

**ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO UNIVERSITARIO NAVAL**

TESINA DE LICENCIATURA EN CARTOGRAFÍA:



**PROCESAMIENTO DIGITAL
DE IMÁGENES SATELITALES
PARA LA CARTOGRAFÍA
NÁUTICA FLUVIAL
ARGENTINA**

ALUMNO: FEDERICO BAVA

DIRECTOR: CARLOS PIÑERO

JUNIO 2003

Agradecimientos

Al Servicio de Hidrografía Naval, a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales.

Por el apoyo y consejos profesionales a: CC Ing. Lapenta J.; Ing. Mayer F.; Dr. Dragani W.; Fotog. Zanetta C.; Cart. Zorzoli E.; Cart. Domínguez A.; Top. Vega A.; Cart. Cernadas J.; Codecido H.; SS Medina A.; CS Mendoza D.; Lic. Perez Serrano; Lic. Colombara M.; Ing. Marino, Cart. Cortes; Vasquez A.; San Sebastián S.; Pedredo M.; Graciano M.; Cuchetti G. Cart. Bouzas S. ; Cart. Juárez I.; Cart. Canteros G.; Lic. Morandi C.; Sra. Moro M.; Prof. Mújica A.; Lic. Guerrieri; Agr. Piñero C.; Cart. Del pino A.; Pixton M; Bava E; Adradaz Z.; Ing. Fiorentino R.; Ing. MSc Somma D.; Ing. Burkart R.; Lic. Gervasio E.

Por su colaboración en el trabajo: **MSc. Haydée Karzenbaum; Ing. Juan Boruz; CC Ing. Joaquín A. Fernández.**

Índice

1 Introducción

2 Cartografía Náutica Fluvial Argentina

3 Antecedentes y Objetivos

4 Área de Aplicación

5 Métodos

5.1 Teledetección

5.2 Tratamiento Digital de Imágenes

5.3 Selección de un Sensor

6 Soportes Necesarios

6.1 Equipamiento

6.2 Factor Humano

7 Procesamiento de Imágenes

7.1 Correcciones Geométricas

7.2 Tratamientos Radiométricos

7.3 Cálculo de radiancia en la imagen a partir de los DN.

7.4 Conversión de Radiancias a Reflectancias.

7.5 Dispersión Atmosférica.

7.6 Fusión de imágenes

8 Detección de Cambios

8.1 Composiciones Multitemporales

8.2 Detección automática de cambios

8.3 Imágenes de alta resolución.

9 Las Imágenes en la Cartografía Náutica Fluvial

9.1 Integración en un Ambiente SIG

9.2 Actualización Cartográfica y SIG

9.3 Carta Imagen Fluvial – Ejemplo Piloto

10 Navegadores

11 Conclusiones

Bibliografía

Anexo I

Anexo II

1 Introducción

Las cartas náuticas fluviales son documentos utilizados para navegar en forma segura por los ríos. También muestran la fisiografía del área de influencia, los elementos culturales y tipos de vegetación.

La información brindada por la cartografía fluvial es vital para obtener un conocimiento integral del comportamiento del río y su entorno. Además, es indispensable para poder aplicar políticas racionales y sustentables en la planificación de obras sobre las vías navegables.

Las principales vías fluviales de la Argentina se encuentran en los ríos Paraná, Uruguay y Paraguay, pertenecientes a la Cuenca del Plata (no se incluye el Río de la Plata por no tener una cartografía con características fluviales). La cartografía fluvial argentina se extiende a lo largo de 2718 km aproximadamente. Actualmente los buques de gran porte únicamente navegan sobre un tramo de 367 km en El Río Paraná, este tramo va desde la ciudad de Rosario hasta el final del Canal Emilio Mitre.

En estas vías fluviales existe un intenso tráfico de barcos de carga, de diferente calado que trasladan aproximadamente el 70 % de la producción exportable de la Argentina.

La cartografía náutica fluvial debe corregirse con mayor frecuencia que la marítima, por las modificaciones que sufren los ríos, tanto por causas naturales como por acción antrópica, lo que obliga a una actualización constante fundamentalmente en la posición de la traza de los canales de navegación.

En la construcción clásica de la cartografía fluvial se requiere información base de dos levantamientos distintos: el hidrográfico y el aerofotogramétrico.

El levantamiento hidrográfico proporciona las profundidades del fondo del río, permitiendo la descripción de su relieve.

