
221	221	221	221	221
55	55	221	54	53
55	55	221	54	53

Figura 15: matriz de referencia o patrón: el objetivo de la correlación es localizar la posición de esta matriz en la matriz de búsqueda, (Tomado de Ferreira, 2010).

53	53	53	53	53	53	54	54	54	55	54	137	54	53	53
53	53	53	53	53	53	54	54	54	55	54	137	54	53	53
53	53	53	53	53	53	54	54	55	55	221	54	53	53	53
53	53	53	53	54	53	54	54	54	55	55	221	54	53	53
53	53	53	53	53	54	54	54	54	221	221	221	221	221	53
53	53	53	53	53	53	54	54	55	55	55	221	54	53	53
53	53	53	53	53	53	184	184	184	55	55	221	54	183	184
53	53	53	221	221	53	185	185	185	55	54	54	54	183	184
53	53	53	221	221	53	185	185	185	55	55	54	54	183	184
53	53	220	220	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221	53
53	53	53	53	54	54	221	54	54	55	138	138	139	53	53
53	53	53	53	53	53	221	54	54	54	137	137	139	53	128
53	53	53	53	53	54	221	54	54	54	137	137	139	53	129
53	53	53	53	54	53	54	54	54	54	54	54	54	53	53
53	53	53	53	53	53	54	55	55	54	54	54	54	53	53

Figura 16: matriz de búsqueda, (Tomado de Ferreira, 2010).

Si el programa utiliza el método por áreas se compara la distribución de niveles de gris de áreas de la imagen con su correspondiente en la otra imagen del par. Si utiliza el método por características utiliza características o elementos obtenidos de la imagen original.

La utilización de un gran número de elementos (más de 100) para realizar la OR automática por Mínimos Cuadrados, frente a los 6 puntos Vón Grüber que utilizan los sistemas analíticos, aumenta la precisión de los resultados, ofreciendo también métodos para eliminar aquellos puntos que por su elevado error pueden ser considerados mal identificados.

Todos los parámetros de la orientación relativa se presentan para su análisis en un archivo ASCII.



Esta estrategia de selección de puntos se utiliza también en la extracción de puntos para realizar la densificación de puntos de apoyo para Aerotriangulación y en la selección de puntos para obtener el Modelo Digital del Terreno, (Ferreira, 2010; Cheli, 2011).

3.4.5.3.3. Orientación Absoluta:

Se establece la relación entre el espacio modelo y el espacio objeto, para eso es necesario disponer de puntos de control terrestre que permitan establecerla.

El proceso es manual o semiautomático (con ayudas) por correlación: en este caso el programa pretende la identificación de los puntos de control en el modelo.

En el caso de un apoyo preseñalizado, es posible realizar la absoluta automáticamente. El caso queda salvado en la búsqueda de un patrón en otra imagen. Se define el patrón y con conocimiento de su posición se logra la orientación absoluta automática.

El desarrollo del GPS y su aplicación, en la determinación junto con el INS (Sistema Inercial de Navegación) en la determinación de las coordenadas de los centros de perspectiva ha llevado a mejorar y reducir la necesidad del control de campo, pero no a eliminarlo.

El caso de la orientación absoluta semiautomática consiste en definir sobre una imagen al punto de apoyo y que sea el restituidor el encargado de localizar en el resto de las imágenes el mismo punto por correlación, con el subsiguiente ahorro de tiempo. A partir del segundo punto el programa busca todos los puntos de apoyo que entren en el modelo llevando el cursor automáticamente hasta ellos para medirlos manualmente, existiendo la posibilidad de confirmar la correlación en cada punto encontrado.

El método de cálculo que se emplea para obtener los 7 parámetros de la orientación absoluta es una matriz sobre la que se aplica cuadrados mínimos.

Todos los resultados del ajuste se guardan en un archivo ASCII. También se crea un archivo con la orientación externa de cada foto para poder calcular la ortofoto digital.

Se dice que la orientación es semiautomática cuando interna y relativa son automáticas y la absoluta es semiautomática o manual (Ferreira, 2010;Cheli, 2011).



3.5. Proyecciones cartográficas

La necesidad de representar la Tierra es tan antigua como la formación de los asentamientos humanos, pues existía la preocupación de realizar un sistema eficaz para indicar "donde" ubicar los fenómenos o cosas. Es por eso que surgen los mapas como representación de un plano, aproximada, reducida y simbólica, de una parte de la superficie terrestre (Raisz, 1985).

El problema de la Cartografía, es la representación, en una cierta escala, de parte o toda la superficie terrestre, considerada esférica o elipsoidal, sobre una superficie plana llamada carta. Teniendo siempre presente la correspondencia biunívoca de cada punto (Raisz, 1985).

3.5.1. Clasificación de las proyecciones

Las proyecciones cartográficas se pueden clasificar de diferentes maneras:

- Geométricas:
 - Representaciones Perspectivas
 - Representaciones por desarrollo.
- Matemáticas: Sólo se construyen por algoritmos matemáticos, (Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Cátedra de levantamiento y carteo geológico I, 2004).

3.5.1.1. Proyecciones por Perspectivas: La superficie esférica se proyecta sobre un plano.

Comprende los grupos siguientes:

- a). Ortográficas. - El punto de vista se encuentra en el infinito.
- b). Escenográficas. - El punto de vista se encuentra a una distancia finita de la superficie esférica y fuera de ella.
- c). Estereográficas. - El punto de vista se encuentra sobre la superficie esférica.
- d). Gnomónicas. - El punto de vista se sitúa en el centro de la esfera de proyección.

Cada uno de estos grupos comprende, a su vez, las siguientes proyecciones:

Polares: Cuando el cuadro coincide con el plano del ecuador o es tangente a la superficie esférica en uno de los polos, según los casos.

Ecuatoriales: El cuadro coincide con el plano de un meridiano, o con otro paralelo a éste, y tangente a la superficie esférica en un punto del ecuador.

Horizontales u Oblicua: El cuadro coincide con el horizonte racional o sensible de un lugar determinado. En el primer caso el cuadro contiene el centro de la esfera; en el segundo es tangente a su superficie, en el punto correspondiente a aquel lugar, (Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Cátedra de levantamiento y carteo geológico I, 2004).

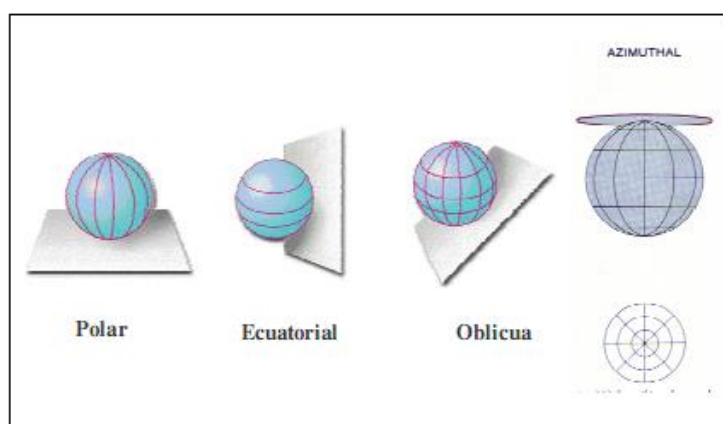


Figura 17: Proyecciones por Perspectivas. (Tomada de Minotti, 2004).

3.5.1.2. Proyecciones por Desarrollo:

La superficie esférica se proyecta sobre otra cónica o cilíndrica, que luego se desarrolla para obtener el mapa. Comprende los grupos siguientes:

- Cónicas:** La superficie esférica se proyecta sobre un cono, tangente o secante a la misma.
- Policónicas:** La superficie esférica se proyecta sobre varios conos, secantes o tangentes, cuyos desarrollos se unen después para obtener la carta.
- Cilíndricas:** La superficie esférica se proyecta sobre un cilindro, tangente según un círculo máximo que se desarrolla después.

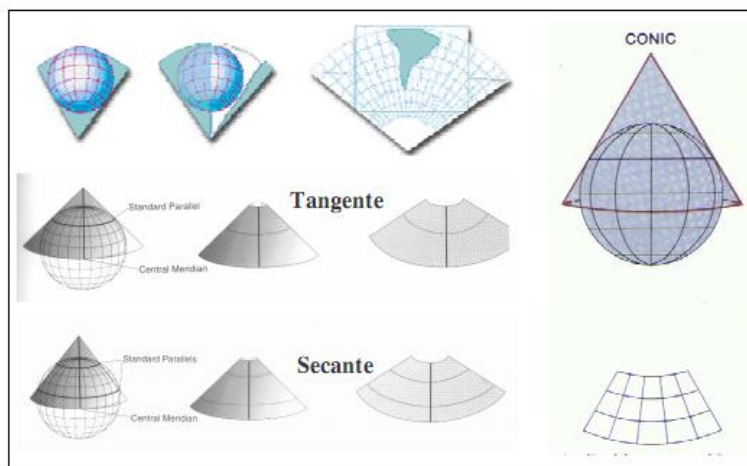


Figura 18: Proyecciones por Desarrollo- Cono.(Tomada de Minotti, 2004).

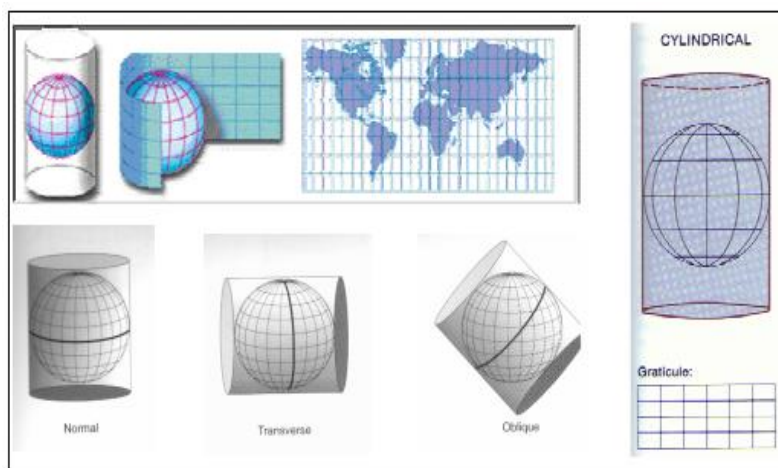


Figura 19: Proyecciones por Desarrollo- Cilindro. (Tomada de Minotti ,2004)

3.5.1.3. Clasificación de las Proyecciones por sus propiedades:

- Proyecciones Conformes: Son aquellas que conservan los ángulos del terreno y, por tanto en superficies pequeñas, resultan semejantes, la superficie y el mapa. Variando ligeramente la escala a medida que nos alejamos del centro de proyección.
- Proyecciones Equivalentes: Son estas las que conservan en la proyección las áreas del terreno, aunque las figuras dejen de ser semejantes.

- Proyecciones Aphylacticas: (o de mínima anamorfosis), son aquellas que sin ser rigurosamente conformes ni equivalentes, reducen al mínimo las inevitables deformaciones.
- Proyecciones Automecoicas: Son las que conservan las longitudes en determinadas direcciones. Esto solo puede darse en las proximidades del centro de proyección y dentro de ciertos límites. (Reuter, 2011).

3.6. Proyección Mercator

La proyección de Mercator fue ideada por Gerardus Mercator en 1569. La característica más importante de esta proyección consiste en que el sistema de meridianos y paralelos se transforma en un sistema de coordenada del tipo cartesiano, líneas rectas que se cortan perpendicularmente.

Los meridianos son líneas rectas paralelas entre sí dispuestas verticalmente a la misma distancia unos de otros y los paralelos rectas paralelas entre sí dispuestas horizontalmente, pero cuyas distancias aumentan al acercarnos a los polos. Por esa razón no suele emplearse esta proyección en mapas de latitudes extremas, por ejemplo, al comparar las áreas de Groenlandia y de América del Sur, la segunda aparenta tener menor superficie que la isla dinamarquesa cuando, en realidad, tiene el doble, (Tomado de Raisz, 1953).

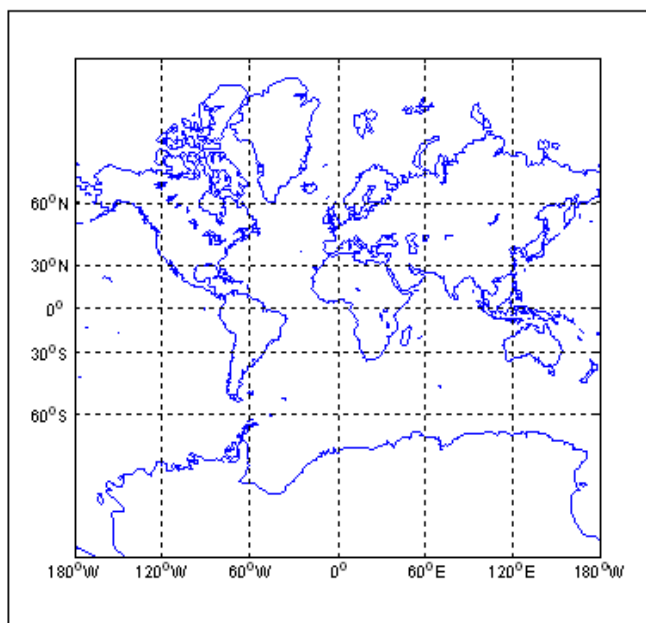


Figura 20: Deformaciones en proyección Mercator (Snyder, 1989.)

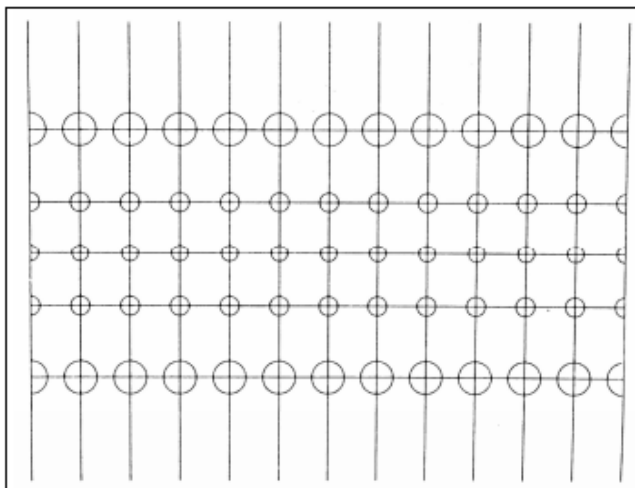


Figura 21: Deformaciones en proyección Mercator, (Snyder, 1989.)

La proyección de Mercator, es un tipo de proyección cilíndrica, que mantiene paralelos el eje terrestre y el del cilindro, permite representar toda la superficie terrestre y la deformación es mínima en la región ecuatorial. Es una proyección muy útil para la navegación, pues permite trazar rumbos como rectas que cortan a los meridianos con igual ángulo, siguiendo la loxodrómica, siendo esta una recta en la carta, más allá de tratarse de un camino más extenso que la ortodrómica.

Se entiende por **Ortodróna** a la menor distancia, determinada por un círculo máximo, existente entre 2 puntos. Se define como línea **Loxodrónica** a aquella línea de igual rumbo en toda su trayectoria, formando ángulos idénticos en relación a los meridianos.

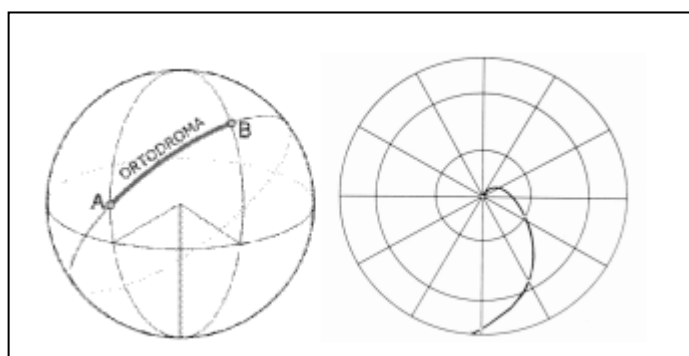


Figura 22: Ortodróna, representada en la esfera. Loxodrónica, representada por la proyección gnomónica polar, (Tomada de Matko, 2012).

Otra proyección basada en la de Mercator es la UTM, Universal Transversa Mercator, en vez de proyectar el globo terráqueo en un cilindro tangente al ecuador, se proyecta en un cilindro que es tangente a un meridiano de la esfera terrestre.



Se define un huso como las posiciones geográficas que ocupan todos los puntos comprendidos entre dos meridianos. Cada huso puede contener 3°, 6° u 8°. El Sistema UTM emplea Husos de 6° de Longitud.

3.7. Proyección Gauss-Krüger

Fue ideada por Gauss en el siglo XIX, y luego modificada por Louis Krüger a principios del siglo XX. 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, fue adoptada en la República Argentina desde el 24 de abril de 1925 por Disposición Permanente N° 197 del Instituto Geográfico Militar. Es un caso particular de la proyección Transversa Mercator (TM) para la extensión del Territorio Nacional y por ello es una proyección conforme, cilíndrica, transversa. Fue implementada para el desarrollo de la cartografía, en la que las deformaciones fueran despreciables para una escala 1:25.000, abarcando la totalidad del país con 7 cilindros de proyección o fajas tangentes a los meridianos, (<https://es.scribd.com/doc/89139540/Coordenadas-Gauss-Kruger>).

Es una proyección Convencional, Elipsoidica, Conforme, Cilíndrica y Transversal:

- ✓ Convencional porque la transformación de coordenadas se realiza por vía analítica mediante la aplicación de algoritmos matemáticos tal que:

$$(X, Y) = f(\varphi, \lambda); (\varphi, \lambda) = f'(X, Y) \quad (7)$$

- ✓ Elipsóidica ya que se define para un elipsoide de referencia.
- ✓ Conforme, porque la representación cartográfica de hechos no muy extensos conserva la forma original y los ángulos.
- ✓ Cilíndrica, porque cada punto del terreno se proyecta sobre un cilindro tangente que “envuelve” al elipsoide colocado con el Ecuador en la dirección del eje del cilindro.
- ✓ Transversal, porque la tangencia entre el cilindro y el elipsoide se produce a lo largo de un meridiano, denominado meridiano central de la proyección, cuya longitud se designará λ_0 , es una línea recta y representa al eje X. El eje Y es la proyección ecuatorial y también se representa por una línea recta.



La proyección Gauss Krüger no define por si misma el sistema de referencia ni el elipsoide asociado. Las coordenadas Gauss Krüger de un mismo punto son diferentes si se las calcula utilizando elipsoides diferentes o si se las refiere a meridianos centrales distintos, por lo tanto su orientación y escala son las mismas que las del sistema que le dio origen. Para adaptarlas, al hemisferio sur, en nuestro país se introdujeron un conjunto de convenciones que deben ser tenidas en cuenta, (<https://es.scribd.com/doc/89139540/Coordenadas-Gauss-Kruger>):

- El eje X se orienta en el sentido de las latitudes y el eje Y en el sentido de las longitudes.
- El origen de las X se sitúa en el polo Sur y la coordenada crece de Sur a Norte, siendo necesario sumar al valor que proveen las fórmulas, la longitud de arco de meridiano comprendido entre el polo y el ecuador (se adiciona el valor 10.002.288,3 m).
- El eje Y se orienta en el sentido de las longitudes, creciente hacia el este. La convención adoptada establece que al valor que proveen las fórmulas se le debe sumar 500.000 metros, más 1.000.000 de metros multiplicados por el número de faja (para facilitar la identificación de la faja). Con esta convención la Y del meridiano central 72°W (faja 1), es 1.500.000.

Tabla Nº 3: Denominación de las fajas de la proyección Gauss-Krüger tomada en la República Argentina, (Tomado del IGN, 2010. Manual de signos cartográficos.)

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'

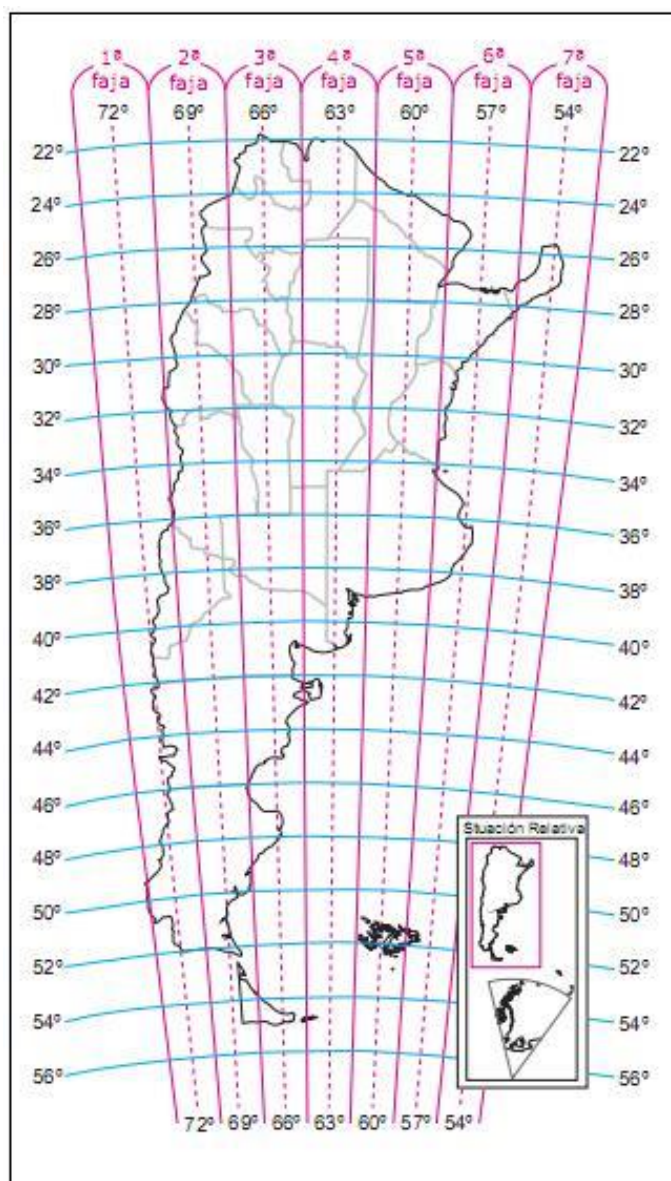


Figura 23: Proyección conforme Gauss-Krüger, fajas meridianas, (Tomado del IGN, 2010).



3.8. Carta Náutica

Una carta náutica o publicación 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 su autoridad, un Servicio Hidrográfico autorizado o cualquier otra institución estatal pertinente y que está diseñada para satisfacer las prescripciones de la navegación marítima, (Definición establecida en la Regla N° 2 del Capítulo V del SOLAS).

La carta náutica se basa en la representación gráfica de una porción de la superficie del mar y costa adyacente, dibujada en papel plano, a escala, de forma semejante, orientada y exacta. Su trazado se logra mediante un sistema de proyección adecuado según sea su finalidad.

En ella se indica las profundidades del mar y un prolijo detalle de la configuración marítima, de modo que permita navegar por ella a los buques o embarcaciones, sorteando los peligros. Debe Señalar, además, los objetos naturales y artificiales que existen fijos en tierra, que sean visibles desde el mar y puedan servir de referencia al navegante para obtener su situación y trazar rumbos. Es así que debe idearse y diseñarse de modo que indique los detalles útiles al marino con toda la precisión posible y en todas las circunstancias previsibles, (Organización Hidrográfica Internacional, 2010).

Para que la carta náutica sirva a la navegación, debe tener las siguientes características o propiedades:

- 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, demarcaciones sean visuales o radiogoniométricas azimutes de astros y rectas de posición.
- Completa clara: Las cartas deben contener todos los datos que requiere la navegación y presentarlos con la claridad necesaria que permita emplearse con rapidez, seguridad y confianza.
- Actualizada: Una carta se encuentra actualizada (al día) si está permanentemente corregida de acuerdo a los avisos que emite regularmente el Servicio Hidrográfico Y Oceanográfico de la Armada.

La información que se encuentra en una carta es numerosa y variada:

- Sondas: Profundidades del mar a intervalos tan pequeños como lo permita la claridad y la escala. El SHOA emplea el metro como unidad para sondas y elevaciones.
- Veriles: Son líneas de igual profundidad (isobáticas) 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.). Es conveniente señalar aquí que una habilidad importante del navegante habrá de ser; desarrollar una capacidad para reconocer visualmente la costa que tiene y confrontarla con la representación de la carta.



- Derrota y enfilaciones: Track recomendado. en canales, pasos, entradas a ciertos puertos etc., con indicación de las enfilaciones a puntos fijos para mantenerse en la derrota. Llamase enfilación a la situación que permite demarcar en una misma demarcación dos objetos distintos sobre la costa.
- Señalización y objetos visibles: Ubicación de los faros, balizas, luces, boyas, islotes, molos, pontones fondeados, zargazales, 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 sondas 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 L y G y 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:
 - o Natural o 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.
 - o 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.
 - o 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° a 360° 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 Dm. al año correspondiente y el cambio anual que experimenta. Aquí se tomarán sólo Reg. y Dmg no del compás ni verdadero.

- 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. (Organización Hidrográfica Internacional, 2010)

3.9. Carta Topográfica

La carta Topográfica es la que representa los elementos naturales y artificiales del territorio o espacio geográfico en una proporción determinada, denominada escala. La cual también permite realizar mediciones planimétricas y altimétricas dentro de las tolerancias conocidas, (http://www0.unsl.edu.ar/~geo/materias/Elementos_de_Geologia/documentos/contenidos/apoyo_teorico/APU-2011-Mapa-TopogrAfico.pdf).

En las cartas se puede apreciar representado:

El relieve que engloba los accidentes naturales del terreno, como las elevaciones, depresiones, llanuras, las que dan origen a las colinas, serranías, planicies y valles. La hidrografía, la cual abarca la parte de los ríos, mares, lagos, lagunas, etc., ya sean cuencas abiertas o cerradas. Y también las obras y construcciones civiles, que se refieren a los rasgos del terreno producidos por el hombre en el paisaje natural, para satisfacer sus exigencias y comodidades. Las obras comprenden lo que es caminos, puentes, embalses, vías férreas, ciudades, pueblos, etc.,



(http://www0.unsl.edu.ar/~geo/materias/Elementos_de_Geologia/documentos/contenidos/apoyo_teorico/APU-2011-Mapa-Topografico.pdf)

La carta topográfica es la base de apoyo para los demás mapas específicos o temáticos, que sería en el caso de las cartas geológicas, de suelo, floro-faunísticos, etc.

Estructuralmente estas cartas deben tener, Título, Escala, Sistema de Coordenadas, y Referencias Cartográficas (Figura 24). Generalmente el Título lleva el nombre de la localidad más importante localizada dentro del área. El Sistema de Coordenadas es la que le da la ubicación precisa del área de la carta. La posición de cualquier punto dentro del mismo puede ser calculada mediante los valores de coordenadas (geográficas y/o planas) presentes en los bordes de la carta. La Escala es la relación entre la medida real del terreno y la medida representada en el papel.

La escala de un mapa puede ser expresada en forma numérica o gráfica. Las escalas numéricas establecen esta relación mediante números que expresan valores en unidades de igual especie, por ejemplo, la escala 1:100 significa que 1cm en el papel representan 100 cm del terreno, o bien, la relación papel a terreno está reducida a una centésima parte. Cuando el área a representar es amplio, se habla de una escala chica, es decir el denominador suele ser de mayor magnitud a fin de reducir en el papel la relación de la zona cartografiada, serían las escalas de 1:5.000.000; 1:3.000.000; 1:500.000, etc. Y cuando el área a representar es pequeña, se habla de una escala grande, es decir, se utiliza un denominador pequeño. Para poder representar con cierto grado de detalle, ejemplo, un valle fluvial de 20 metros de ancho, se podría utilizar una escala 1:2.000, es decir, 1 cm = 20 m. Y en el caso las escalas gráficas, la relación de las magnitudes se representa por segmentos de rectas de valores definidos numéricamente, permitiendo así mantener la relación de escala aun cuando se varía el tamaño natural del papel (por ejemplo por ampliación o reducción mediante fotocopiado). La representación gráfica se hace a partir de una recta dividida en partes iguales, donde cada una de ellas es la unidad de longitud de la escala del mapa. Mayormente la unidad es el kilómetro. Se la representa como un segmento de recta graduado de izquierda a derecha, en ocasiones se le agrega un segmento más a la izquierda del cero, dividido en fracciones menores, llamado talón.

La Referencia Cartográfica o Leyenda, se enfoca en la representación de los elementos del terreno. Como el relieve, la hidrografía, las construcciones, etc., que lo

hace por medio de símbolos gráficos. Por ello a través de esta leyenda debe quedar explícito el significado de cada símbolo.

La Orientación, consta de que cada carta, para su correcta ubicación, debe si o si contar con la grilla de coordenadas geográficas y/o planas. Y también debe indicar el Norte, representado simbólicamente por una flecha, (http://www0.unsl.edu.ar/~geo/materias/Elementos_de_Geologia/documentos/contenidos/apoyo_teorico/APU-2011-Mapa-Topografico.pdf)

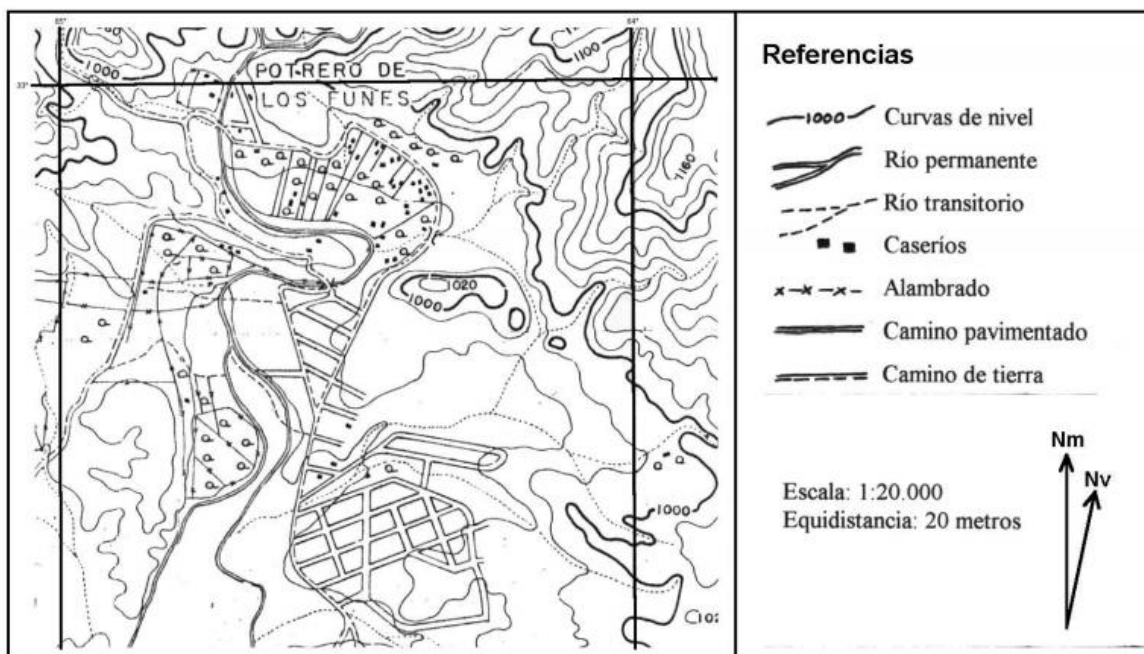


Figura 24: Fragmento del mapa topográfico “Potrero de los Funes” (Tomado de http://www0.unsl.edu.ar/~geo/materias/Elementos_de_Geologia/documentos/contenidos/apoyo_teorico/APU-2011-Mapa-Topografico.pdf).

3.10. Posicionamiento

Para determinar la posición de puntos de la superficie terrestre se requiere establecer las coordenadas apropiadas en el sistema de referencia geodésica seleccionado (DATUM).

La posición geográfica de un punto en la superficie terrestre se lo puede definir por medio de una superficie matemática de referencia definida (muy parecida a un elipsoide de rotación), la cual es usada para reemplazar la superficie verdadera de la tierra.



Estas superficies de referencia deben estar definidas matemáticamente y aproximarse a la superficie verdadera en la ubicación deseada. Las superficies de referencia utilizadas con frecuencia son: El elipsoide de revolución, el esferoide local, el plano horizontal (o plano tangente), el geoide, (Días Raúl, 2007).

3.10.1. El Elipsoide

El elipsoide es una superficie cuádrlica de cuarto orden que se genera a partir de la revolución de una elipse alrededor de uno de los ejes.

Para propósitos geodésicos el elipsoide de revolución, que se produce cuando una elipse es rotada sobre su eje semi-menor, provee una superficie matemática bien definida cuya forma y tamaño son definidas por dos parámetros: medida del semieje menor (b) y semieje mayor (a), la forma de un elipsoide de referencia también puede ser descrita por su aplanamiento: $f = [(a - b) / a]$ o su excentricidad : $e = [(a^2 - b^2)^{1/2} / a]$, (Días, 2007).

3.10.2. El Geoide:

Es la superficie equipotencial del campo de fuerza de gravedad, utilizado como una superficie de referencia para las alturas; el Nivel Medio del Mar (NMM) es la mejor aproximación para esta superficie. El significado físico de las superficies de gravedad equipotenciales se puede revisar fácilmente ya que cada punto debe ser ortogonal a la dirección indicada por una línea vertical.

La diferencia que tiene con el elipsoide, es que no se puede recrear matemáticamente o utilizarse en cálculos porque su forma depende de la distribución irregular de la masa dentro de la tierra.

La superficie del elipsoide es regular y derivada matemáticamente; por ello que, como superficie de referencia, se utiliza para sistemas de coordenadas horizontal. Pero, es de uso limitado como referencia para la altura, ya que es una aproximación grosera de la forma de la tierra para ese fin, (Días, 2007).

3.10.3. Sistema de Referencia:

Aproximadamente hasta la década de los años 70, el Sistema de Referencia, eran conocidos como un sistema local, es decir, este dependía de por lo menos un punto respecto del cual todo el sistema (ejes, elipsoide, superficie de referencia, etc.), se hallaba "posicionado y orientado".

El Datúm en cada lugar depende de parámetros locales, coincide la vertical local de un punto de la Tierra con la vertical astronómica de ese mismo punto, de modo que las coordenadas sobre cada uno ellos no son compatibles con las de los otros Datúm, toda vez que no son coincidentes (figura 25).

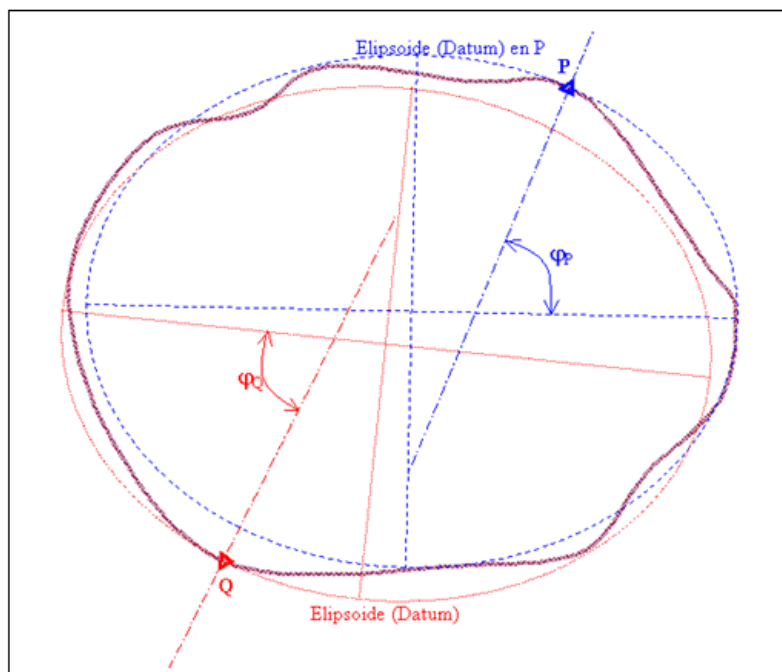


Figura 25: Datum locales (Tomado de Días, 2007).

De aquí surgen los conocidos “datums” como, Campo Inchauspe para la República Argentina; Meades Ranch para el territorio continental de los Estados Unidos, Canadá y algunos países vecinos; Potsdam en Europa; Pulkovo en la ex URSS y algunos países de este de Europa; Dhera Dun en el Subcontinente Indio; Corrego Alegre en Brasil, etc.

El elipsoide de referencia (por lo general distinto de los otros) en un punto particular “Datum” de la Tierra, se encontraban posicionados y orientados, pero no coincidiendo con la posición y orientación de los demás elipsoides y datums.

El resultado era un conjunto de centenares de sistemas de referencia, individuales para cada nación o región, no coincidentes entre sí, ni factibles de ser fácilmente transformados entre ellos, con lo cual las coordenadas geográficas de cada región de la Tierra finalizaban siendo incompatibles con las de las otras.



Básicamente, la transformación entre dos distintos Datúm requiere la determinación de tres matrices de traslación de su centro de coordenadas, tres matrices de rotación para su orientación según los tres ejes espaciales, y un factor de escala.

La generalización del sistema GPS dio paso al que se conoce como Sistema Geodésico Mundial o, *World Geodetic System 1984 (WGS 84)*, consistente básicamente en un sistema de coordenadas tridimensionales, geocéntrico, mundial (figura 26).

Tratándose de un modelo geocéntrico, con su eje menor coincidente con el eje de rotación de la Tierra, su Ecuador coincidente con el Ecuador terrestre, y orientado con el meridiano de Greenwich, las coordenadas definidas en este sistema son coherentes para la totalidad de la Tierra. El sistema de coordenadas WGS 84 es un Sistema Convencional Terrestre de Referencia (CTRS), cuya definición sigue los criterios determinados por el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS), conforme con:

- ❖ Es geocéntrico, en el centro de masa de la Tierra, incluidos los océanos y la atmósfera.
- ❖ Su escala es la del marco de referencia terrestre.
- ❖ Su orientación coincide con el meridiano de origen a las 0 horas de 1984 del Bureau International de l'Heure (BIH).
- ❖ El eje Z se halla orientado en la dirección del Polo de Referencia del IERS (IRP), correspondiente a la dirección del Polo Convencional Terrestre (CTP) época 1984,00 del BIH, coincidente con el eje de rotación diurna, con un desvío de $\pm 0",005$.
- ❖ El eje X se halla orientado en la dirección del Meridiano Internacional de Referencia del IERS (IRM), coincidente con el Meridiano Origen para la época 1984,00 del BIH, con un desvío de $\pm 0",005$.
- ❖ El eje Y completa una terna ortogonal centrada y fija en la Tierra (ECEF Earth Centered-Earth Fixed).

Tabla N°4: Parámetros Sistema de Referencia



PARAMETROS	NOMBRE	MAGNITUD
Semieje mayor	a	6.378.137 m
Achatamiento	f	1 / 298, 257223563
Velocidad angular de rotación de la Tierra	ω	$7,292115 \times 10^{-5} \text{ rad seg}^{-1}$
Constante gravitacional geocéntrica (incluida atmósfera)	GM	$398600,4418 \text{ km}^3 \text{ seg}^{-2}$

El WGS 84 es un sistema de referencia de coordenadas ortogonales, de sentido directo, rígidamente ligado a la Tierra sólida. Es el mejor, más completo y preciso sistema geodésico mundial de referencia de la Tierra disponible, para la casi totalidad de las aplicaciones prácticas de cartografía, georreferenciación y navegación.

Un conjunto mundial de estaciones, con coordenadas en aquel sistema, constituye la materialización física del marco de referencia operacional del WGS 84.

El pasaje de coordenadas del sistema geodésico al ortogonal, está dado por la ecuación (8):

$$\begin{cases} X = (N + h) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda \\ Y = (N + h) \cdot \cos \varphi \cdot \sen \lambda \\ Z = [(1 - \alpha)^2 \cdot N + h] \cdot \sen \varphi \end{cases} \quad (8)$$

Siendo
$$N = \frac{a}{\sqrt{\cos^2 \varphi + (1 - \alpha)^2 \cdot \sen^2 \varphi}}$$

Ambas fórmulas vinculan las coordenadas geodésicas φ , λ , & h relacionadas al elipsoide con los semi ejes 'a' y la elipticidad (o aplanamiento α), con las coordenadas X, Y y Z relacionadas con el sistema geocéntrico cartesiano asociado, la fórmula de transformación entre los diferentes sistemas son producidos en las coordenadas geodésicas (Días, 2007).

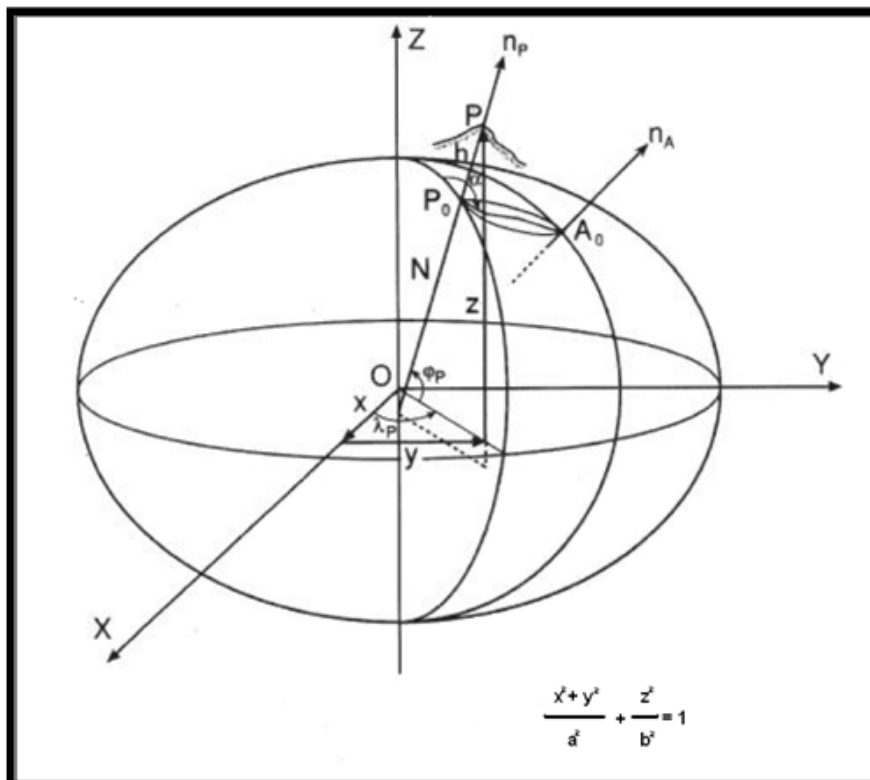


Figura 26: Sistema Geodésico Mundial o, *World Geodetic System 1984 (WGS 84)*,
(Figura tomada de M-13, publicación de la OHI).

3.11. El Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El GPS se basa en la recepción de señales de radio enviadas desde un satélite artificial en la órbita alrededor de la tierra, en tiempo real, las 24 horas, a nivel mundial. El nombre completo del sistema es NAVSTAR GPS (*NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System*).

El sistema, creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, se maneja en la actualidad con la colaboración del Departamento de Comercio y se ha hecho para permitir a cada momento en cada parte del mundo, el posicionamiento tridimensional, incluso en movimiento, (Huerta, 2005).