Desde 1995, los levantamientos hidrográficos, en los sectores con más tráfico de las vías fluviales, Río Paraná de las Palmas desde Rosario hasta Canal Emilio Mitre en el Río de la Plata, son actualizados trimestralmente por la empresa Hidrovía S.A., que además debe realizar obras de dragado y mantenimiento de estas vías navegables.

La tecnología desarrollada, tanto para la medición del nivel del río, a través de una red telemétrica de limnigrafos, como para los levantamientos hidrográficos integrales con sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS), parece estar en condiciones de mejorar, sustancialmente, el conocimiento sobre el régimen de los ríos y el relieve en general.

De los levantamientos aerofotogramétricos se obtiene la forma de los ríos, los ejidos urbanos, tipos de vegetación, etc. Si bien, no es necesario efectuar estos levantamientos con tanta frecuencia como los hidrográficos, se encuentra que la superficie que abarcan los mapas fluviales fue fotografiada una vez, y sólo el 50 % fue fotografiada más de una vez. Luego podría encararse la actualización de la cartografía fluvial utilizando imágenes satelitales.

Partiendo de una propuesta para la representación de la cartografía náutica fluvial de la Argentina a partir de imágenes satelitales y la confección de un producto en un ambiente SIG (Sistema de Información Geográfico), en el presente trabajo se describen los procesos necesarios para el procesamiento de imágenes satelitales, como también los motivos por los cuales se considera apropiado el uso de dichas imágenes y finalmente a modo de ejemplo se elaboró una carta imagen en un ambiente SIG.

2 Cartografía Náutica Fluvial Argentina

El Servicio de Hidrografía Naval (SIHN) es responsable de la Cartografía Náutica Fluvial en la Argentina. La cartografía fluvial se presenta en una publicación denominada *Croquis de los ríos*. Esta publicación, disponible únicamente en soporte papel, incluye los siguientes ríos: Paraguay, Uruguay y Paraná. *Los Croquis de los Ríos*, desde sus comienzos ha evolucionado en el formato y en la escala de presentación. Los mismos tienen un formato peculiar desde el punto de vista cartográfico. Consisten en una serie de láminas rectangulares compiladas en forma de cuadernillo, en las cuales se representan los distintos tramos del río con su ruta de navegación.

Los Croquis, no tienen el mismo valor cartográfico y legal para la navegación que la carta náutica, sin embargo, hasta hace muy poco tiempo era la única publicación oficial y obligatoria disponible. Para paliar esta situación, el SIHN ha publicado recientemente Cartas Náuticas Fluviales para algunos tramos del Río Paraná de las Palmas.

La información de los Croquis sirve como orientación y apoyo a la navegación. Lo relevante que contiene es: profundidades sobre el eje de navegación cada kilómetro, simbología referente al boyado y balizamiento, peligros para la navegación, escala gráfica, declinación magnética y su variación anual y una grilla cada cinco minutos de latitud y longitud en proyección Mercator.

En el sector costero y terrestre se representa a través de simbología apropiada, vegetación, pendientes, barrancas, ejidos urbanos, edificaciones, marinas y puertos, etc.

La escala de representación de los Croquis de los Ríos es de 1/ 50.000 aunque existen cuarterones a mayor escala para los puertos.

El problema de la actualización de la cartografía fluvial es crítico, por los frecuentes cambios en las características de los ríos. Por ello, la rápida actualización de la cartografía existente tiene un rol fundamental para garantizar una navegación segura, sobre todo para los buques de gran calado y poca capacidad de maniobra (pueden tener 225 m de eslora y 32.2 m de manga), que navegan hasta el puerto de Rosario por el Río Paraná.

Los cambios en la geometría del río, profundidades, y todas las correcciones correspondientes al boyado y balizamiento son realizadas, en la cartografía, por el SIHN, que es el organismo oficial responsable.

La fuente de información para la actualización de los croquis es la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables (DNCP y VN). Cuando se

realiza una nueva edición cartográfica de los Croquis de los Ríos se imprimen en los talleres del SIHN en modo *off set* en tiradas de 200 ejemplares aproximadamente que, al poco tiempo, deben ser nuevamente corregidas.

El Departamento de Seguridad Náutica del SIHN recibe las correcciones, las que puede aplicar de dos maneras. Una manera consiste en dibujar directamente sobre el sector del mapa a corregir y luego se produce una lámina nueva. En la otra se efectúa un escaneo previo al mapa y luego sobre éste se corrigen los cambios pertinentes, mediante un software (estos *softwares* no trabajan con coordenadas terrestres).