El sistema se divide en:

- a. El segmento espacial: formado de 24 satélites en órbitas aproximadamente circulares alrededor de la tierra a una altura de 20.200 km. Los satélites están distribuidos en grupos de 4 para cada plano orbital, los cuales son 6 y tienen una inclinación de 55° con el Ecuador con un período de revolución de cerca de 12 horas. Esta distribución de la constelación asegura la visibilidad de al



- menos 4 satélites (normalmente de 6 a 8) en todo momento y lo ubica en una elevación sobre los 15° grados del horizonte, que es fundamental para el posicionamiento (figura 27).
- b. Segmento de control: Es una serie de estaciones de rastreo, distribuidas en la superficie terrestre que continuamente monitorea a cada satélite analizando las señales emitidas por estos y a su vez, actualiza los datos de los elementos y mensajes de navegación, así como las correcciones de reloj de los satélites. Las estaciones se ubican estratégicamente cercanas al plano ecuatorial y en todas se cuenta con receptores con relojes de muy alta precisión.
- c. El segmento usuario: está conformado por usuarios equipados con receptores con antenas GPS.
- d. La estructura de señal: Cada satélite emite continuamente ondas electromagnéticas en frecuencias escogidas cuidadosamente a una banda estrecha que se recibe sobre la superficie terrestre y es por esto relativamente protegido de la interferencia. Estas ondas portadoras llevan la información al usuario a través de un código de modulación. Los relojes a bordo producen una frecuencia primaria $f_0 = 10,23$ MHz; de esta frecuencia primaria se originan precisamente las tres partes fundamentales de la señal GPS:
- Componente portador
Esta hecho de dos ondas sinusoidales llamadas L1 y L2 respectivamente de las frecuencias $154 \times f_0 = 1575,42$ MHz ($\lambda_{L1} \cong 19$ cm) y $120 \times f_0 = 1227,60$ MHz ($\lambda_{L2} \cong 24$ cm).
 - Codificador
Comprende dos códigos llamados *Coarse Acquisition* u obtención clara o gruesa (C/A) y Preciso (P), el primero sólo modula la frecuencia del transportador L1 y el segundo ambos el L1 y el L2.
 - Estos códigos son ondas cuadradas formadas por valores de transición +1 y -1 producidas por un algoritmo simple, que tienen una característica de equilibrio estadístico de valores positivos y negativos; los códigos se llaman "pseudo accidental" o PRN (*Pseudos Random Noise* o Ruido Pseudo Aleatorio). El código de frecuencia C/A es 1.023 MHz (C/A=300m), el código P tiene una frecuencia que es $10 \times f_0 = 10.23$ MHz (P=30 m). El código C/A está disponible para el uso civil mientras que el código P se reserva para uso militar y otros usuarios autorizados. El Departamento de Defensa de EEUU se reserva el derecho de

disfrazar el código P por encriptación y de usar el procedimiento llamado *Anti-Spoofing* (A-S). El código P encriptado se llama código Y.

- Componente de mensaje: Está compuesto del mensaje de navegación D que tiene una frecuencia de $f_0/204800 = 50$ Hz. Contiene la efemérides (o almanaque) detalles de los satélites, información de su salud y de los relojes a bordo.

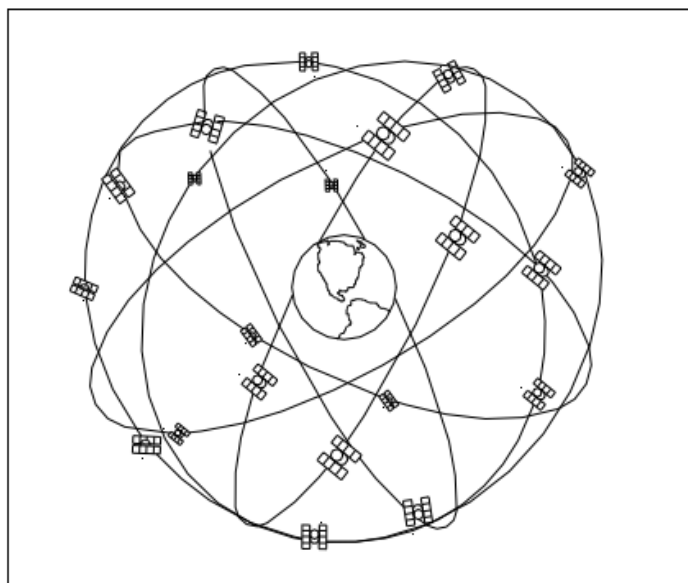


Figura 27:-Sistema de Posicionamiento Global (GPS). (Tomado de Huerta, 2005).

3.11.1. Principio de posicionamiento con GPS

El posicionamiento GPS utiliza la técnica de Intersección de Medidas Espaciales. El sistema de referencia geodésica (Dátum) explotado es llamado el Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84), que está creado por un sistema cartesiano con ejes en sentido horario con el origen en el centro de la masa de la tierra, con el que se asocia el elipsoide geocéntrico WGS84. Si se conocen las coordenadas satelitales de este sistema de referencia, las coordenadas incógnitas de un punto se conectan a las coordenadas conocidas de los satélites observados a través de la medición de un número suficiente de distancias entre los satélites y el centro de fase de una antena conectada al receptor en la posición requerida. Esencialmente hay tres principios de posicionamiento, (Días Raúl, 2007. Apuntes de Geodesia II):



1. posicionamiento absoluto (o normal);
2. posicionamiento relativo;
3. posicionamiento diferencial.

3.11.1.1. Posicionamiento absoluto

El propósito de este método de posicionamiento es la determinación de las coordenadas posicionales en el sistema de referencia global WGS84. Esto se logra al utilizar el componente de señal impulsivo (código C/A o código P si está disponible) o de analizar las dos fases de las portadoras L1 y L2.

En el primer caso, las distancias receptoras-satelitales se llaman “*pseudo-ranges*” (pseudo distancias) y son calculadas de acuerdo al tiempo de propagación, que es el que demora la señal en llegar al receptor desde el satélite. Este tiempo se mide con un receptor a través de las correlaciones entre la señal recibida y una copia producida por el receptor; la señal copiada en el receptor se cambia para alinearla con la señal satelital. La diferencia del tiempo calculado está influenciada por el error asincrónico entre el satélite y los relojes del receptor, además del estado (corrección) del reloj receptor que es menos exacto que los relojes atómicos de los satélites.

Estos factores no pueden ser ignorados en la medición de tiempo de propagación; por esta razón que para las tres incógnitas de posición (x , y , z transformables en φ , λ ; h altura sobre el elipsoide WGS84) se agrega una cuarta, que está relacionada con el error del reloj receptor. De allí proviene que existe un requisito para observar simultáneamente al menos cuatro satélites para obtener una posición absoluta en tiempo real.

En el segundo caso la fase de dos frecuencias transportadoras es analizada y la distancia del satélite-receptor puede ser obtenida al comparar la fase de la señal transportadora en el momento de la recepción con la fase de la señal en el momento de la transmisión. En este caso una incógnita adicional para cada satélite observado es introducida. Es la Ambigüedad Integral inicial que es la totalidad de ciclos que la señal ha atravesado desde el satélite al receptor al principio de las mediciones. Entonces para cada satélite de observación nuevo se crea una nueva Ambigüedad, debido a las diferentes distancias. Como resultado, el posicionamiento absoluto en tiempo real con medidas de fase es solamente posible si las Ambigüedades de los satélites utilizados para el posicionamiento se conocen; el procedimiento para este determinación se llama inicialización, (Huerta Eduardo, 2005. GPS-Posicionamiento Satelital, IV-1 p.).



3.11.1.2. Posicionamiento relativo

El propósito del posicionamiento relativo es la determinación del vector de línea base o de las componentes del vector que se forma entre las dos posiciones donde están ubicados temporalmente los dos receptores. Si las coordenadas absolutas de uno de los dos puntos se conocen, agregando los componentes del vector de base-línea, las coordenadas absolutas de la segunda posición pueden ser obtenidas. Estas posiciones pueden lograrse a través del código o fase, aunque en la práctica solo la medida de fase es utilizada. Se puede escribir una ecuación de observación de fase para cada receptor desde un satélite que es observado en un momento dado. Observar el mismo satélite en el mismo momento desde dos diferentes receptores a los extremos de las líneas-base y luego restando una del otro produce dos ecuaciones de fase, una ecuación para las diferencias simples. Insertando en la observación otro satélite, y agregando la diferencia entre las dos ecuaciones para las diferencias simples, se crea una ecuación para las diferencias dobles. Al final de estas dos operaciones el resultado es la eliminación de los errores del reloj de los dos satélites. En este punto las cantidades desconocidas a ser determinadas son los componentes de la vector base-línea y las suma de las cuatro ambigüedades de los dos satélites (considerados como sólo un valor íntegro). Si la señal es interrumpida las ambigüedades cambian y se requiere de una nueva instalación. Finalmente las interrupciones posibles de la señal son separadas a través de la diferencia entre las dos ecuaciones de las diferencias dobles (llamadas ecuación para las diferencias triples) y estableciendo la continuidad, la incógnita "ambigüedad" es eliminada, (Días Raúl, 2007).

3.11.1.3. Posicionamiento diferencial

El posicionamiento diferencial es similar al posicionamiento absoluto pero tiene correcciones para pseudo-distancias, en tiempo real o diferido, correcciones transmitidas o almacenadas, en los receptores situados en puntos de coordenadas absolutas conocidas. El receptor remoto aplica, en tiempo real o en tiempo de retraso, las correcciones a las mediciones del pseudo-rango o fase afectada y luego calcula la posición absoluta correcta, mejorando la exactitud de las coordenadas, (Días, 2007).

3.12. Teledetección

La teledetección obtiene información de un objeto a través de un sensor sin estar en contacto con él.



Según Borozuki (2014) para que esto sea posible, como es el igual a nuestro caso, que podemos ver un objeto, gracias a que nuestros ojos reciben y traducen la energía lumínica proveniente del mismo, caso que se explica porque en la oscuridad no podemos ver. Tomando esto como ejemplo, sirve para introducir los tres elementos principales de cualquier sistema de teledetección: sensor (nuestro ojo), el objeto observado y el flujo energético que los pone en relación.

A partir de un sensor remoto, hay tres formas de adquirir información: por reflexión, por emisión y por emisión-reflexión.

- ✓ **Reflexión:** Se produce directamente por la luz solar. El sol ilumina la superficie terrestre y esta refleja de acuerdo al tipo de cubierta existente sobre ella. Ese flujo es captado y recuperado por el sensor satelital y transmitido a las estaciones terrestres. Cabe destacar que entre el sensor y la superficie se interpone la atmosfera que dispersa y absorbe parte de la energía reflejada.
- ✓ **Emisión:** Las propias cubiertas pueden emitir energía.
- ✓ **Emisión-Reflexión:** En este caso es el propio sensor que envía un flujo energético que el propio sensor recoge el reflejado de acuerdo a la superficie y a ciertas condiciones.

Los sensores se clasifican en:

Sensores pasivos, siendo estos receptores de la radiancia (reflectancia) procedente de los objetos iluminados por una fuente externa, el Sol. Como el ojo humano, estos sensores pasivos no producen su propia luz para iluminar los objetos de los cuales recogen información. Dado a la similitud entre estos y el ojo humano, los datos que recogen son denominados “datos ópticos” o “imágenes ópticas”. A diferencia de los **Sensores Activos**, que utilizan radiación generada por ellos mismos que posteriormente medirán tras su interacción con la superficie en estudio. Ejemplo de los sensores remotos activos son los radares, los cuales trabajan transmitiendo principalmente microondas. En el caso de los sensores pasivos, de los que provienen los datos de esta tesis, están especializados para captar energía de un determinado rango del espectro electromagnético, ejemplo, están los sensores que captan la energía que corresponden a la longitud de onda del infrarrojo, otros lo hacen en una pequeña fracción del verde, dentro del espectro visible, (http://www.scanterra.com.ar/conozca_mas.html#sensores).

Para que la información llegue desde la superficie terrestre al sensor del satélite, debe existir un medio, ese medio es la Energía Electromagnética (EEM).

La mayoría está familiarizada con la forma visible de la energía electromagnética. Pero, son embargo, existen muchas otras formas además de la luz visible, estar sería, las ondas de radio, las microondas, los rayos ultravioletas, el calor, los rayos X, los rayos gamma, y los rayos cósmicos.

3.12.1. Espectro Electromagnético:

Se lo denomina así a la sucesión creciente de ondas electromagnéticas de todas las radiaciones conocidas.

Independientemente del nombre que adquieren las ondas, la energía electromagnética es inherentemente similar. Su comportamiento está gobernado por las ecuaciones de Maxwell, que describen la velocidad de propagación de las ondas en una dirección perpendicular a los campos eléctricos y magnéticos entre sí,
(http://www.scanterra.com.ar/conozca_mas.html#sensores).

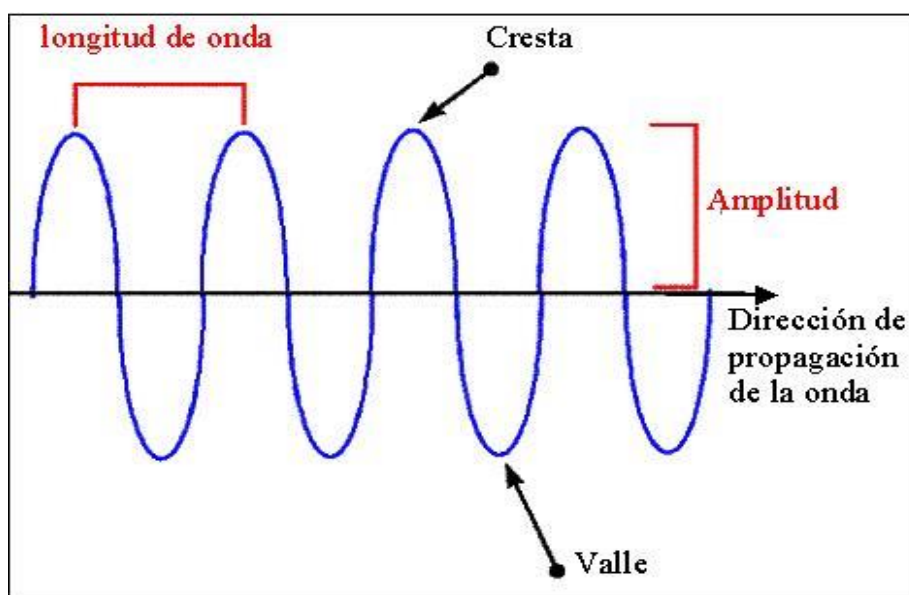


Figura 28: Onda, elementos principales, (Tomado de <http://www.hernanmouro.org/acustica/unidades/unidad-2/longitud-de-onda/>).

Elementos de las ondas:

Longitud de onda (λ): Es la longitud entre dos crestas, o dos valles.

Amplitud: Es la máxima perturbación de la onda. La mitad de la distancia entre la cresta y el valle.

Frecuencia (f): Número de veces que se repite la onda por unidad de tiempo. Si se usa el Hertzio es el número de veces que se repite la onda por cada segundo.

Periodo (T): Es el tiempo que transcurre entre el lapso de dos crestas. Es la inversa de la frecuencia, $1/\text{frecuencia}$.

Velocidad (v): la velocidad de la onda depende del medio por el que se propague (por donde viaje), si la onda viaja por el vacío su velocidad es igual a la de la luz 300.000Km/segundo. Si se propaga por el aire cambia, pero es prácticamente igual a la del vacío. ($v=\lambda/f$)

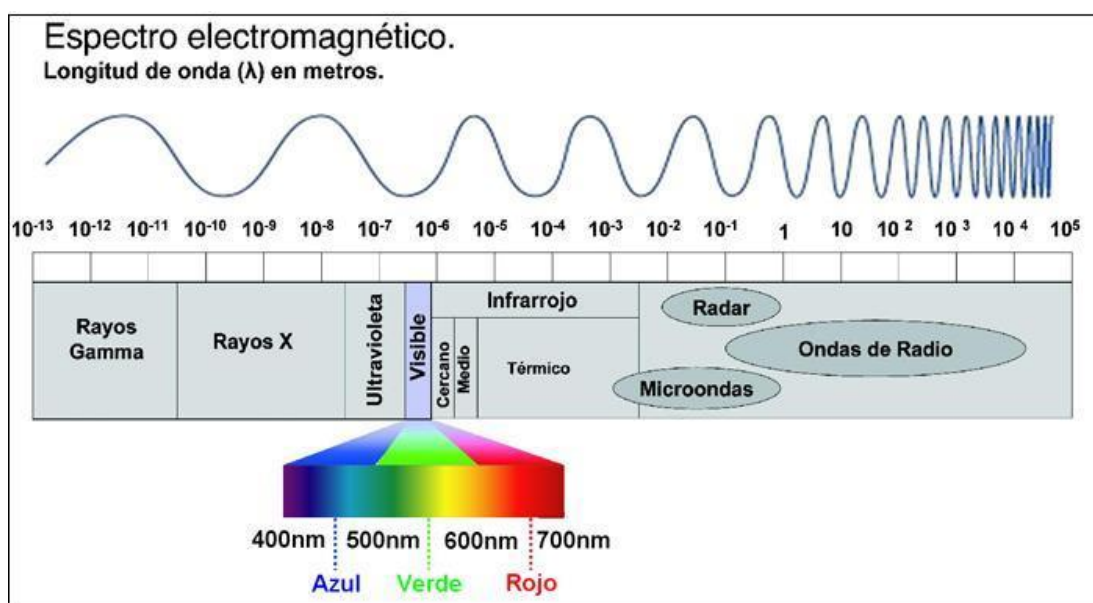


Figura 29: Espectro Electromagnético, (tomada de

http://carlosdavid.mex.tl/1180793_espectro-electromagnetico.html).

En teledetección se trabaja con la longitud de onda (λ)

- ❖ Espectro visible (0,4 a 0,7 μm): Se trata de la única radiación electromagnética que puede percibir el ojo humano. Dentro de esta región se distinguen tres bandas elementales, azul (A: 0,4-0,5 μm), verde (V: 0,5-0,6 μm) y rojo (R: 0,6-0,7 μm).
- ❖ Infrarrojo cercano (IRC: 0.7 a 1.2 μm): Resulta de especial importancia por discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad. También se lo denomina infrarrojo próximo, reflejado o fotográfico, debido a que parte de él puede detectarse partir de películas o emulsiones especiales.

- ❖ Infrarrojo lejano o térmico (IRT: 8 a 14 μm): incluye a porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres.
- ❖ Microondas (M por encima de 1mm): con gran interés porque es un tipo de energía que atraviesa la cobertura nubosa.

3.12.2. Interacción de la radiación solar:

La radiancia que capta un sensor en el rango del espectro que estamos considerando depende de la que reflejan las distintas cubiertas terrestres, para detectar una cubierta por teledetección es preciso explicar cómo interactúa con la radiación solar incidente.

El flujo incidente (figura 30) puede descomponerse en tres términos que son el flujo reflejado, el absorbido y transmitido.

Reflejado: Corresponde al porcentaje de la energía incidente que es directamente reflejado por la superficie.

Absorción: Es la energía que es absorbida por la tierra. Diferentes materiales o coberturas terrestres absorben distinta cantidad de esta energía incidente.

Transmitido: Es la parte de la energía incidente que es transmitida a través de un objeto sin mayor interferencia.

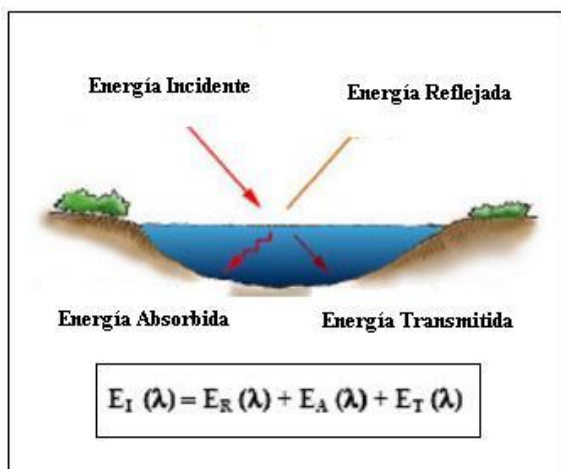


Figura 30: Interacción de la radiación solar. (Tomado del instructivo del Centro de Capacitación en Ciencias Geográficas, CCCG, IGN).



Desde el punto de vista de los sensores remotos, la energía que interesa es la que interviene en los dos primeros fenómenos, o sea, el satélite convierte la energía que recibe proveniente de la tierra en un valor digital de 256 niveles (niveles de grises) que son proporcionales a la intensidad de la energía incidente, asignándole 0 para la mínima intensidad (negro) y 255 para la máxima (blanco).

El flujo de energía recibido por el sensor no solo depende de la reflectividad de la cubierta sino también de otros factores externos. Los más importantes son: las condiciones atmosféricas, el emplazamiento ambiental de las cubiertas y geometría de la observación (geometría del terreno), (http://www.scanterra.com.ar/conozca_mas.html#sensores).



CAPÍTULO 4

DATOS

4.1. Cartas topográficas

Las cartas topográficas utilizadas fueron las Hojas 3960-12-3 Punta Negra (Figura 31) y 3960-12-4 Necochea (Figura 32), cedidas por el Instituto Geográfico Nacional, para la realización de esta tesis.

Ambas cartas están a una escala de 1:50.000 y representadas a través de la proyección Gauss – Krüger, faja 6. La Hoja 3960-12-3 fue editada en el año 1963 y la Hoja 3960-12-4 en el año 1964. Sus últimas actualizaciones son del año 1967. La hoja 3960-12-3 cubre el área desde los paralelos 38°30´S a 38°40´S y desde los meridianos 58°45´W a 59°00´W. Y la hoja 3960-12-4 cubre el área desde los paralelos 38°30´S a 38°40´S y desde los meridianos 58°30´W a 58°45´W. Las alturas se encuentran representadas en metros con una equidistancia de 2,5 m.