En la medida que se reciben denuncias sobre cambios o peligros provenientes de la DNCP y VN o de cualquier navegante, se corrigen las láminas de los croquis vigentes .

Las correcciones más frecuentes son: cambios en la ruta de navegación, cambios en la línea de costa, fondos sucios, más todas las correcciones referentes al boyado y balizamiento.

Este tipo de correcciones se efectúan en forma manual en la División Cartas y Publicaciones del SIHN o pueden ser ejecutadas por el mismo usuario del mapa, el cual es notificado de los cambios a través de una publicación quincenal llamada "Aviso a los Navegantes" o también se divulga la información para las correcciones a través de radio avisos e Internet, aunque en estas modalidades no contiene toda la información como en soporte papel.

3 Antecedentes y Objetivos

A pesar del exponencial crecimiento de las plataformas satelitales, y las ventajas que ofrece la teledetección espacial resumidas en Chuvieco (2000), la visión panorámica de grandes extensiones, información sobre regiones no visibles del espectro, formato digital y periodicidad en los relevamientos, aún hoy no se ha implementado un procesamiento digital de imágenes satelitales sistematizado aplicado a la elaboración de la cartografía náutica fluvial en la Argentina. Sin embargo, existen experiencias en la elaboración de cartas imágenes con otras temáticas.

Ante la necesidad de cartografiar grandes extensiones se ha implementado la teledetección espacial como una técnica de relevamiento. A modo de ejemplo se menciona los productos (Carta Imagen Satelitaria) logrados por el Instituto Geográfico Militar (I.G.M.) de la Argentina. Esta misma técnica es empleada para la actualización de las cartas topográficas.

La tendencia actual es trabajar con imágenes ópticas multiespectrales en la actualización de la línea de costa y en cartas náuticas con herramientas SIG, (*Coastal and Shoreline Change Analisis Program CSCAP (2002)*; *Coastal Map and Vector Shoreline (2002)*; *A Robust System for Shoreline Detecction and its applications to Coastal – zone Monitoring (2002)*; Pardo (2002)).

La implementación y el procesamiento digital de imágenes satelitales como fuente principal de datos para la representación cartográfica de las vías navegables resulta beneficiosa e impostergable por los siguientes motivos:

- Uno de los principales problemas que plantea la actualización de la cartografía náutica fluvial es la imposibilidad de contar con relevamientos en forma periódica. Las plataformas heliosincrónicas que transportan los sensores ópticos multiespectrales permiten obtener una nueva imagen de la misma zona de la Tierra con una frecuencia determinada. Ejemplos: Sensores Landsat y Spot, 16 y 26 días respectivamente.
- Las grandes embarcaciones de carga tienden a utilizar los métodos de posicionamiento global (GPS). Estos sistemas de posicionamiento demandan de cartografía digitalizada puesto que la velocidad de información de posición es incompatible con los métodos de dibujo en las cartas papel (Larralde, 2000).
- Hay una demanda de las empresas de navegación para que exista una cartografía mejorada de la zona para ser incorporada a programas específicos de navegación, que trabajan con posicionamiento satelital en tiempo real.

El carácter digital de las imágenes satelitales combinado con los métodos actuales de relevamiento hidrográficos que además, generan datos en formato digital, facilita la integración de la información en un documento que se puede generar tanto en soporte magnético como papel.

En el presente trabajo se identifican y describen los procesos principales en el tratamiento digital de imágenes satelitales, orientados a:

- 1) desarrollar un producto con mayor precisión que el actualmente disponible
- 2) poder comparar imágenes multitemporales para el monitoreo y la posible actualización de las modificaciones en el cauce del río.

Los objetivos específicos del trabajo son:

- Realizar, basándose en experiencias anteriores, el procesamiento digital de imágenes satelitales, con el fin de incorporar a las mismas en la producción de una Carta Imagen Fluvial.
- Identificar procesos necesarios en el tratamiento digital de imágenes para poder trabajar en estudios multitemporales.
- Destacar la importancia de la utilización de las herramientas SIG y la teledetección, para la actualización de cartografía fluvial, identificando ventajas y limitaciones.

4 Área de Aplicación

La zona de trabajo elegida para aplicar los procesos de corrección geométrica y confección de una Carta Imagen Fluvial que ilustran los resultados de las técnicas que se describen en este trabajo, está ubicada en la Provincia de Buenos Aires, entre los kilómetros 49 a 65 del Río Paraná de las Palmas. Dicho tramo está ubicado en los partidos bonaerenses de Tigre y San Fernando, la ubicación geográfica general se representa en el polígono A de la figura 1 y el detalle del área en la figura 2. La coordenada del extremo superior izquierdo son: Lat. $34^{\circ} 15' 02''$ S y Long. $58^{\circ} 39' 53''$ W. El extremo inferior derecho tiene las siguientes coordenadas: $34^{\circ} 20' 16''$ S y Long. $58^{\circ} 29' 58''$ W.

Se seleccionó esta zona por contar con imágenes satelitales y con una adecuada densidad de datos batimétricos. También por que existen antecedentes cartográficos recientes lo que permite una mejor comparación.

Para realizar las correcciones radiométricas, y con el fin de poder comparar las imágenes de distinta fecha, se tomó un área del Delta que sobre el Río Paraná de las Palmas va desde el km 40.5 al 250. El polígono B de la figura 1 muestra la ubicación geográfica del área. En la figura 3 se detalla el polígono B. Esta área abarca una superficie de 514439 ha. Está emplazada, principalmente en las Provincias Argentinas de Entre Ríos y Buenos Aires, aunque también abarca una pequeña porción de la República Oriental del Uruguay. Los departamentos provinciales entrerrianos y bonaerenses que intercepta el polígono B de la figura 1 son: Gualeguay, Islas del Ibicuy, San Fernando, Tigre, San Isidro, Zárate, Belén de Escobar, Campana, Baradero y San Pedro.

El criterio para determinar el área de la figura 3 consistió en abarcar la máxima superficie con cobertura del Delta que estén incluidos en la escena 225-84 del sensor Landsat que fue la imagen disponible para procesar en este trabajo.

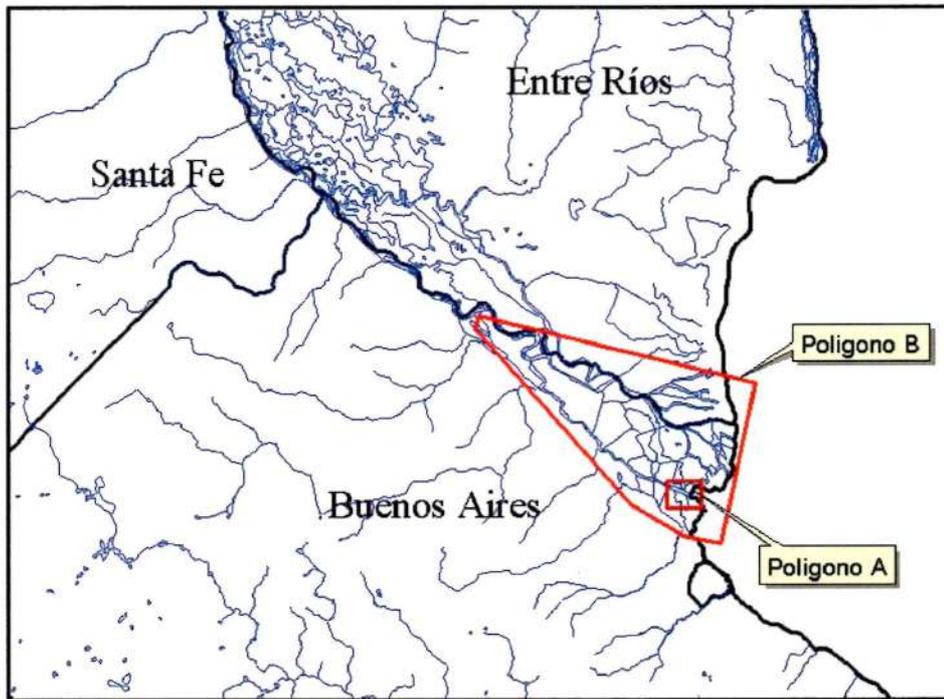


Figura 1. Hidrografía y Límites del área de aplicación (Atlas de Suelo, 1999).