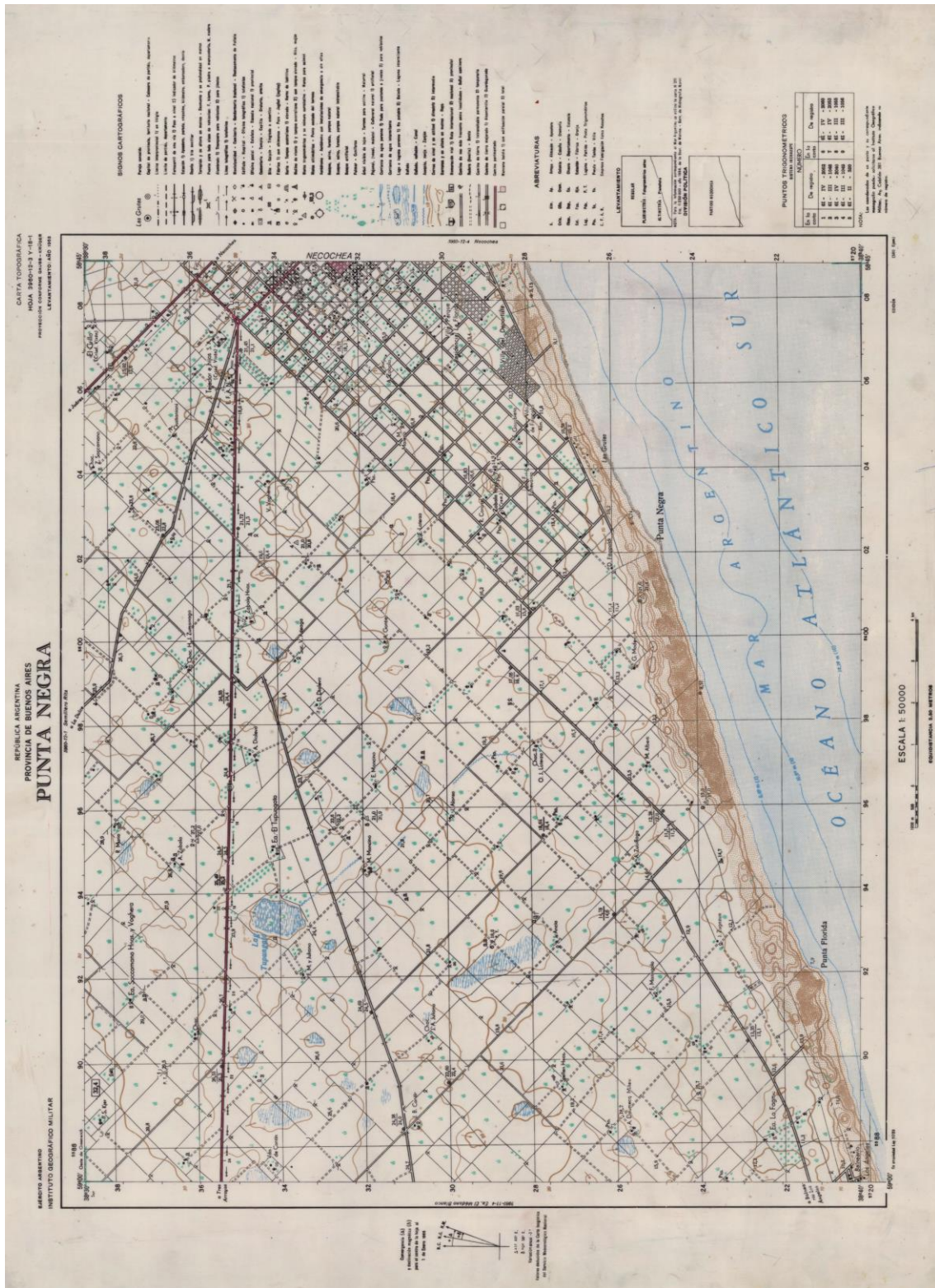


Figura 31: Carta topográfica hoja 3960-12-3, Punta Negra, de la provincia de Buenos Aires.

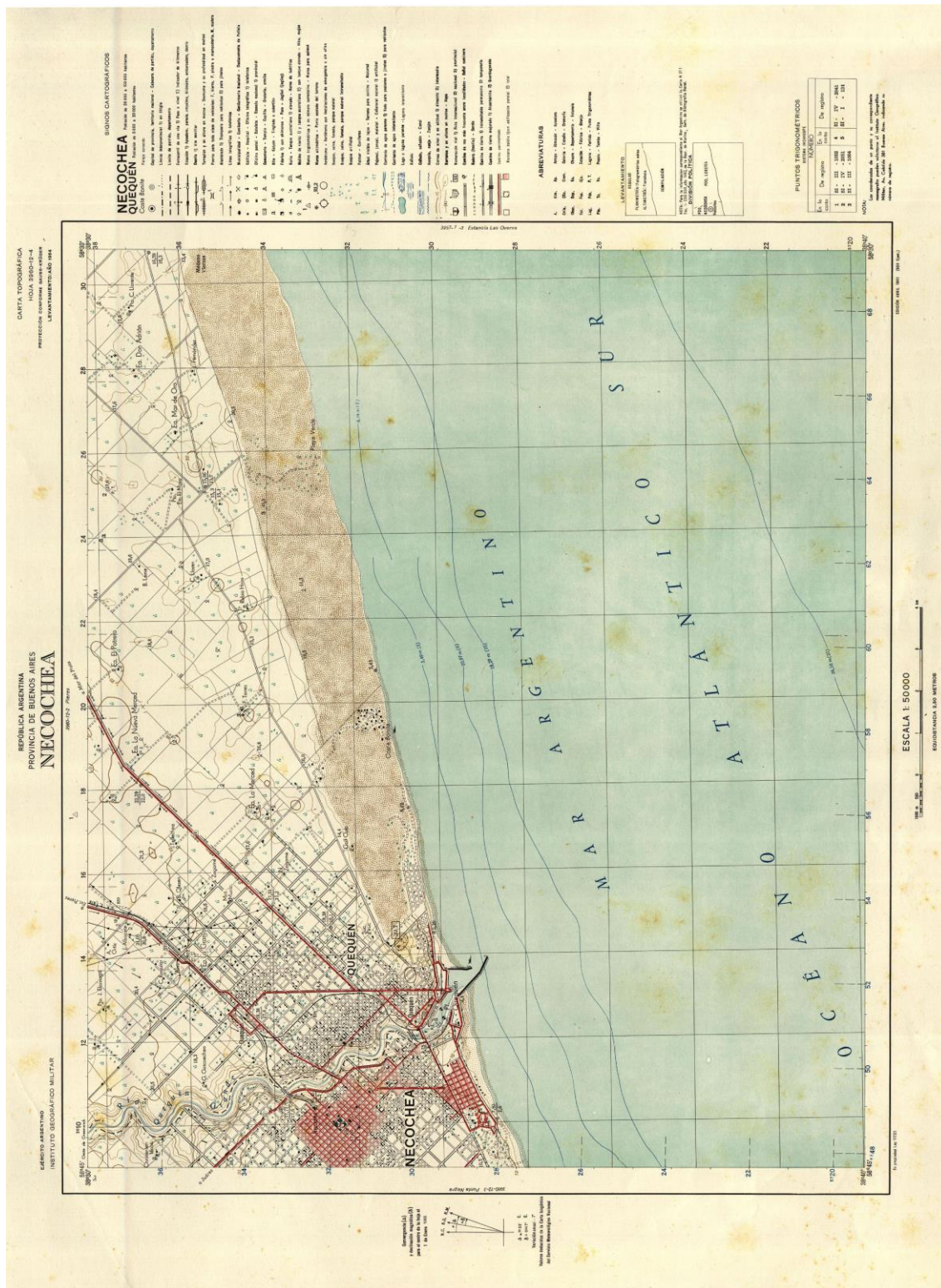


Figura 32: Carta topográfica hoja 3960-12-4, Necochea, Provincia de Buenos Aires.



4.2. Carta náutica

La carta náutica utilizada para este trabajo fue la H-253 Puerto Quequén (Figura 33), la cual corresponde a la zona de Puerto Quequén, provincia de Buenos Aires. Dicha carta fue confeccionada a una escala en 1:5.000, y representada por medio de la proyección Mercator, siendo su dátum horizontal el WGS 84. Las profundidades están representadas en metros y referidas a la bajamar astronómica más baja (LAT), y las elevaciones están en metros sobre el nivel medio. Fue publicada en 1968 por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN), y es una compilación de levantamientos hidrográficos y aéreo-fotogramétrico del SHN, reimpressa en el año 2003. Esta carta cubre el área desde el paralelo $38^{\circ}40'00''S$ al paralelo $38^{\circ}35'60''S$ y desde el meridiano $58^{\circ}40'50''W$ al meridiano $58^{\circ}43'20''W$.

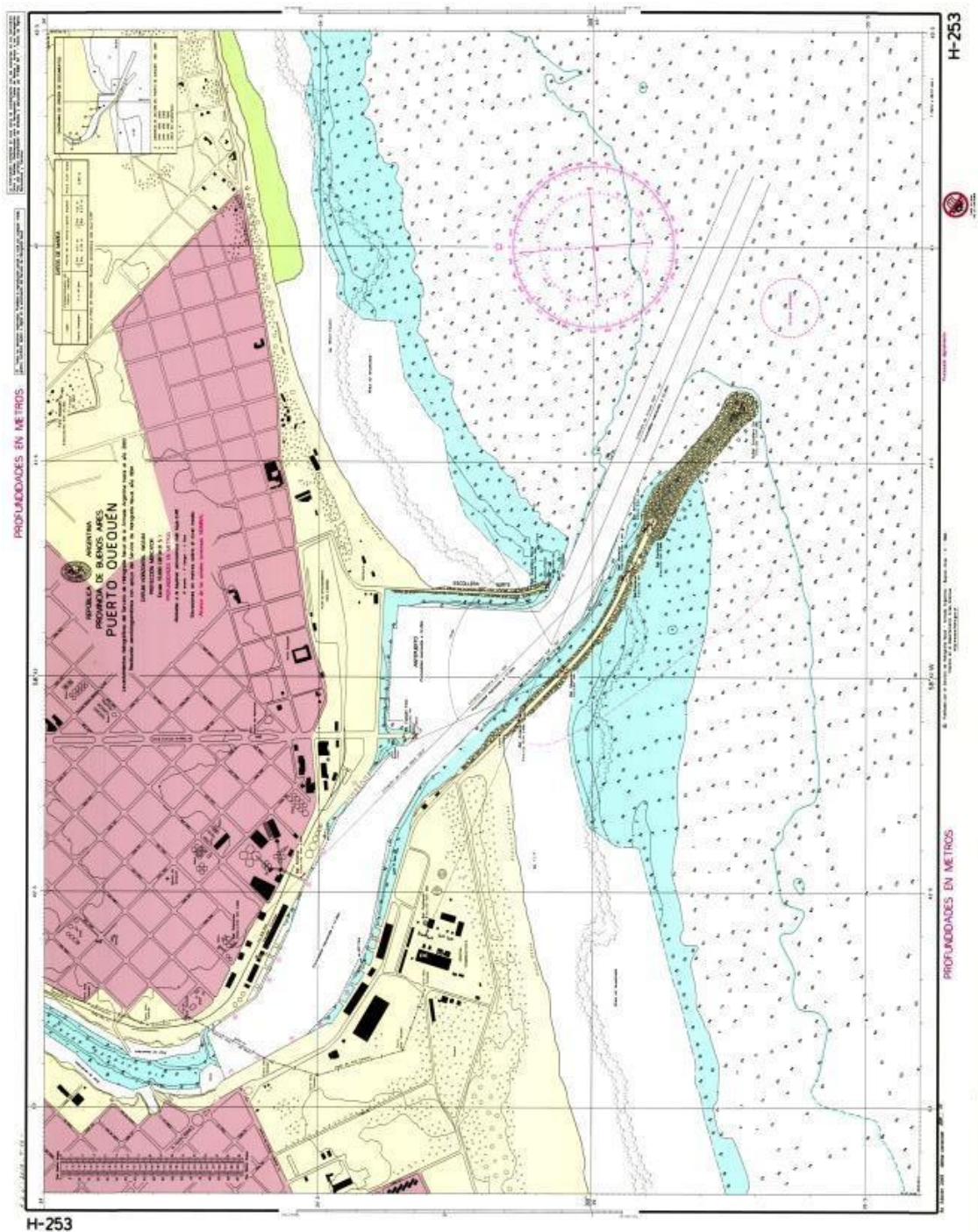


Figura 33: Carta Náutica H-253, Puerto Quequén, Provincia de Buenos Aires.



4.3. Imágenes Aéreas

4.3.1. Restituciones Aéreo-fotogramétricas

Para este trabajo se utilizaron restituciones Aéreo-fotogramétricas como se puede ver en las (figuras 34, 35 y 36). La restitución 110 es del año 1967, a una escala 1:5.000, las alturas se encuentran representadas en metros con una equidistancia de 10 m. La restitución 111 es del año 1960, dicha restitución se encuentra a una escala de 1:10.000, y compuestas por curvas de nivel con equidistancia de 10 m. Y por último la restitución 110 A, fue confeccionada en el año 1982, a una escala 1:5.000, y presenta las curvas de nivel con equidistancia de 5m.

El sistema de coordenadas de las restituciones fue el sistema oficial de la época (CI, Campo Inchauspe 69), representadas en coordenadas planas o proyectadas Gauss-Krüger. Las correcciones para convertir las coordenadas CI en WGS84 se obtuvieron de la publicación S-60 de la OHI.

Además de las cartas anteriormente detalladas, se recurrió a antiguas restituciones de fotografías aéreas realizadas por el SHN, ya que el objetivo de este trabajo es detectar, a través de un lapso de años, si hubo una significativa variación de costa (en cuanto erosión o acreción) en la zona de interés,

La planificación de dichas restituciones constaron con una elevada superposición tanto longitudinal (60%) como lateral (10%). Por lo cual se obtuvieron varias fotos para un mismo punto del terreno. Los vuelos fueron realizados en función de la planificación y con los instrumentos adecuados para obtener las coordenadas del centro de toma y valores angulares.

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

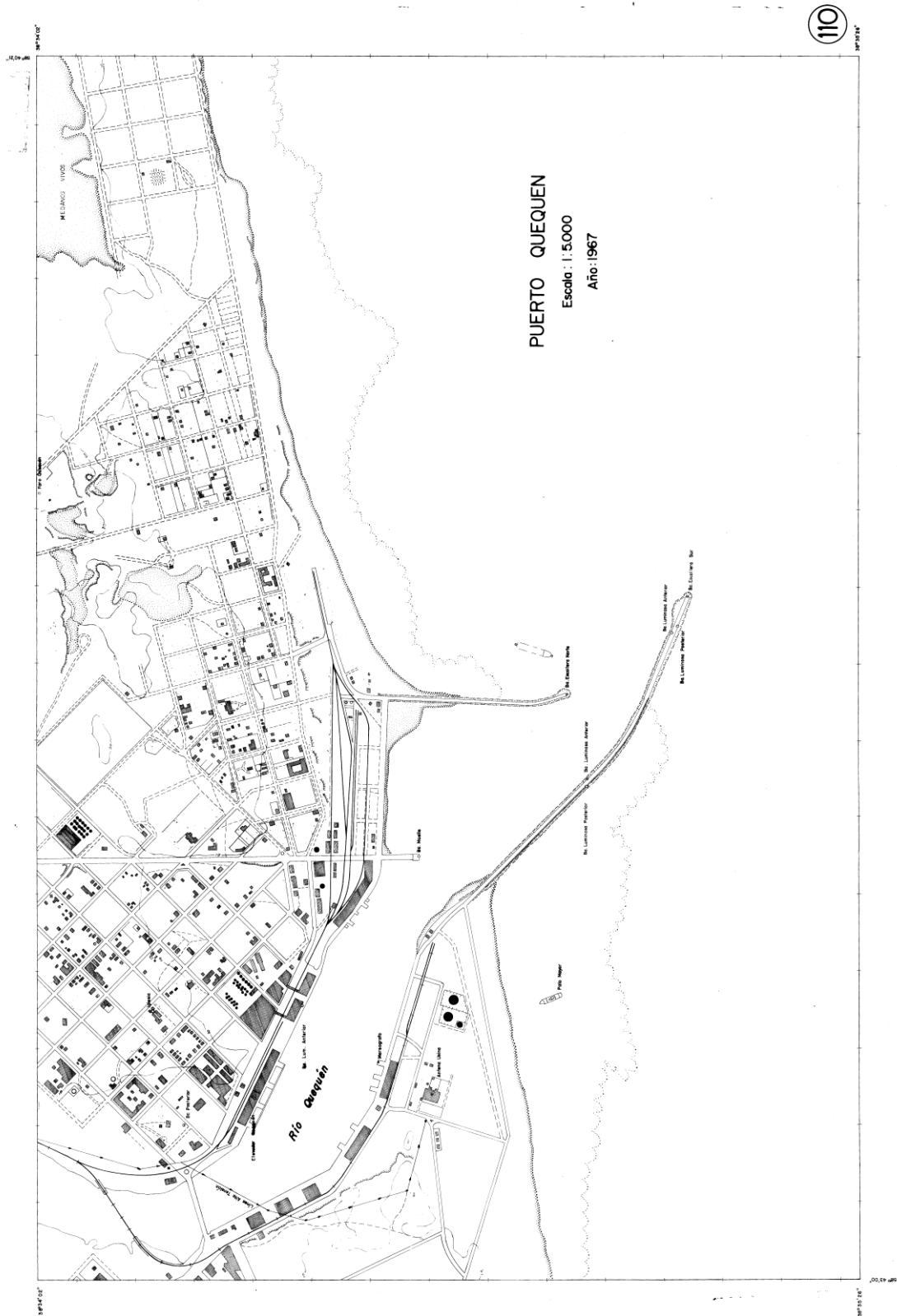


Figura 34: Restitución fotogramétrica 110, del puerto de Quequén del año 1967.

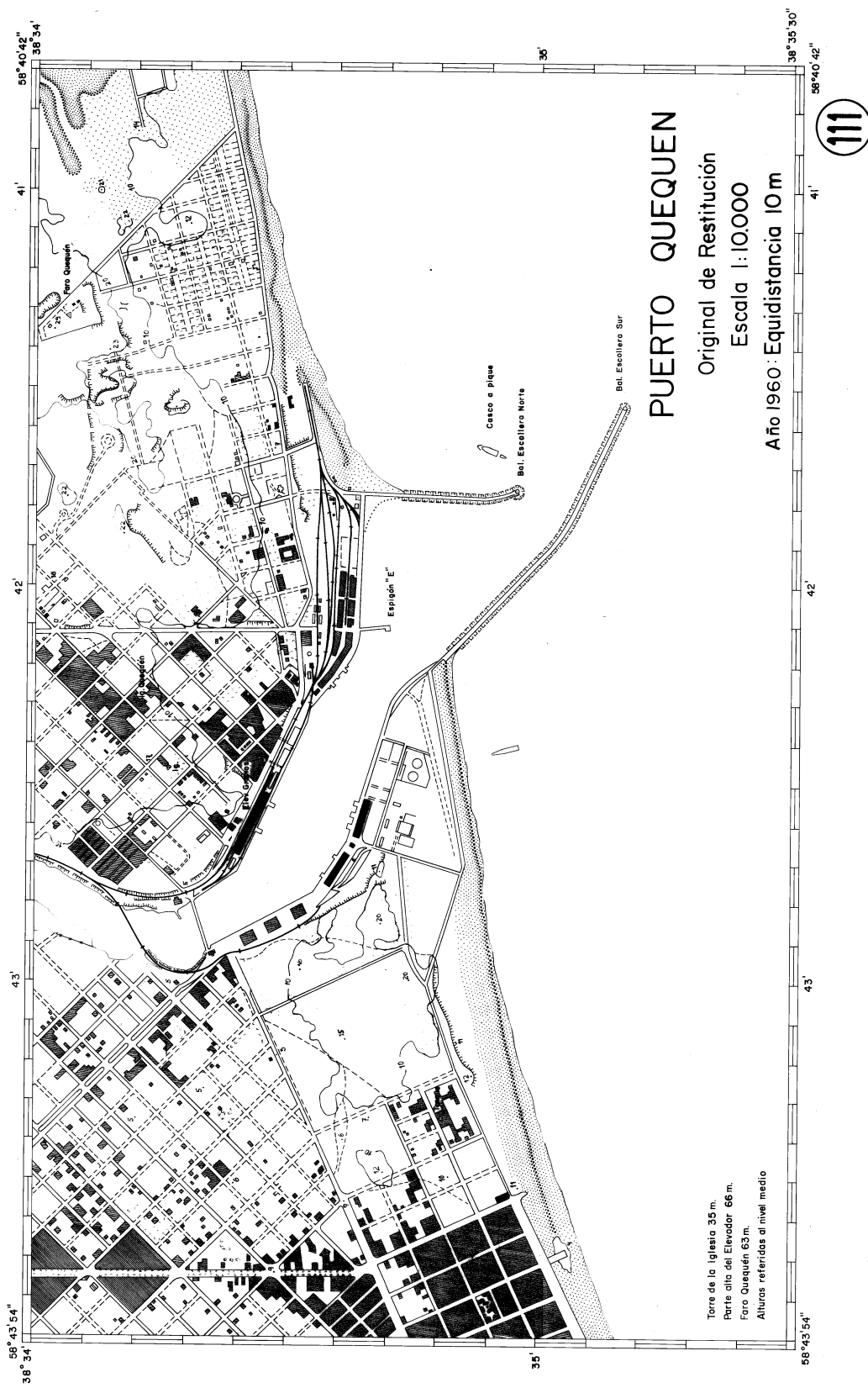


Figura 35: Restitución fotogramétrica 111, del puerto Quequén del año 1960.