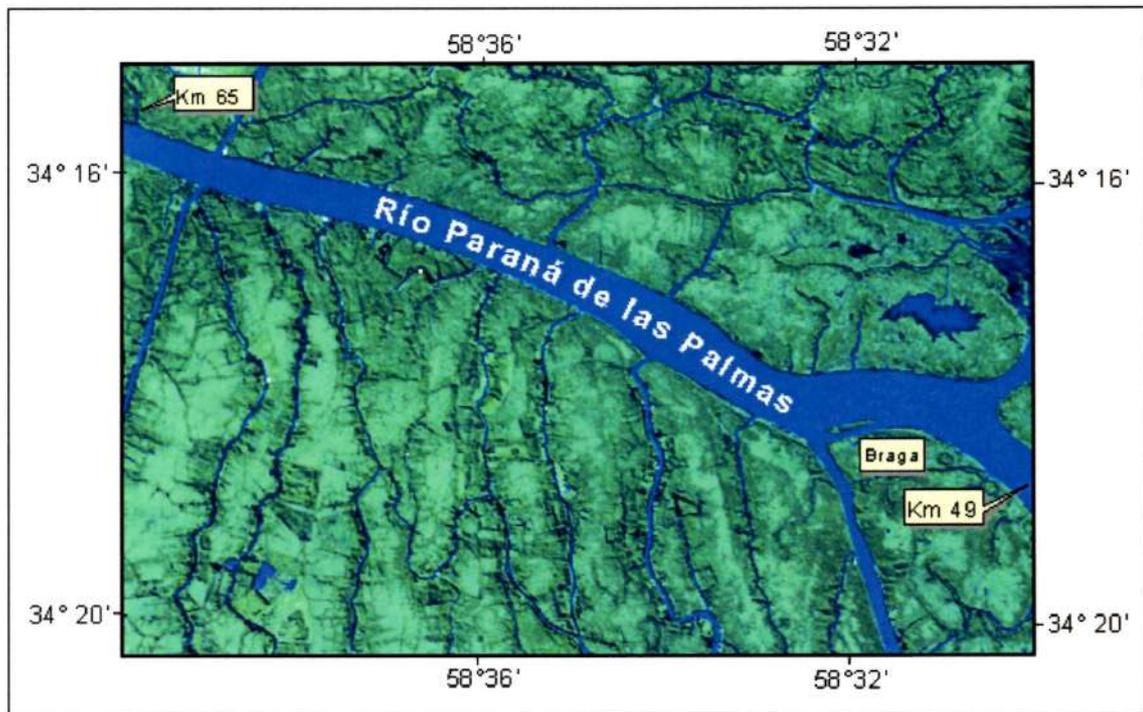


Figura 2. Detalle de Polígono A.