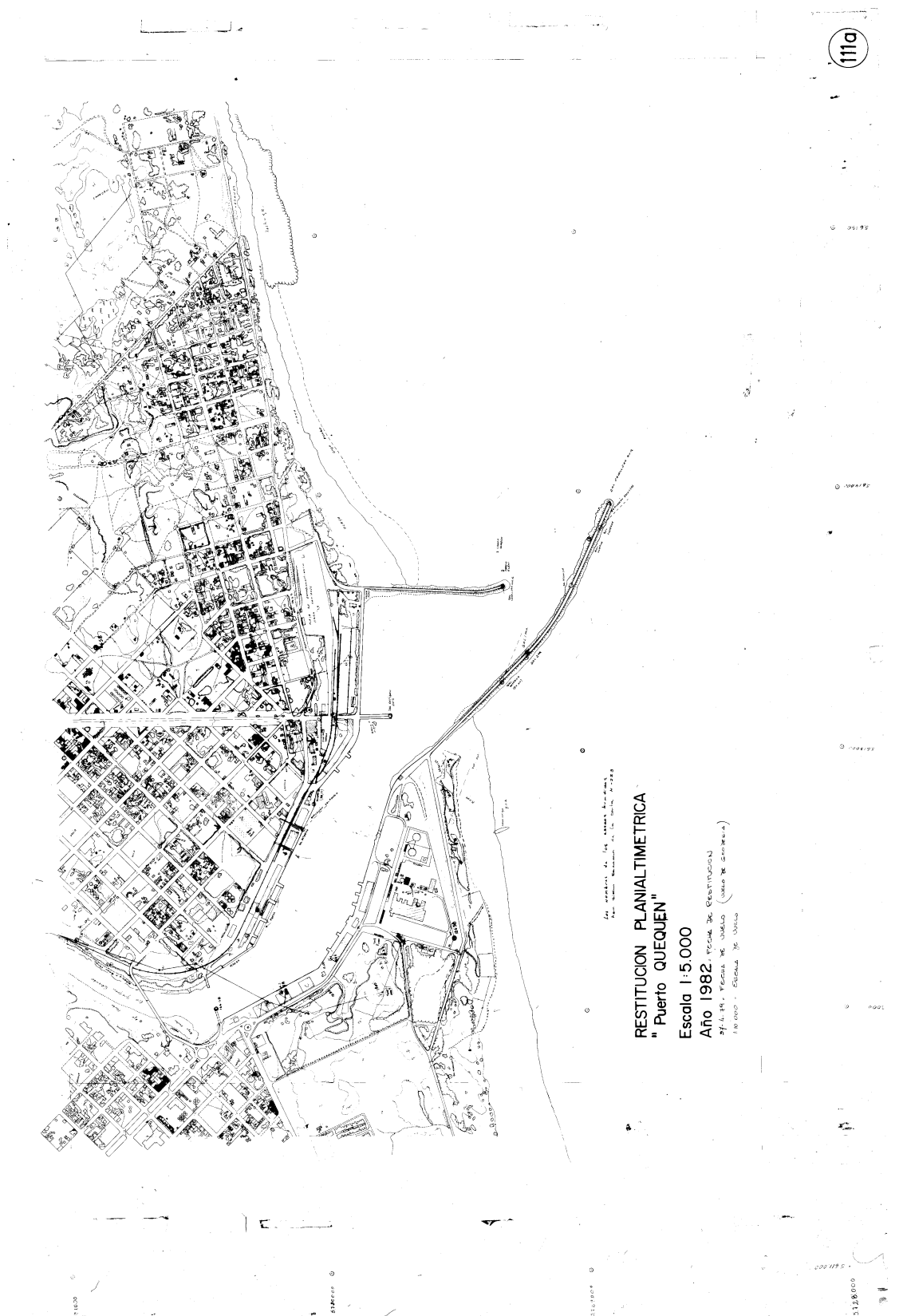


Figura 36: Restitución fotogramétrica 111 A, del puerto Quequén, del año 1982.



4.3.2. Fotogramas

Para este trabajo también se contó con fotogramas (Figuras 37 y 38) del año 1960, que fueron brindados por el IGN.

Dichos fotogramas fueron tomados por la cámara Wild 249, con una distancia focal 114, 37 y a una altura de vuelo 4.100 m, y una escala 1:35.000.

Estos fotogramas fueron adquiridos en formato digital, extensión .TIFF, como dichas imágenes no cuentan con un sistema de referencia, se les aplicó las del mosaico (mencionado en el punto siguiente), las cuales entonces se encuentran en proyección Gauss-Krüger, faja 6.



Figura 37: Fotograma 61_227_7496, IGN, 1960.



Figura 38: Fotograma 61_227_7497, IGN, 1960.

4.3.3. Mosaico de ortofotos rápidas

También se contó con mosaicos de ortofotos rápidas (Figura 39), brindado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Los mosaicos que compusieron al sector fueron nueve, con un solape entre ellos de 30 m. Sus unidades son en metro y el tamaño del pixel es de 0,20 m. La proyección utilizada fue Gauss-Krüger, Faja 6. La cámara utilizada en el vuelo, fue la Vexcel Ultracam XP. La fecha del que se ejecutó el mismo fue el 24 de Febrero del 2015.



Figura 39: Mosaico de ortofotos rápidas, Necochea, provincia de Buenos Aires.

4.3.4. Fotografías aéreas

Este estudio también contó con las imágenes tomadas del trabajo de Marcomini *et al.* (2007), las que fueron controladas respecto a su georreferenciación a través de los puntos de las campañas geodésicas de agosto y diciembre del 2014.

La figura 40 es una fotografía aérea del año 1984, que corresponden al departamento de Geodesia de La Plata.



Figura 40: Fotografía aérea, puerto Necochea y Quequén, del año 1984.

4.4. Imágenes satelitales

4.4.1. Imágenes Spot 5

Las imágenes satelitales SPOT 5, fueron solicitadas y brindadas por a la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales).

Estas imágenes corresponden a la creación de una imagen de 2,5 m a partir de dos imágenes pancromáticas de 5 m de resolución, adquiridas simultáneamente por un mismo instrumento por medio de un detector específico instalado en cada instrumento HRG. Es decir, la imagen obtenida mediante tratamiento en tierra es una imagen pancromática de 2,5 m, en la geometría de las dos imágenes de 5 m solapadas el 50%. La banda pancromática de Spot 5 está comprendida entre 0,48 et 0,71 μm (www.conae.gob.ar).

Estas imágenes (figura 41 y 42) solicitadas fueron tomadas por el satélite el 22 de diciembre del 2012, ambas están en la proyección UTM, zona -21 (60° W-54° W).

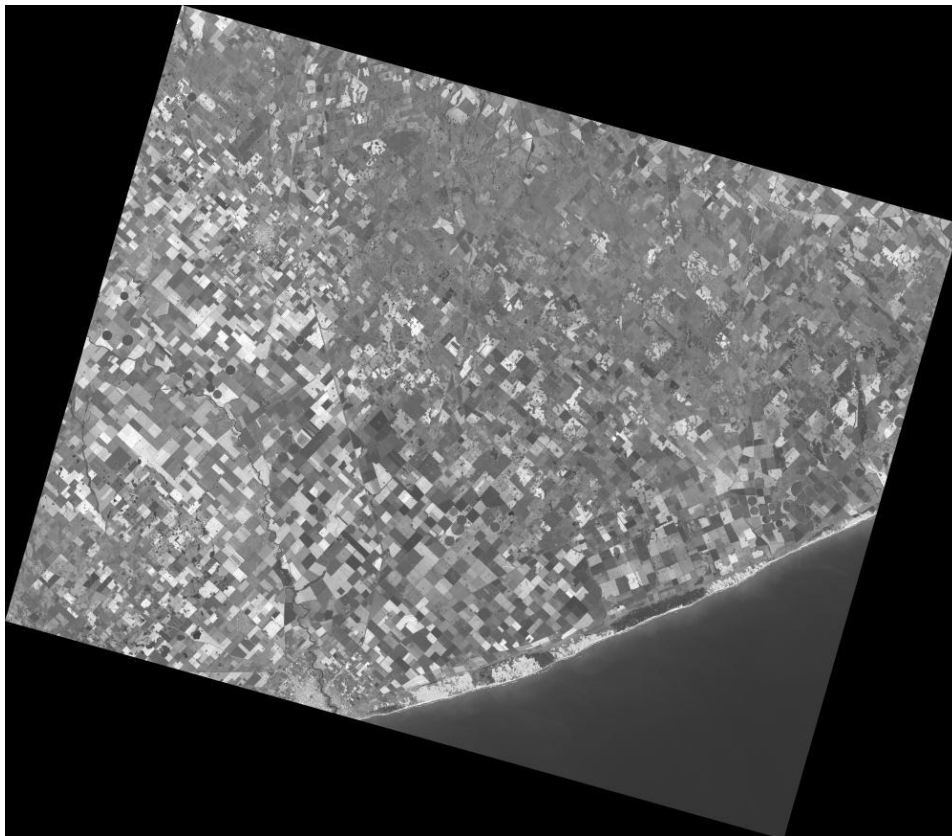


Figura 41: Imagen cedida por la CONAE (SPOT5_HRG2_2012-12-22_13-21-52_A_700_427_S0_L2A).

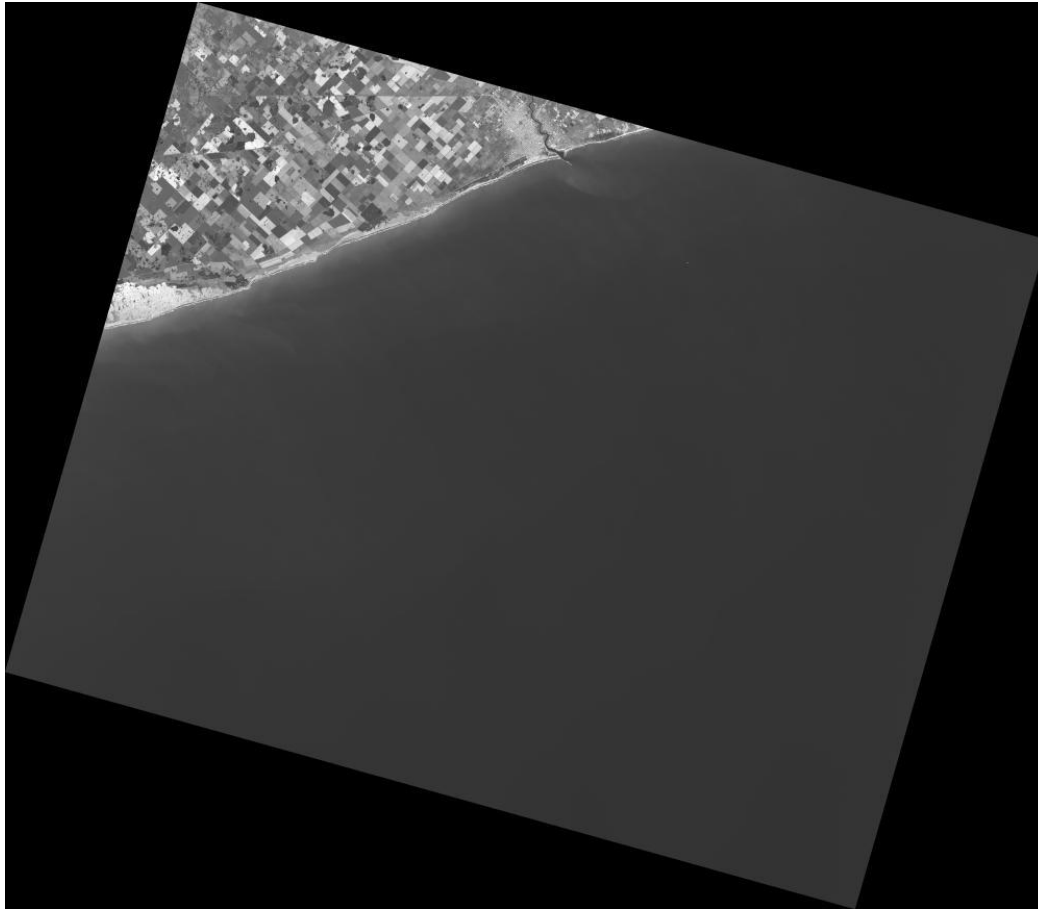


Figura 42: Imagen cedida por la CONAE (SPOT5_HRG2_2012-12-22_13-22-00_A_700_428_S0_L2A)

4.4.2. Imágenes Google Earth

Estas imágenes corresponden al lado de Necochea, se tomaron también para un apoyo más para la superposición de costa. Se tomaron las imágenes de los años 2005, 2007, 2011, para la costa del lado de Necochea, para el lado de Quequén, se tomaron las imágenes del año 2004 y 2014, algunos ejemplos podemos ver en las figuras 43 y 44.

Estas se encuentran en coordenadas geográficas, dátum WGS 84. Al trabajar con una escala 1:5.000, se aplicó con una altura del ojo de 1.5 Km.

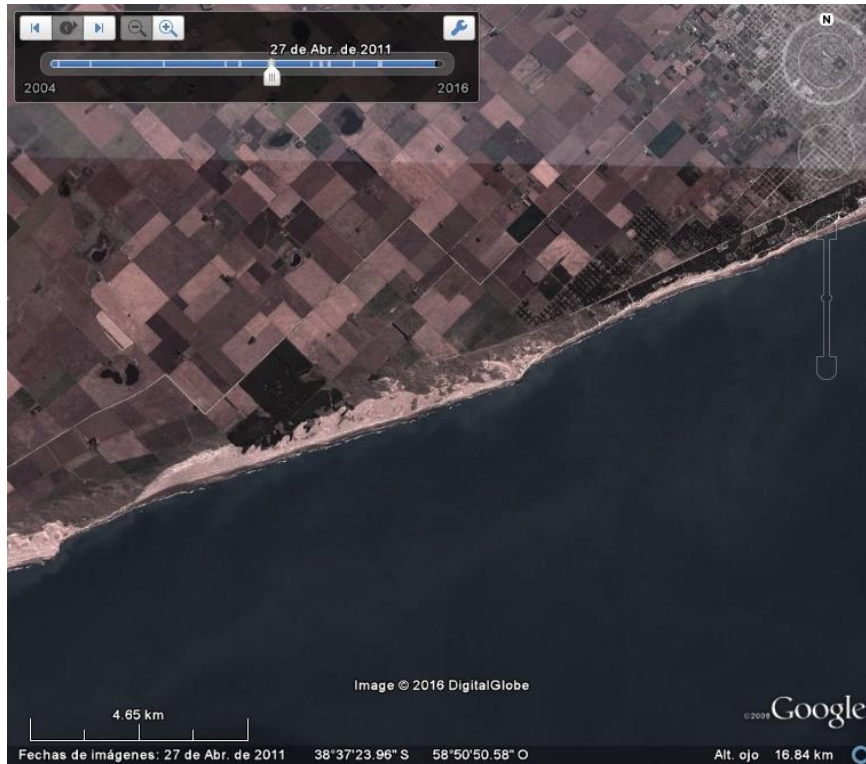


Figura 43: Tomada el 27 de abril de 2014.



Figura 44: Detalle de Punta Negra. Tomada el 23 de abril de 2012.



4.5. Campañas geodésicas de georreferenciación

Se realizaron dos campañas de captura coordenadas de esquinas significativas para la georreferenciación de imágenes en la ciudad de Necochea y Quequén, con un receptor GPS de doble frecuencia L1 y L2, altura de antena 1,37 m perteneciente al Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas de la Facultad de Ingeniería de la UBA y la estación de la red RAMSAC. La campaña se hizo en dos etapas, la primera etapa fue realizada en el mes de agosto de 2014 y la segunda parte en el mes diciembre de 2014 (tablas N° 5 y 6). Se contó con dicha campaña para poder georreferenciar las distintas imágenes conseguidas, y poder digitalizar la costa con una buena precisión, (figuras 45, 46 y 47).

Tabla N° 5: Campaña geodésica Necochea- Quequén, agosto 2014.

Levantamiento Agosto-2014				
Nº	Puntos	Ubicación	Latitud	Longitud
1	Proximidades Faro Quequén	Calle 541	-38,56750	-58,69167
2	506 y 541	intersección de calles	-38,57118	-58,68292
3	502 y 531	intersección de calles	-38,57364	-58,68988
4	502 y 533	intersección de calles	-38,57352	-58,68830
5	502 y Barragán	intersección de calles	-38,57355	-58,68909
6	playa 1		-38,57336	-58,68912
7	playa 2		-38,57439	-58,68886
8	playa 3		-38,57437	-58,68898
9	playa 4		-38,57447	-58,68932
10	playa 5		-38,57462	-58,68969
11	Iglesia esquina		-38,57390	-58,69254
12	hogar		-38,57374	-58,69200
13	502 y 523	intersección de calles	-38,57408	-58,69359
14	502 y 521	intersección de calles	-38,57411	-58,69513
15	510 y 517 1 edificio		-38,57243	-58,69695
16	510 y 517 2 edificio		-38,57232	-58,69714
17	Boulevard y 513	LM casa vieja	-38,57156	-58,70179
18	Boulevard y 524	LM Castillo?	-38,57141	-58,70271
19	Baliza escollera norte	centro	-38,58195	-58,69653
20	59 y 28	esquina norte	-38,56554	-58,72448
21	59 y 28	intersección de calles	-38,56576	-58,72456
22	59 y 26	intersección de calles	-38,56649	-58,72369
23	Planta generadora 1		-38,57784	-58,70963
24	Planta generadora esquina		-38,57745	-58,71134
25	2 y 87 asilo	esquina SE	-38,58008	-58,72112
26	3 y 87 asilo	esquina SO	-38,58090	-58,72336
27	4 y 87 asilo	esquina NO	-38,57991	-58,72402

28	2 y 87	intersección de calles	-38,58109	-58,72344
29	casilla en playa	esquina NE	-38,58291	-58,72243
30	pos altura máx. de marea		-38,58360	-58,72233
31	2 y edificio viejo		-38,57528	-58,70069
32	marea		-38,57971	-58,69668

Tabla Nº 6: Campaña geodésica Necochea- Quequén, diciembre 2014.

Levantamiento Diciembre-2014				
Nº	Puntos	Ubicación	Latitud	Longitud
33	Boulevard San Martín, 30 y 67	prolonga LM	-38,56796	-58,72962
34	10 y 61 (foto GPS)	prolonga LM	-38,57340	-58,71717
35	59 y 2	prolonga LM	-38,56788	-58,72148
36	59 y 36	prolonga LM	-38,62610	-58,72836
37	Av. 2 y 79	esquina	-38,58209	-58,72634
38	Av. 2 y 85	esquina	-38,58333	-58,73069
39	escarpa 1 (foto)	playa	-38,58551	-58,72781
40	escarpa 2	playa	-38,58544	-58,72779
41	Camping (foto)	cruce caminos	-38,58890	-58,74637
42	Ochava Oeste (foto)	esquina	-38,59158	-58,75076
43	escarpa 3 (foto)	playa	-38,59227	-58,75061
44	escarpa 4 (foto)	playa	-38,59326	-58,75312
45	escarpa 5 (foto hacia espigón)	playa	-38,59475	-58,75560
46	bajada playa	cruce caminos	-38,59133	-58,75054
47	Ruta a Juárez	eje camino tierra	-38,51469	-58,76699
48	Ruta 288 cruce camino tierra Norte	eje camino tierra	-38,53065	-58,86443
49	Ruta 288 cruce camino tierra Sur	eje camino tierra	-38,52949	-58,94377



Figura 45: Campaña geodésica. Punto tomado en la esquina del Boulevard Almirante Brown y calle 524. (Fuente: registro propio).



Figura 46: Campaña geodésica. Captura coordenadas de esquinas significativas para la georreferenciación de imágenes. Punto tomado en la esquina de (Fuente: registro propio).



Figura 47: Punto tomado en la esquina de la Iglesia Stella Maris Esquina de calles 502 y 525. (Fuente: registro propio).

Las observaciones de los puntos realizadas con el receptor GPS fueron procesadas posteriormente en el Instituto de Geodesia con el software *Precise Point Positioning* (PPP).

4.6. Ley N° 23.968- Espacios Marítimos

La ley N° 23.968 de Espacios Marítimos argentinos, sancionada el 14 de agosto de 1991 y promulgada el 10 de septiembre de ese año, fija que:

Art. 3.– El mar territorial argentino se extiende hasta una distancia de doce (12) millas marinas a partir de las líneas de base que se establecen en el art. 1 de la



presente ley. La Nación Argentina posee y ejerce soberanía plena sobre el mar territorial, así como sobre el espacio aéreo, el lecho y el subsuelo de dicho mar. En el mar territorial se reconoce a los buques de terceros Estados el derecho de paso inocente, siempre que el mismo se practique de conformidad con las normas del derecho internacional y a las leyes y reglamentos que la República Argentina dicte en su condición de Estado ribereño.

Se incorporaron como datos puntos consignados en la ley nacional N° 23.968 (parte del Anexo I) en la zona de nuestro trabajo (tabla N° 7). En dicha tabla se muestran las coordenadas de los puntos, la carta náutica en la que se encuentran, el tipo de línea (normal o recta) y si se encuentran en territorio continental o insular. Una línea normal se define como la línea de costa física entre los accidentes (Punta, restinga, etc) o punto específico (Extremo, punto al Sur de..) y una línea recta como la línea recta unida por dos puntos.

Tabla N° 7: Coordenadas de los puntos pertenecientes a las “Líneas de Base” de la República Argentina Ley N° 23.968, Mar Territorial Argentino.

5	PUNTA CANTERA	38°04'9	57°32'0	NORMAL	CONTINENTAL
6	PUNTA HERMENGO	38°17'2	57°50'1	-	CONTINENTAL
CARTA H210 2DA EDICION 1974 ESCALA 1:250000					
6	PUNTA HERMENGO	38°17'2	57°50'1	NORMAL	CONTINENTAL
7	RESTINGA AL E PUERTO QUEQUEN	38°34'2	58°41'5	RECTA	CONTINENTAL
8	EXTREMO ESCOLLERA SUR PUERTO QUEQUEN	38°35'2	58°41'5	NORMAL	CONTINENTAL
9	PUNTO AL S DE FARO CLAROMECO	38°51'7	60°03'1	-	CONTINENTAL
-	CARTA H211 2DA EDICION 1984 ESCALA 1:300000	-	-	-	-
9	PUNTO AL S DE FARO CLAROMECO	38°51'7	60°03'1	NORMAL	CONTINENTAL



CAPÍTULO 5

METODOLOGÍA

En principio la definición de la línea costera es esencial para la realización de este estudio y poder establecer las diferencias en la variación planimétrica, por lo tanto, es esencial definir el indicador de la costa. En este trabajo se adoptó como definición de línea costera “la escarpa de erosión” descrita por Boak y Turner (2005).

El material recopilado consistente en imágenes satelitales, vuelos antiguos y modernos, cartas topográficas y náuticas, restituciones de vuelos fotogramétricos y datos de campo, se encontraban en diferentes soportes y/o en diferentes sistemas de referencia y/o proyección cubriendo un lapso de 67 años.

Para trazar la línea de costa, fue necesario digitalizar todas las líneas de costa del material recopilado, para posteriormente unificarlas en un mismo marco de referencia y en una única proyección y detectar donde hubo o no, variación significativa en la planimetría.

También es importante resaltar que a raíz de esto como no hay compatibilidad entre la vieja y nueva era digital que actualmente se trabaja, se desarrollaron diferentes métodos de procesamiento para trabajar en un mismo idioma, estas serían: el escaneo de las cartas papel y restituciones fotogramétricas; la georreferenciación de dichos escaneos, la digitalización del contenido necesario del material seleccionado; transformación teniendo en cuenta los sistema de referencia horizontal (WGS 84) y calculó de acimuts.

Para la georreferenciación del material aplicado, se apoyó en los canevas de las cartas utilizadas y además también de los puntos tomados en la campaña de campo realizada por investigadores del INUN en el marco del proyecto B ESCM 1/13. La digitalización solo se enfocó en la detección y determinación de la línea de costa. Se plantearon dos alternativas (baja densificación y alta densificación) para la toma de de puntos, que se marcó la línea de costa para obtener una recta perpendicular a la costa y de allí marcar a 12 millas por los arcos de circunferencia la nueva línea de base.

Para la georreferenciación, digitalización, unificación de datos, muestra de comparación entre el método utilizado en este estudio y el método aplicado por el SHN para determinar la línea de base, se utilizaron los programas, Global Mapper, ERDAS, Geodsolve y QSIG siendo estos dos últimos de licencia libre, pero Global Mapper y ERDAS, fueron utilizados con la conformidad del Instituto Geográfico Nacional (IGN) que posee las licencias de dichos programas.

5.1. Escaneo

El escaneo es la operación que convierte una fuente de información del formato papel a un formato digital, como una imagen raster. Los formatos finales pueden ser .JPG. BMP. PNG, etc.

Debido a que no se encuentran a la venta en formato digital y a su gran tamaño (78 cm x 59 cm), las cartas topográficas, la carta náutica, y las restituciones, fueron escaneadas en un escáner, como el equipo Kyocera Mita KM - 4850W (figura 49), tecnología LED, memoria RAM de 512MB, con una resolución de 600 x 600 dpi en tonos de grises (<http://usa.kyoceradocumentsolutions.com/>).



Se obtuvieron seis archivos .TIFF dos de las cartas topográficas, uno de la carta náutica y tres de las imágenes de las restituciones de vuelos.

Figura 48: Escáner Kyocera Mita KM - 4850W.

5.2. Georreferenciación

La georreferenciación de las cartas, fotogramas, fotografías aéreas, convertidas a formato digital en el paso anterior de escaneo, tiene como primer objetivo, sobre las primeras, eliminar la deformación producida por el escaneo por no contar con un escáner preciso, y como segundo objetivo, incluyendo a las imágenes Google Earth, llevar todas las imágenes fuente a un mismo sistema de referencia y proyección.

En este trabajo de tesis se seleccionó como sistema de referencia el elipsoide WGS 84 por ser el que utiliza el receptor GPS y la proyección fue Gauss- Krüger, faja 6, por considerarla la más conveniente.

De cada uno de los datos fuente se verificaron el dátum horizontal y la proyección. 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.

Se utilizó para la georreferenciación el programa Global Mapper (cedido por IGN para la realización de esta tesis). El procedimiento de esta tarea se realizó de la siguiente forma:

- En el caso de las cartas topográficas (figura 49 y 50) se cargaron las mismas en su formato digital .TIFF, se tomaron cuatro puntos (que corresponden a los esquineros de las cartas). Teniendo en cuenta las coordenadas proyectadas en Gauss-Krüger en el dátum Campo Inchauspe 69, se convirtieron las coordenadas de dichos puntos al dátum elegido, se les asignó las coordenadas nuevas, se aplicaron las mismas y finalmente se exportó como archivo Geo Tiff.

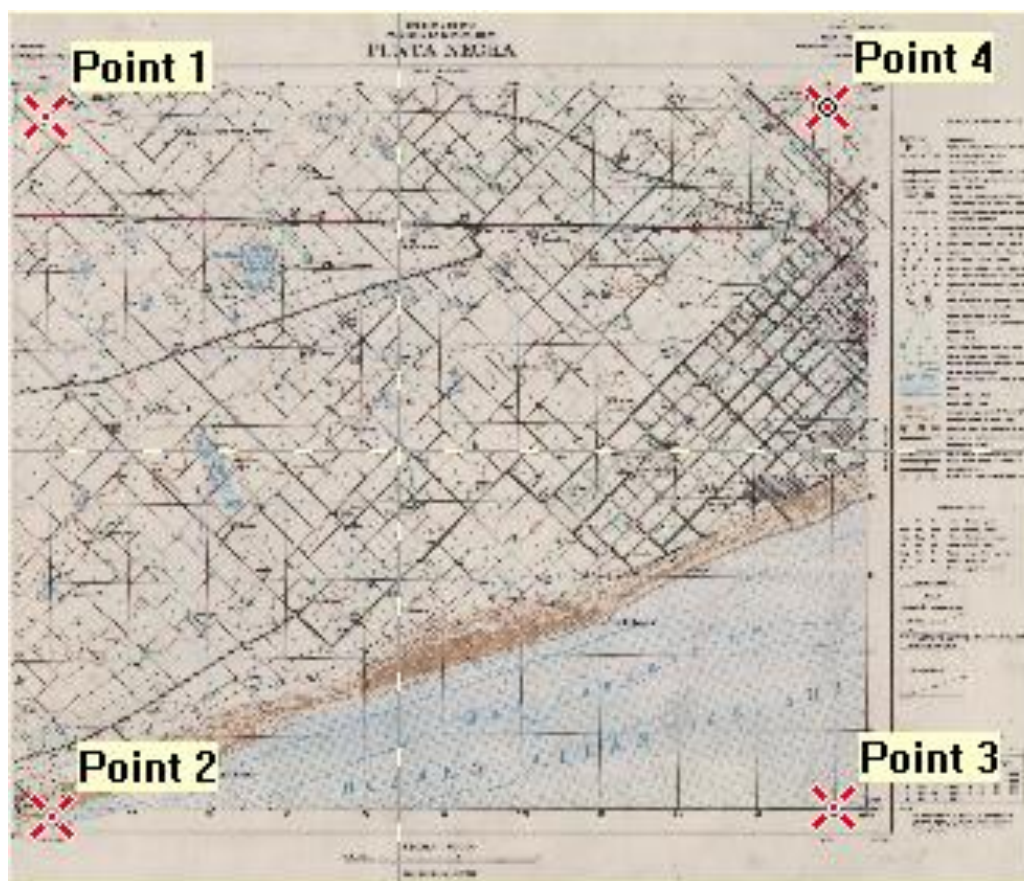


Figura 49: Georreferenciación de carta topográfica 3960-12-03.

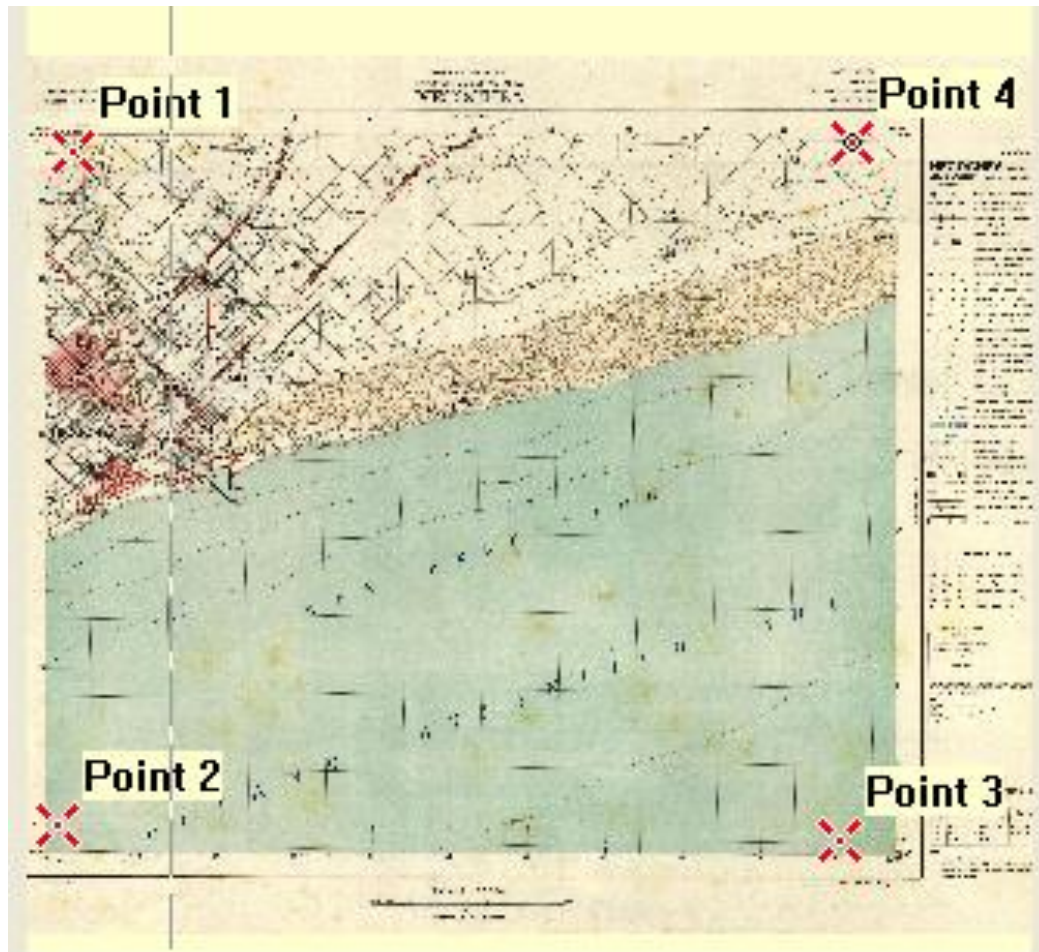


Figura 50: Georreferenciación de carta topográfica 3960-12-04.

- En el caso de la carta náutica (figura 51), la cual se encuentra en proyección Mercator en el sistema de referencia WGS 84. Para la georreferenciación se tomaron 4 puntos de la intersección del canevas, los cuales se encuentran distribuidos uniformemente en cada esquinero de la carta, se convirtieron a la proyección Gauss-Krüger a la faja 6, se les asignó las coordenadas nuevas, se aplicaron las mismas y finalmente se exportó como archivo Geo Tiff.

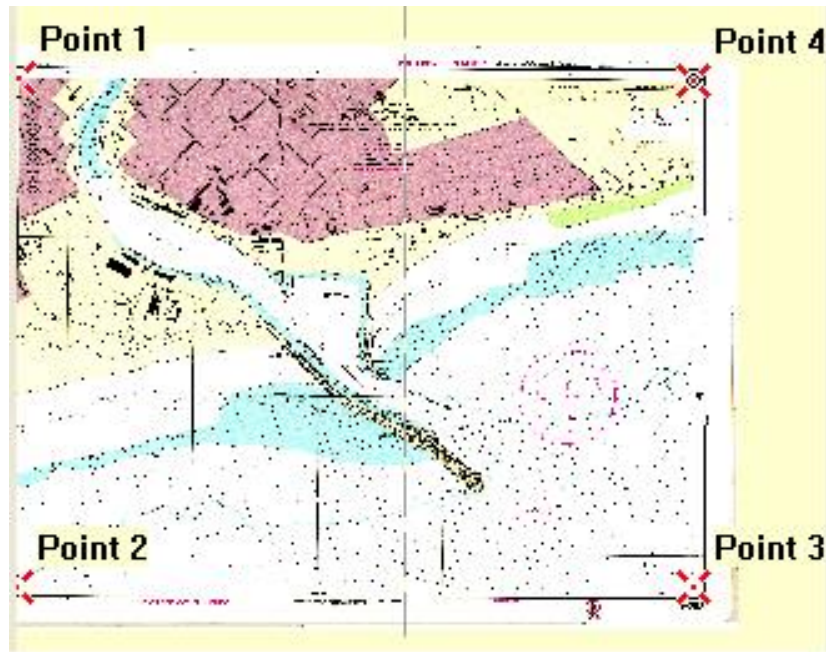


Figura 51: Georreferenciación de carta náutica H-253.

- Las restituciones de los vuelos, están en coordenadas planas Gauss-Krüger, faja 6, apoyadas en un sistema de referencia local (Campo Inchauspe 69), el cual en esa época les correspondía. Al igual que las imágenes anteriores, se tomaron 4 puntos de la intersección de los canevas, ubicados en cada uno de los esquineros de la imagen (figura 52, 53 y 54) y se procedió como se indicó anteriormente.

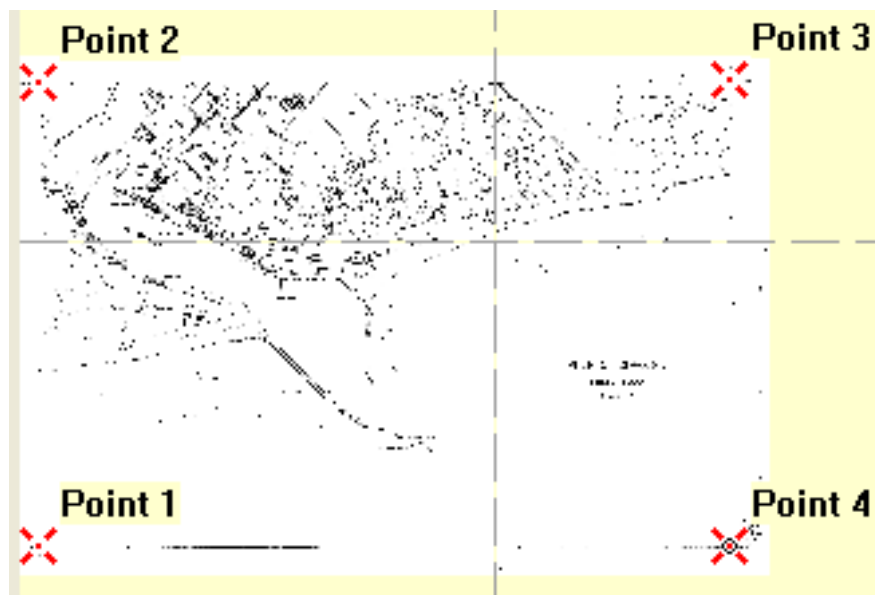


Figura 52: Georreferenciación de la restitución-110.

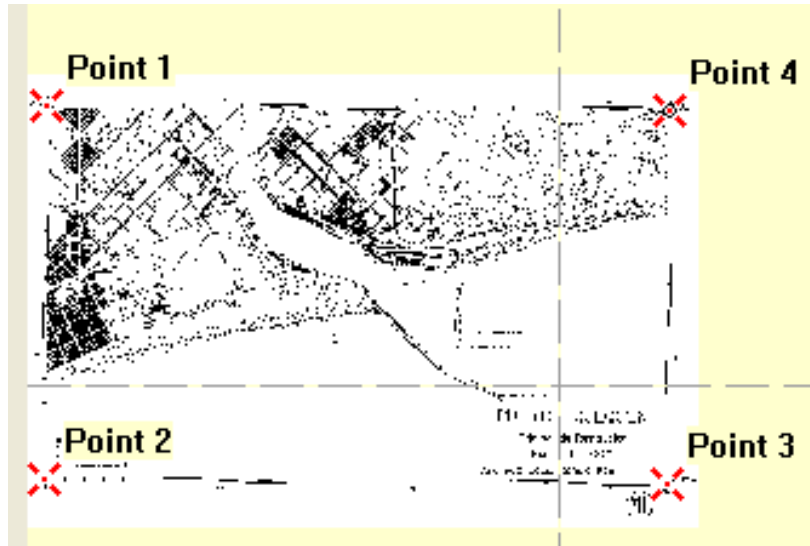


Figura 53: Georreferenciación de la restitución-111.

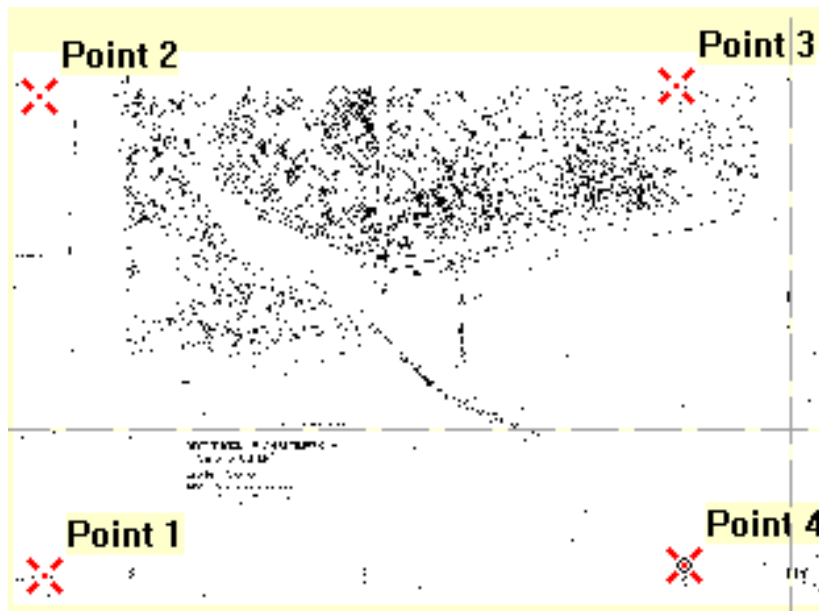


Figura 54: Georreferenciación de la restitución-111 A.

- Las fotos aéreas obtenidas de Marcomini, *et al.* (2007) (figuras 55 y 56), fueron georreferenciadas utilizando puntos de las campañas geodésicas, los cuales se obtuvieron en coordenadas geográficas, en el sistema WGS 84. Se identificaron tres puntos significativos en cada una distribuidos uniformemente, como cruces de ejes de calles o el extremo del espigón Norte (figura 56), asignándoles las coordenadas como se mostró en las tablas 5 y 6.



Figura 55: Georreferenciación de la fotografía aérea (A) por puntos de campo obtenidos en la campaña.



Figura 56: Georreferenciación de la fotografía aérea (B) por puntos de campo obtenidos en la campaña.

- En el caso de los fotogramas, al ser más engorrosa la visualización para ubicar los puntos de las campañas en los fotogramas y producto quedaba muy desfasada la georreferenciación, se recurrió a georreferenciarlos a través del programa ERDAS (cedido para su uso en las instalaciones del IGN), de imagen a imagen (figura 57), utilizando como base principal el mosaico de ortofotos. Quedando estos en proyección Gauss-Krüger, faja 6, sistema WGS 84.
- Al momento de realización de las campañas, no se pudo llegar a tomar puntos hasta el extremo Oeste de Necochea, para completar toda el área de estudio, por lo tanto, se aplicó la misma metodología, comentada en el punto anterior, para la georreferenciación de las imágenes del Google Earth. Se recurrió a este método descrito en la georreferenciación de los fotogramas, debido al mal estado de los caminos y a las inclemencias del tiempo. En este caso se utilizaron como base las imágenes SPOT 5, ya que son las imágenes que

abarcan el área total que se estudió. En este caso, quedaron georreferenciadas en el sistema de proyección UTM, zona -21 y luego se las llevó a Gauss-Krüger, faja 6.



Figura 57: Georreferenciación imagen a imagen, a través del programa ERDAS.

5.3. Elección del indicador de línea de costa

Una vez finalizada con la georreferenciación de todo el material compilado, el paso a seguir, fue elegir el indicador de línea de costa.

De una amplia lista de indicadores de la costa según Boak y Turner (2005) se seleccionó el indicador “*F*” que representa el borde de la costa que no es barrida por la marea o no es susceptible a erosión marina (figura 58); el indicador *F* puede ser asimilado a la línea de pleamar excepcionalmente alta y cuya variación de posición en el tiempo es el indicador que mejor representa la erosión y/o acreción de costa.

La metodología empleada en la detección de la línea de costa, consistió en identificar el indicador de la costa y reconocer el mismo en todas las imágenes. De esta manera se realizó una fotointerpretación cualitativa de todas las imágenes adquiridas en diferentes épocas para identificar el indicador de la línea de costa como se mencionó anteriormente.

Una vez digitalizadas todas las costas, se llevaron a un único proyecto común Global Mapper, en el que se tomó como referencia el mosaico de ortofotos. Se decidió por este, por ser el más actual, contar con la última tecnología, ser más preciso y exacto en su generación.

La interpretación y posterior digitalización de costa, fue realizado a una escala de 1:5.000.

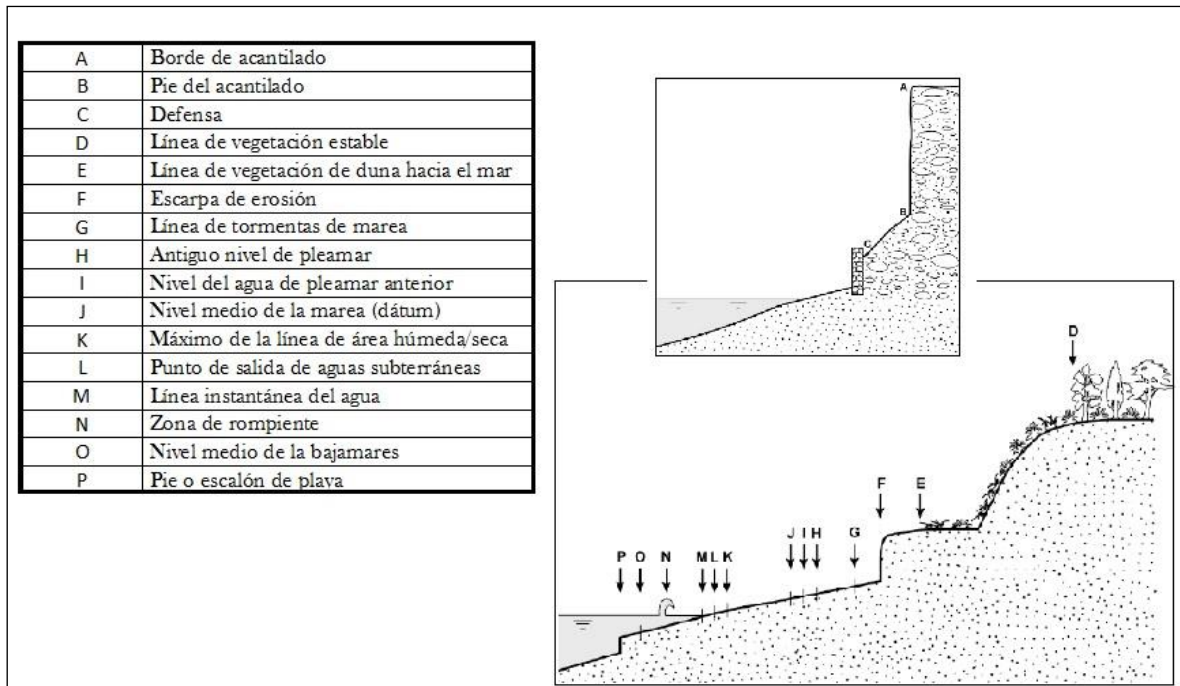


Figura 58: Indicadores de costa según Boak y Turner (2005)

5.4. Digitalización

Una vez que todas las fuentes se encontraron georreferenciadas, se las fue volcando en el programa QSIG para la digitalización vectorial de la línea de costa de cada una de las fuentes.

De cada fuente obtenida, se realizó la digitalización de la línea de costa (podemos ver algunos ejemplos figuras 59, 60 y 61), realizando una interpretación en el caso de las imágenes, en la mejor escala posible para digitalizar con mayor detalle. Dicha tarea se hizo según lo expresado en punto anterior, tomando como criterio el indicador F.

Se superpusieron las digitalizaciones en un mismo proyecto unificando en el sistema de referencia, es decir, aquellas líneas de costa referenciadas a partir de las imágenes SPOT 5, (en UTM 21S) se llevaron a Gauss-Krüger, faja 6, con el propósito de determinar si hubo variaciones a través del tiempo en la planimetría de la costa en forma significativa, es decir, mayor a 10 m (figura 62).

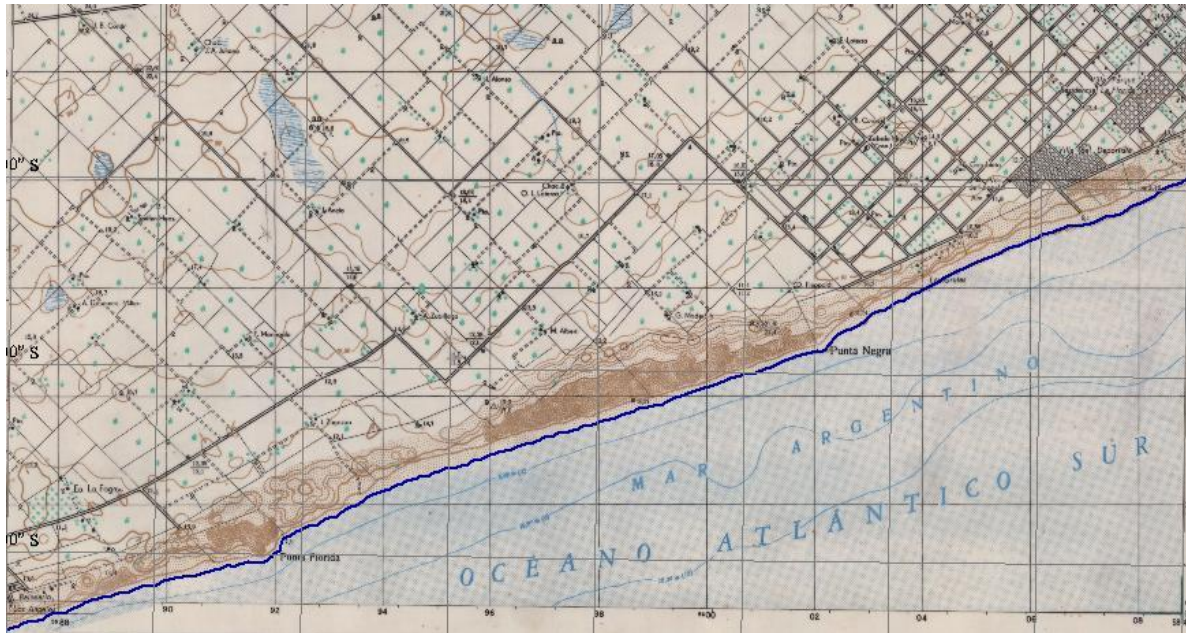


Figura 59: Línea de costa de la carta topográfica 3960-12-03 en color azul.

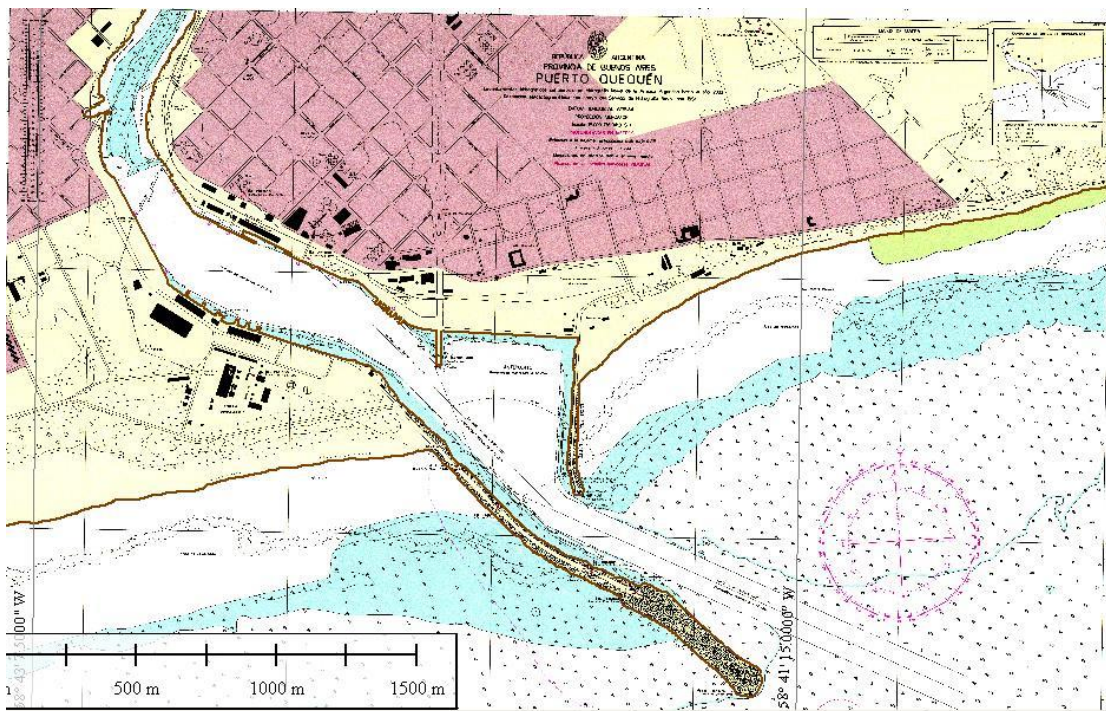


Figura 60: Línea de costa de la carta náutica H-253 en color cepia.



Figura 61: Línea de costa del mosaico de ortofotos 2015 en color naranja.

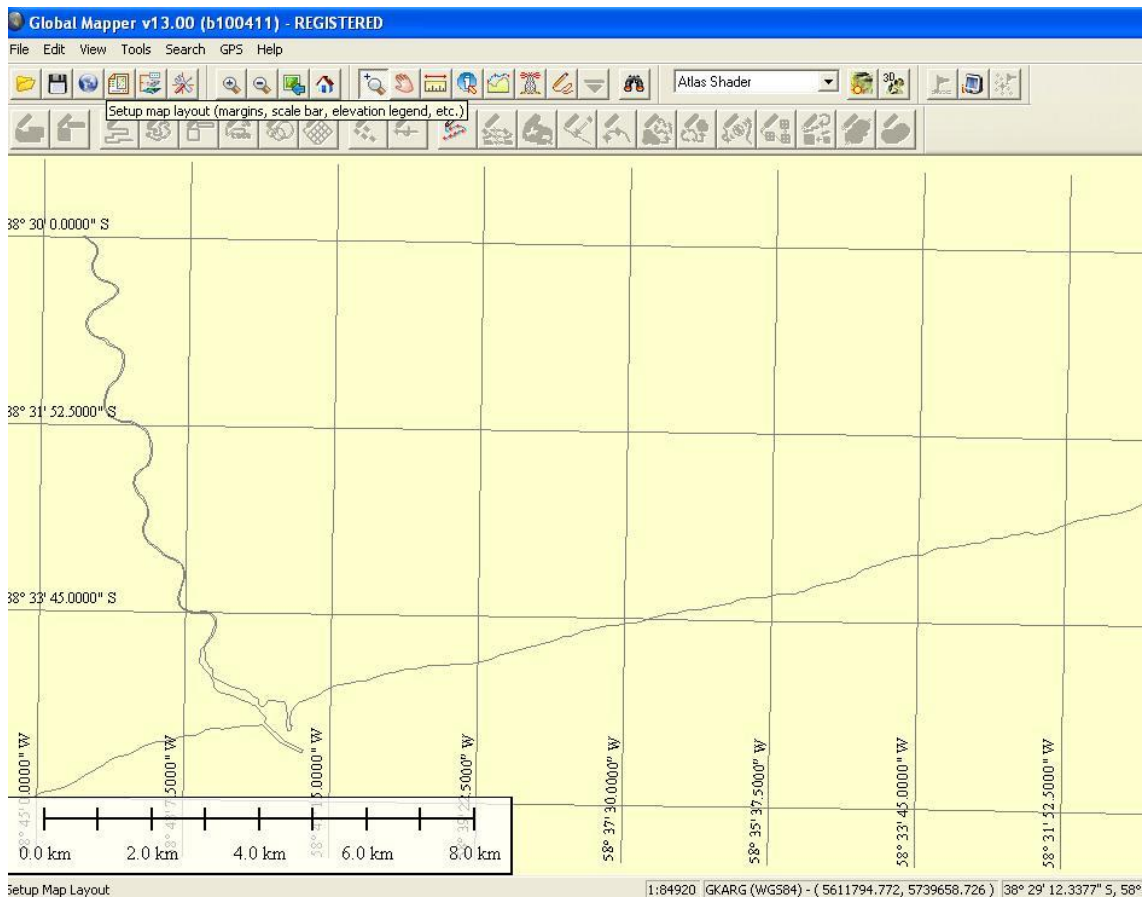


Figura 62: Línea de costa digitalizada en el programa para su comparación con otras.

5.5. Superposición de datos

Terminado los pasos de georreferenciación y la digitalización de la línea de costa, de cada una de las fuentes adquiridas en un mismo sistema de referencia horizontal y la proyección elegida, el paso siguiente fue **volcar** todas las líneas de costa obtenidas (figura 63) en un mismo proyecto de trabajo. Así se pudieron visualizar las áreas encerradas entre dichas líneas de costa y los cruces entre ellas o intersecciones de las mismas.

Posteriormente, al detectar que la variación fue mínima o casi insignificante, en el lapso de tiempo considerado en este estudio, y marcar con puntos la línea de la costa que consideramos la Línea de Base, se marcaron puntos a 12 M desde la costa hacia el mar. Que es el resultado final a obtener, ya que es el fundamento principal en que se basa esta tesis.

Estas áreas seleccionadas fueron identificadas por puntos indicadores. A partir de allí, la idea es marcar a 12 M perpendiculares a la costa hacia el mar, estos mismos puntos, también representados a través puntos. Una vez que se volcaron todos a la distancia mencionada, la idea que se tomo fue unir estos nuevos puntos por medio de una línea, y obteniéndose de esta manera como resultado final “la Línea de Base”, la cual se encuentra paralela a la costa.



Figura 63: Vista de todas líneas de costas digitalizadas y líneas de base, ya transformadas al mismo sistema referencia horizontal y proyección.



5.6. Detección de los cambios de la línea costera

Una vez superpuestas todas las costas digitalizadas, también aquí debió realizarse una fotointerpretación cualitativa, para discernir si hubo gran variación significativa entre las costas de los diferentes años, de las cuales se pudo observar que el cambio fue poco y en partes, dirimamos que el cambio fue casi nulo, por la cantidad de años que transcurrieron, sobre todo en las áreas que el hombre no llego a influir.

Esta tarea se llevó a cabo con el programa QSIG. Teniendo toda la información en el mismo sistema de referencia, y en la misma proyección, unificando todos los archivos.

A partir de la fotointerpretación se identificaron las zonas de la costa más sobresaliente hacia el mar, (para ganar mar), donde hubo casi mínima variación de costa (en las figuras 64 y 65, se puede visualizar lo dicho anteriormente). Cabe mencionar que para dicho análisis de visualización, se descartaron las costas digitalizadas, de las imágenes pertenecientes (Marcomini, *et al.*, 2007; Marcomini y López, 1997) y a las de las cartas topográficas, estas últimas debido a la escala en que están, hacen que el desfase sea notorio y no muy coherente con el resto, y en el caso de (Marcomini, *et al.*, 2007), si bien contaron con un buen apoyo de georreferenciación, la imagen a la escala seleccionada no resulto del todo nítida e influyendo también en el desfase con el resto, y como se contaba con una buena cantidad y calidad de información que cubriera todo el lapso del tiempo seleccionado, no influyo no contar con las mismas.

Por último, una vez que se realiza la unificación de las fuentes y la ubicación de las zonas e identificación de las mismas a través de los puntos, se obtiene una base de fuentes más ordenadas y la información necesaria para poder realizar La Línea de Base.

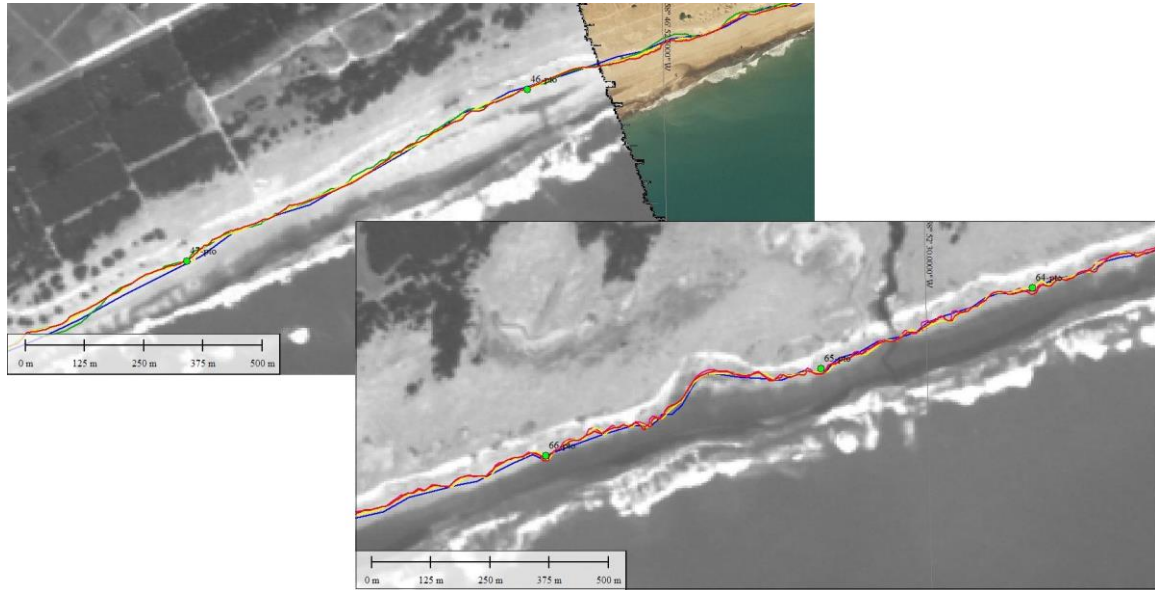


Figura 64: Muestra 1 de la superposición de costas y cuya variación es mínima.



Figura 65: Muestra 2 de la superposición de costas y cuya variación es mínima.



5.7. Metodología para la elección de puntos pertenecientes a las Líneas de Base

Se muestran dos alternativas para la densificación de puntos en las líneas normales, y se presentan sus ventajas y desventajas. Una alternativa es elegir puntos muy espaciados (baja densificación) entre sí y la otra es elegir puntos separados aproximadamente 600 m (alta densificación).

5.7.1. Elección de puntos con baja densificación

Debido a la gran extensión del litoral marítimo de la República Argentina la metodología antes descrita puede extenderse a toda la provincia de Buenos Aires o bien a toda la República Argentina. El inconveniente mayor se plantearía

A continuación se describirán los pasos realizados:

1. Se eligieron 4 puntos pertenecientes a la línea de costa separados entre 15.000 a 25.000 km aproximadamente, ubicados en Punta Negra, Los Ángeles, Casco Rosario y el extremo oeste de Necochea.
2. En el programa QSIG, se creó una capa en la que se llevaron los puntos seleccionados y otra capa en la que se llevó la digitalización de la línea de costa seleccionada en el título anterior.
3. Con la herramienta área de influencia (BUFFER) de este programa se creó un área de influencia con un radio de 12 M náuticas, con centro en cada uno de los puntos mencionados.
4. Al trazar estas áreas de influencia se producen intersecciones entre las mismas, generando una única línea envolvente.
5. Finalmente, se digitalizó dicha envolvente de los arcos de 12 M generados por estas zonas de influencia, para compararla posteriormente.

5.7.2. Elección de los puntos de alta densificación

En este método se tomaron los siguientes criterios:

1. Se eligieron alrededor de 120 puntos pertenecientes a la línea de costa separados entre sí unos 600 metros aproximadamente, como ya se explicó anteriormente, para la ubicación de los mismos se evaluó la costa y se los



colocó en salientes o promontorios y además donde la variación de costa era insignificante.

2. En el ambiente digital del QSIG (al igual que en el metodología anterior) se creó una capa en la que se llevaron los puntos seleccionados y otra capa en la que se llevó la digitalización de la línea de costa seleccionada en el título anterior.
3. Con la herramienta área de influencia (BUFFER) de este programa se creó un área de influencia con un radio de 12 M náuticas, con centro en cada uno de los puntos mencionados.
4. Al trazar estas áreas de influencia se producen intersecciones entre las mismas, generando una única línea envolvente.
5. Finalmente, se digitalizó dicha envolvente de los arcos de 12 M generados por estas zonas de influencia quedando de esta manera formalizada la línea de base de alta densificación para compararla posteriormente, esta tarea se llevó a cabo mediante el software QSIG.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS

6.1. Resultado de la baja densificación

Se puede observar los puntos obtenidos a 12 M (figura 66 a y b), obtenidos a través de la intersección de las áreas de influencias (Tabla IV), como se explicó en pasos anteriores y además se puede observar en la imagen la línea en rojo, la digitalización de la línea de base de baja densificación paralela la costa.

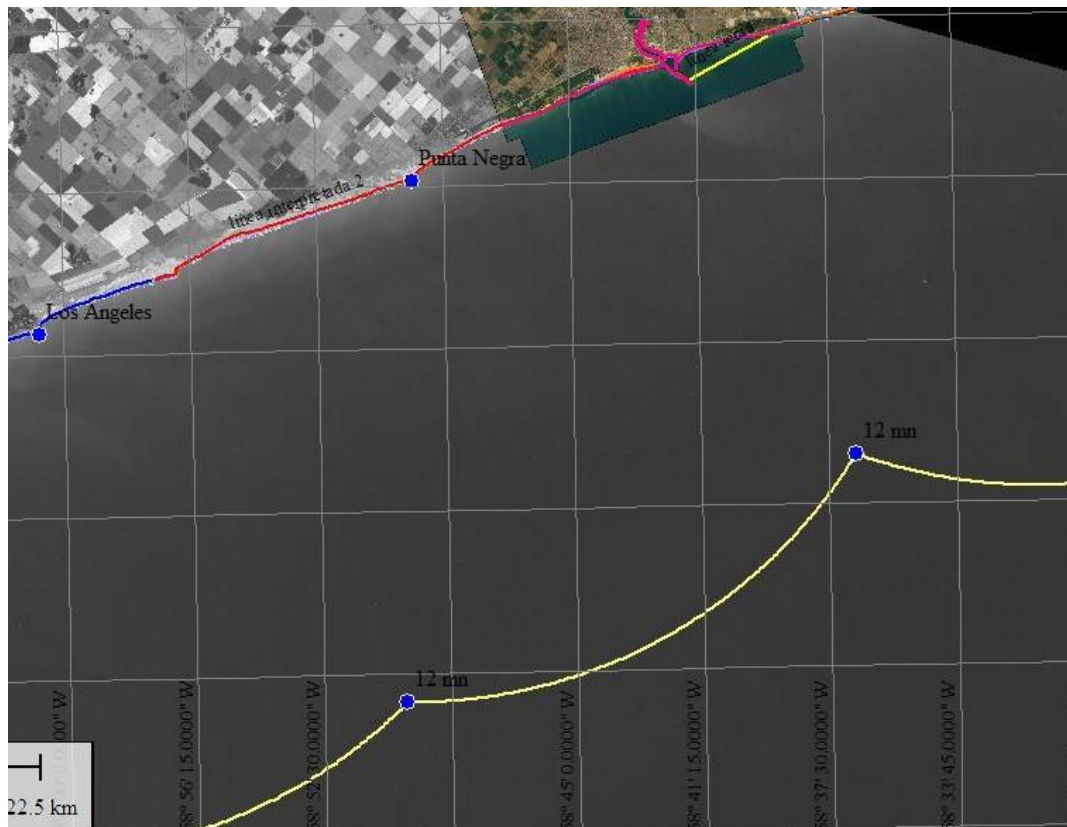


Figura 66-a: Imagen del soft. Resultados de la baja densificación de puntos.

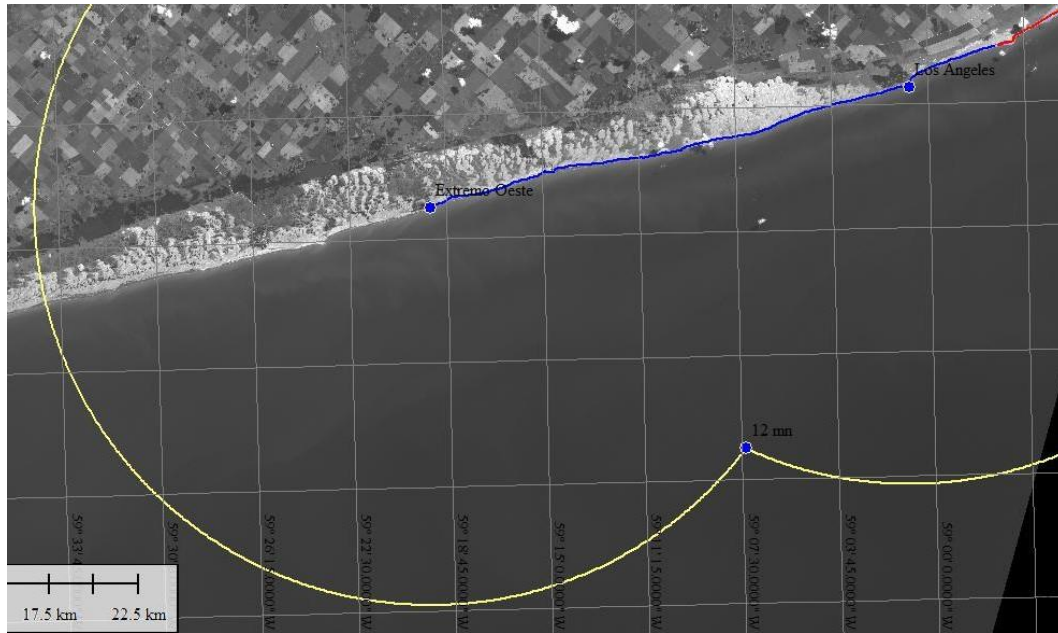


Figura 66-b: Imagen del soft. Resultados de la baja densificación de puntos.

Tabla N° 8: Coordenadas de los puntos base de la costa y las coordenadas obtenidas a 12 M.

Puntos sobre la costa	X	Y	Puntos a 12 M	X	Y
Extremo Oeste	6298051,52	5710382,40	12 M-1	6315742,59	5696931,30
Los Ángeles	6324939,63	5717162,97	12 M-2	6340672,49	5701466,37
NW Casco Rosario	6367426,90	5732975,04	12 M-3	6359824,56	5712091,78
Punta Negra	6340866,74	5723689,52			

6.2. Resultado de alta densificación

Aquí también se puede observar los puntos obtenidos a 12 M (figura 67 a y b), obtenidos a través de la intersección de las áreas de influencias, como se explicó en pasos anteriores y además se puede observar en la imagen la línea en rojo, la digitalización de la línea de base de baja densificación paralela la costa.

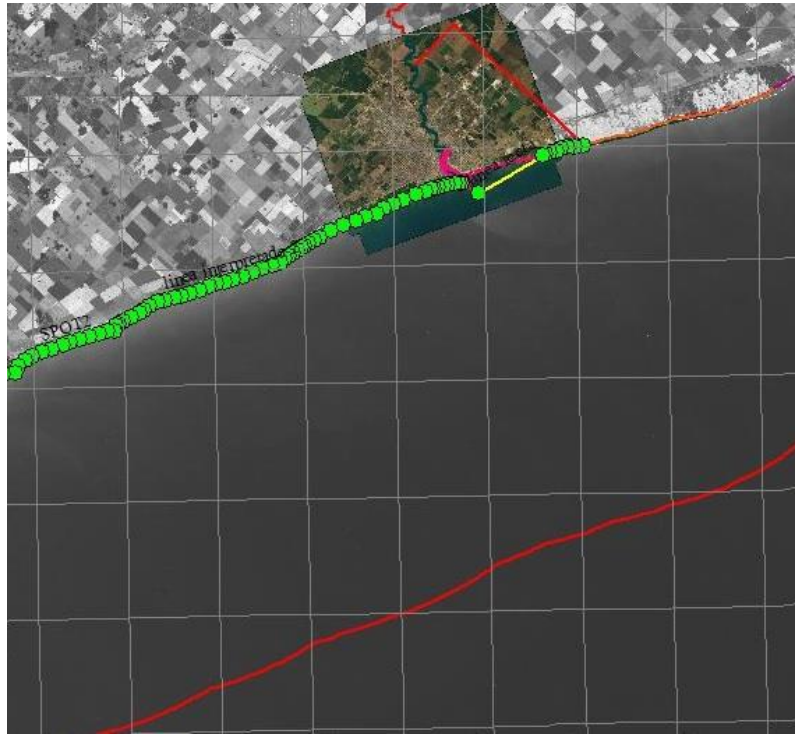


Figura 67-a: Imagen del soft. Resultados de la alta densificación de puntos.

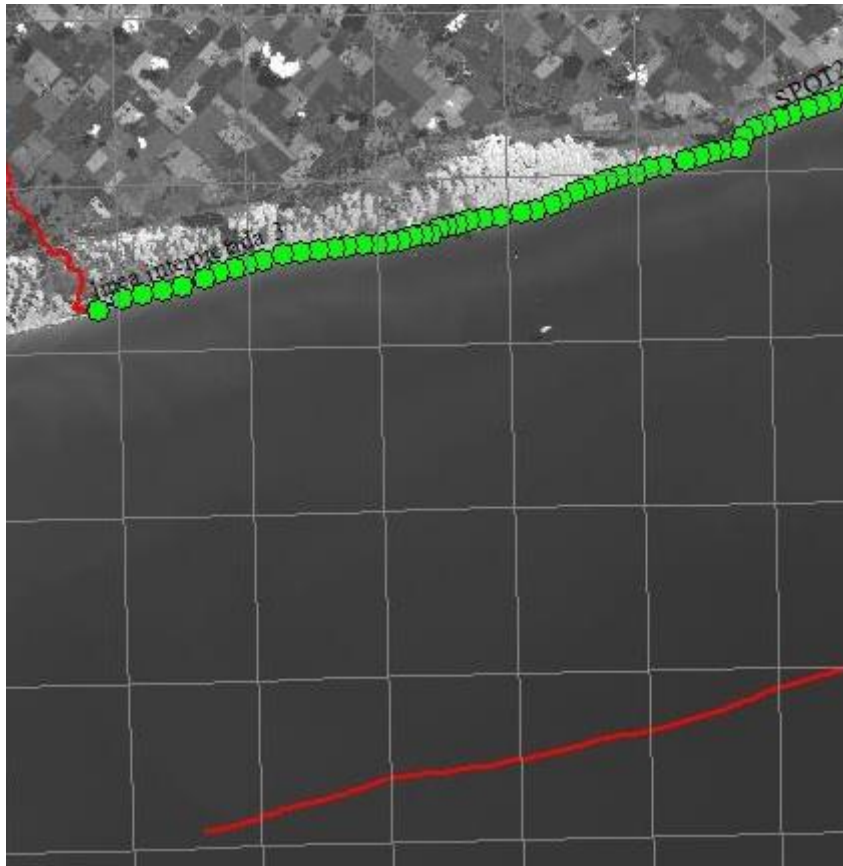


Figura 67-b: Imagen del soft. Unificación de puntos, línea de base alta densificación.



6.3. Análisis comparativo

Aquí se realizó un análisis comparativo entre de las superficies encerradas por las líneas de 12 M generadas por las metodologías de baja y alta densificación como se puede observar en la figura 68.

Se volcó las dos líneas obtenidas por los diferentes métodos y de allí poder diferenciar y calcular el área que se gana por el empleo de la alta densificación en km^2 .

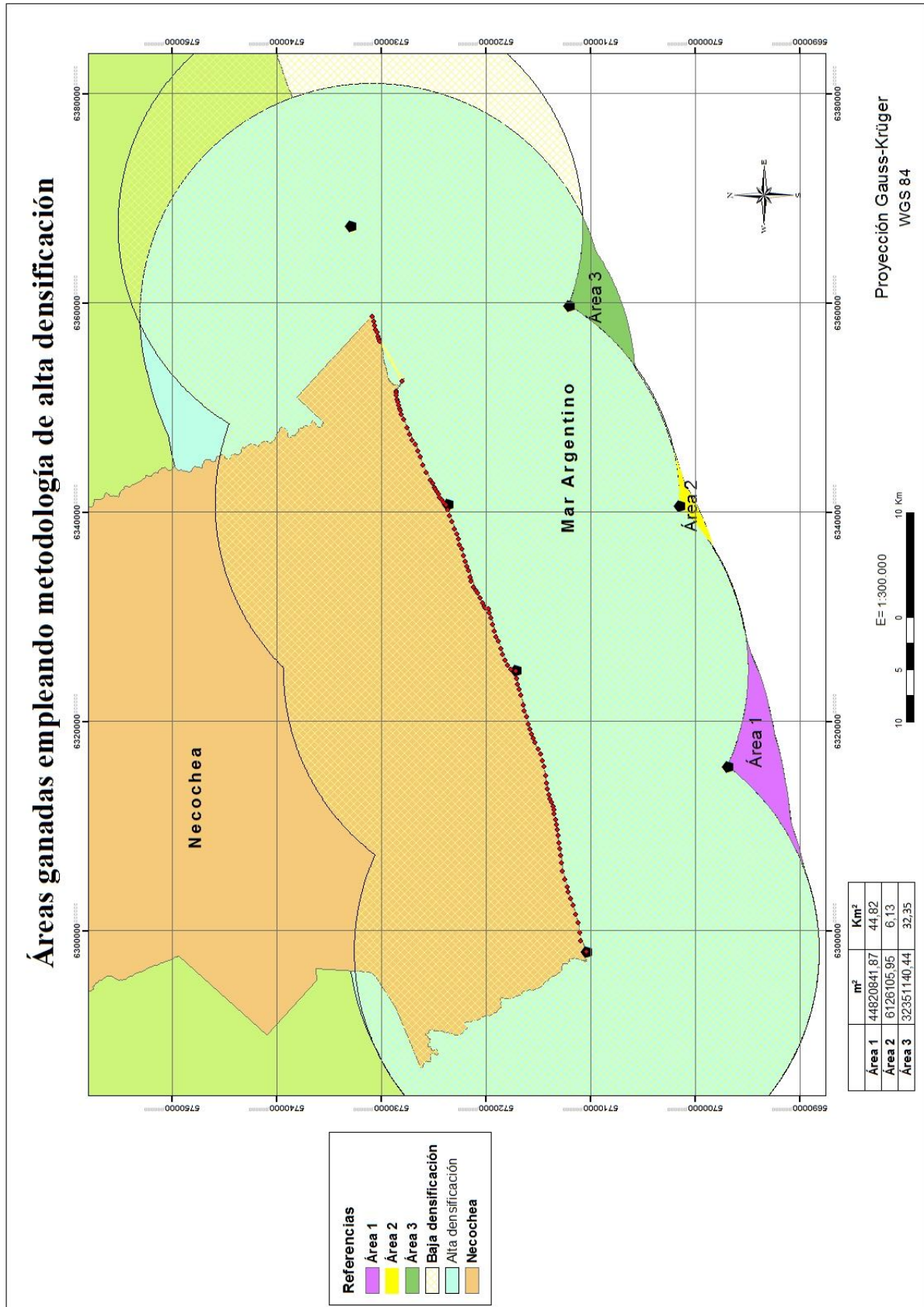


Figura 68: Mapa del área ganada, empleando la metodología de alta densificación.



CAPÍTULO 7

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este capítulo de discusión y conclusiones, se puede decir que la fiabilidad de los resultados obtenido 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, en la elección del indicador de costa, en la metodología empleada en la georreferenciación, en la digitalización de las líneas de costa y en el tipo de densificación.

Entre los primeros hay que destacar la variedad de datos fuente como mosaico, imágenes satelitales, fotogramas, cartas náuticas, y restituciones fotogramétricas y gran cobertura de la zona aproximadamente 1437 km². Esta variedad también influyó en la elección de la escala de trabajo. Por lo cual la escala escogida fue la mejor con los datos recopilados.

En lo referido al indicador de costa, este satisfacía la necesidad de encontrarse en la mayoría de los datos fuente y debía ser interpretado en otros, por lo tanto, fue la mejor elección.

Se utilizaron dos metodologías diferentes para la georreferenciación, ambas con la precisión suficiente, resultando enriquecedor dicha combinación.

En lo referido a la digitalización se destaca el cuidado en la digitalización manual de las líneas de costa, donde el indicador de costa no fue sencillo de identificar

En conclusión se puede destacar principalmente, que la superposición en un mismo ambiente digital de las líneas de costa de distintas épocas en forma general (1947 – 2015), se observó muy poco cambio, lo que implica que a través de este lapso de tiempo, la línea costera, ha resultado estable en su posición planimétrica y que la inestabilidad de la línea costera planteada en estudios geológicos debe considerarse en lapsos de tiempo mayores.

Y como conclusión de manera más específica por los resultados obtenidos, después de todo el estudio realizado, se ganó más superficie aplicando la metodología de alta densificación que la de baja o escasa densificación.



Los errores en la planimetría están relacionados con la escala de las fuentes, el escaneo, y la digitalización.

Resulta entonces un producto de gran utilidad y su publicación es un gran aporte a la comunidad y a la sociedad en general por su valor estratégico, ya que la utilización del método de alta densificación mejora sustancialmente la traza del Mar Territorial.

Este modelo digital de traza del Mar Territorial se encuentra disponible en formato digital y en papel en la ESCM, brindando certeza y precisión en la custodia de nuestro mar.

Está a entera disposición del Servicio de Hidrografía Naval y Prefectura Argentina, instituciones a cargo de la custodia de nuestro mar.



Bibliografía

- Arecco, M.A., Ayala A., Medina A., Allignani M.A., Trigo S., Palleja E, Pradelli A. Detección de cambios en la línea de costa en Mar del Plata a partir de imágenes multi-temporales de sensores remotos e imágenes aéreas. 2013. II Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica y II Jornadas de Sistemas de Información Geográfica, actas en CD, 8p.
- Bertola, G. R., Farenga, M., Cortizo, L., & Isla, F. I. (1999). Dinámica morfológica de las playas de Villa Gesell (1994-1996), Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 54(1), 23-35.
- Bird E.C.F. 1985. *Coastline changes: A global review*. Ed. Wiley. Págs. 219.
- Boak E. H. and Turner I. L. 2005. *Shoreline Definition and Detection: A Review*. *Journal of Coastal Research*, N° 21, Vol 4, 688–703.
- Casal, G., Sánchez-Carnero, N. y Freire, J. 2010. Generación de una línea de costa digital de Galicia (NW España) a gran escala, utilizando fotointerpretación y segmentación dinámica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* N° 53-2010, págs. 7-19.
- Campetella C. M., D'Onofrio E. E., Cerne B. S., Fiore M. E. and Possia N. E., 2006. Negative storm surges in the port of Buenos Aires city. *International Journal of Climatology* Vol. 27, ISSUE 8, 1091-1101.
- Cátedra de Fotogrametría, Planificación de vuelo, 2008. Apuntes de clase, CEFOCCA-UNSJ, (Centro de Fotogrametría, Cartografía y Catastro de la Facultad de Ingeniería de la UBA, Universidad Nacional de San Juan).
- Celsi, C. y Monserrat, A.L. 2005. Sector costero entre Pehuén-Co y Monte Hermoso. Informe interno FHNFA. Proyecto costas bonaerenses Fundación de Historia Natural Félix de Azara: 23.
- Cheb, L.C. and Rau, J.Y., 1997. Detection of shoreline changes for tildeland areas using multi-temporal satellite images. *nt. j. remote sensing*, 1998, vol. 19, no. 17, 3383-3397.
- Cheli, A. E. *Introducción a la Fotogrametría y su evolución*. (1ra.ed.). 259 p. La Plata: Hespérides, 2011.



- Codignotto J. O., 1987, Glosario Geomorfológico Marino, Asociación Geológica, Bs.As, Argentina.
- Días, R. 2008. Apuntes de Geodesia II, Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Buenos Aires, 28 pág.
- D'Onofrio, E., 2011. Apuntes de Hidrografía I, ESCM.
- D'Onofrio, E., Fiore, M. and Pousa, J. L., 2008. Changes in the regime of storm surges at Buenos Aires, Argentina. *Journal of Coastal Research*, (24) 260-265.
- Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Cátedra de levantamiento y carteo geológico I, 2004. *Proyecciones Cartográficas*
- Ferrario, S. 2000. *El ABC del GPS*. (1ra.ed). Rep. Argentina: Edición del Consejo Profesional de Agrimensura de la Pcia. De Buenos Aires.
- Ferreira María Rosana, 2010. *Apuntes de Fotogrametría I*. Escuela de Ciencias del Mar. Instituto Universitario Naval.
- Fiore M.M.E., D'Onofrio E.E., Pousa J.L., Schnack E. J. and Bértola G. R., 2009. Storm surges and coastal impacts at Mar del Plata, Argentina. *Continental Shelf Research*. V.29, N°14, 1643-1649.
- Gauss, C.F., 1828. *Bestimmung des Breitenunterschiedes zwischen den Sternwarten von Göttingen und Altona*. VandenhoeckundRuprecht, Göttingen.
- 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*.
- Isla, F. I, Cortizo, L. C., Turno Orellano, H. A., 2001. *Dinámica y evolución de las barreras medanosas, Provincia de Buenos Aires, Argentina*. *Revista Brasileira de Geomorfología*, 2 11 (1), 73-83.
- Kokot, R. 1999. *Cambio climático y evolución costera en Argentina*. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, (inérita), 329 p., Buenos Aires.
- Lim, H.S., MatJafri, M. Z., Abdullah K., Mohd Saleh, N. and Surbakt,i M. S. *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology*



- VIII, edited by Ulrich Michel, Daniel L. Civco, Manfred Ehlers, Hermann J. Kaufmann, Proc. of SPIE Vol. 7110, 71100 C-1.
- Lanfredi, N.W., Pousa, J.L., Mazio, C.A. y Dragani, W.C. 1992. Wave-power potential along the coast of the province Buenos Aires, Argentina. *Energy* 17(11): 997-1006.
 - Yan, L., Wan, J., Sum, Y., Fan, S., Yan, Y., Che, R. 2016. A Novel Absolute Orientation Method Using Local Similarities Representation. *Int. J. Geo-Inf.* 2016, 5(8), 135.
 - Marcomini, S.C. y López, R.A., 1997. Beach profile vulnerability. *Proceedings of the Coastal Environmental management and conservation. BORDOMER 97*, 2, 220-231.
 - Marcomini, S.C. y López, R.A., 1999. Alteración de la dinámica costera por el efecto de la explotación de arena de playa provincia de Buenos Aires y sus consecuencias ambientales. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, Vol 6, N° 1-2, 1-18.
 - Marcomini, S.C. y López, R.A., 2007. "Erosión y manejo costero de Villa Gesell" (2008) Buenos Aires: Unión por Gesell. <http://digital.bl.fcen.uba.ar/>.
 - Marcomini, S.C., López, R.A y Spinoglio A., 2007. Uso de la morfología costera como geoindicador de susceptibilidad a la erosión en costas cohesivas, Necochea, Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 62 (3) 396-404.
 - Marchionni, D. y Cavayas, F., 2010. Utilización de imágenes radar (ERS y RADARSAT) para la discriminación litológica y la cartografía estructural del sector central del macizo del deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66 (4): 576 - 591 (2010).
 - Matko, Claudio, Tesina "Comparación de modelos digitales de elevación del terreno con cartografía de una zona de alta montaña", 2012.
 - Minotti Priscilla, Universidad CAECE, TEA 2004. Concepto de Geodesia.
 - Monserrat, A. L., 2010. Evaluación del estado de conservación de dunas costeras: dos escalas de análisis de la costa pampeana. Tesis Doctoral Inédita, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 219.



- Orellana Ramírez, R. 2006. Apuntes de fotogrametría,
- 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.
- Puig, C., Martínez - Benjamín, J.J., Lantada, N., Gili, J.A., 2001. Aplicación de imágenes RADARSAT a la zona de la marisma de Doñana. Teledetección. Medio Ambiente y Cambio Global (2001) 347-351.
- Raisz, E., (1985). Cartografía General. (7a. ed.). Barcelona: Omega S.A..
- Romine, B.M.; Fletcher C.H.; Frazer, L.N.; Genz, A.S.; Barbee, M.M., and Lim, S.-C.; 2009. Historical shoreline change, southeast Oahu, Hawaii; applying polynomial models to calculate shoreline change rates. Journal of Coastal Research, 25(6), 1236–1253. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.
- Servicio de Hidrografía Naval 2000. Derrotero Argentino, Parte II: Costa del Atlántico. Desde Cabo San Antonio a Cabo Vírgenes y Punta Dúngeness, 45-62.
- Tarig A. Ali, 2010. Analysis of Shoreline-Changes Based on the Geometric Representation of the Shorelines in the GIS Database. Journal of Geography and Geospatial Information Science, vol 1 Issue 1, 1-16.
-

Páginas web

- www.ciudadnecochea.com/Parque Miguel Lillo.htm
- www.conae.gob.ar
- <ftp://ftp.unsj.edu.ar/agrimensura/Fotogrametria>
- <https://es.scribd.com/doc/89139540/Coordenadas-Gauss-Kruger>
- http://oceanografia-gral-fis.at.fcen.uba.ar/TP4-Biol&Geol/Mareas_2010.pdf



- <http://www.hidro.gov.ar/noticias/ENCs.ASP>
- <http://www.ign.gob.ar/>
- <http://www.necocheanet.com.ar/la-ciudad/datos-geograficos>
- http://www.nuestromar.org/servicios/puertos/puertos_maritimos/pto_quequen
- <http://www.ign.gob.ar/AreaServicios/Escaner>
- <http://www.pol.ac.uk/psmsl/longrecords/longrecords.html>
- http://www.scanterra.com.ar/conozca_mas.html#sensores
- www.shoa.cl (Servicio Hidrográfico y Oceánico de la Armada de Chile).
- <http://www.shoa.cl/index.htm>
- http://www0.unsl.edu.ar/~geo/materias/Elementos_de_Geologia/documentos/contenidos/apoyo_teorico/APU-2011-Mapa-Topografico.pdf