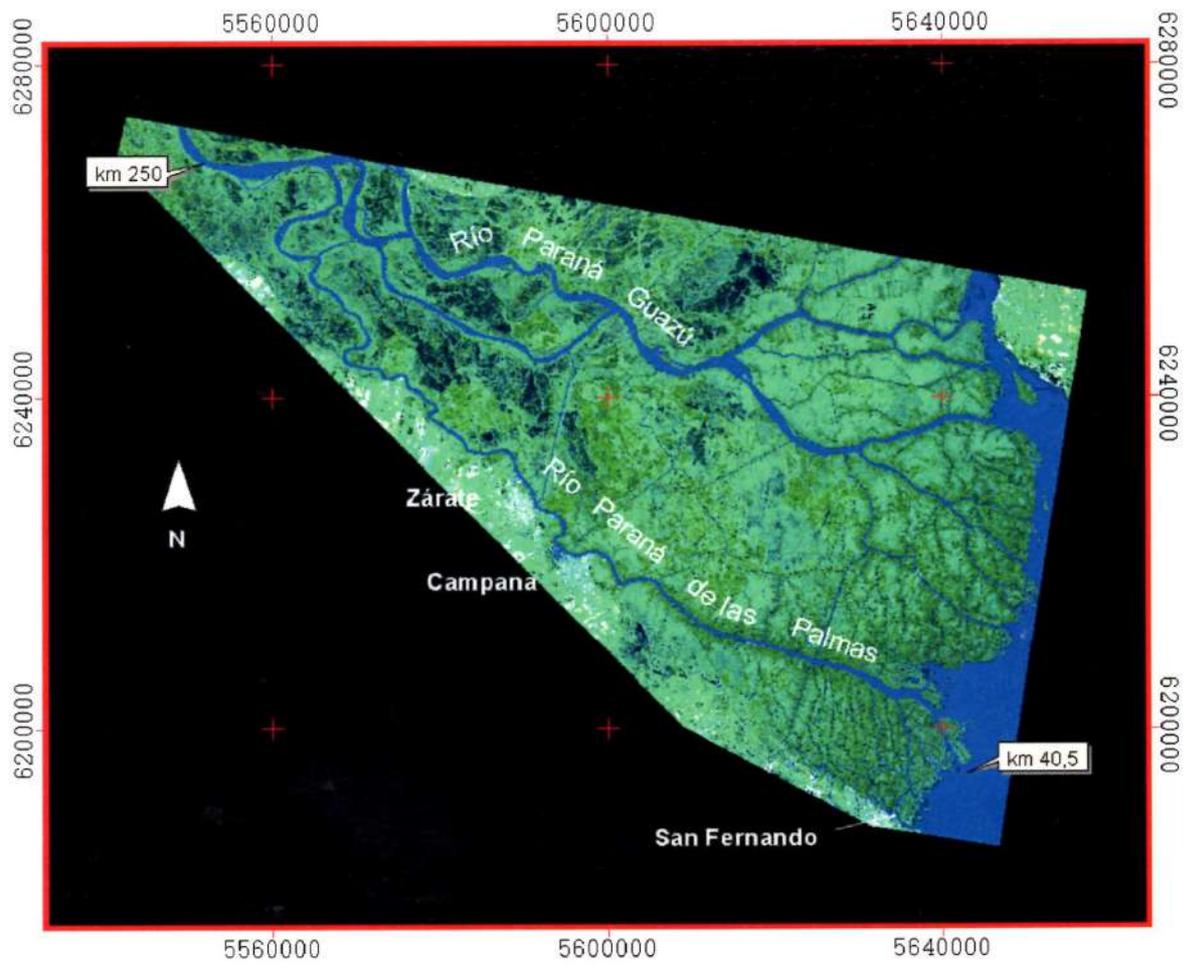


Figura 3. Detalle del Polígono B.

5 Métodos

5.1 Teledetección

El término teledetección, refiere a un conjunto de conocimientos y técnicas utilizadas para determinar características físicas y biológicas de objetos mediante mediciones a distancia, sin el contacto material con los mismos (Lasselin y Darteyre, 1991).

Los datos que proporcionan los sensores remotos permiten desarrollar diversas investigaciones en ámbitos variados de la ciencia: geología, urbanismo, cartografía, agronomía, oceanografía, hidrología, glaciología, etc.

Para que un satélite genere una imagen sobre una porción de la superficie terrestre, debe existir una interacción entre el sensor y el objeto sensado. Los 6 elementos que conforman un sistema de teledetección según (Chuvieco, 2000) son los siguientes:

- 1) La fente de energía que supone el origen del flujo energético detectado por el sensor. Puede tratarse de un foco externo al sensor, en cuyo caso habla de teledetección pasiva, o de un haz energético emitido por éste, conocido como teledetección activa. La fuente de energía más importante es la energía del Sol.
- 2) La cubierta terrestre, formada por distintas masas de vegetación, suelo, agua y construcciones, que reciben la señal energética procedente de la fuente de energía, y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas.
- 3) El sistema sensor, compuesto por el sensor propiamente dicho y la plataforma que lo alberga. Tiene como misión captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y enviarla directamente al sistema de recepción.
- 4) El sistema de recepción-comercialización, en donde es recibida la información transmitida por la plataforma, se graba en formato apropiado esta información, y, tras las oportunas correcciones, se distribuye a los interesados.
- 5) El intérprete, que convierte esos datos en información temática de interés, ya sea visual o digitalmente, de cara a facilitar la evaluación del problema en estudio.
- 6) El usuario final, encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como de dictaminar las consecuencias que de él se deriven.

En los sensores activos la fuente de energía es emitida de manera controlada por el propio satélite. Una característica fundamental de los sensores activos o Radar de Apertura Sintética (SAR) es que trabajan en el rango de las microondas.

Los sensores a bordo de plataformas satelitales interactúan con la energía electromagnética. “Las longitudes de onda de mayor interés en sensores remotos, son las longitudes ópticas, que se extienden desde 0.30 hasta 15 micrones y la zona espectral de las microondas entre 0.3 – 100 cm” (Raed, 2000). La figura 4 muestra un esquema de la representación convencional del espectro electromagnético.

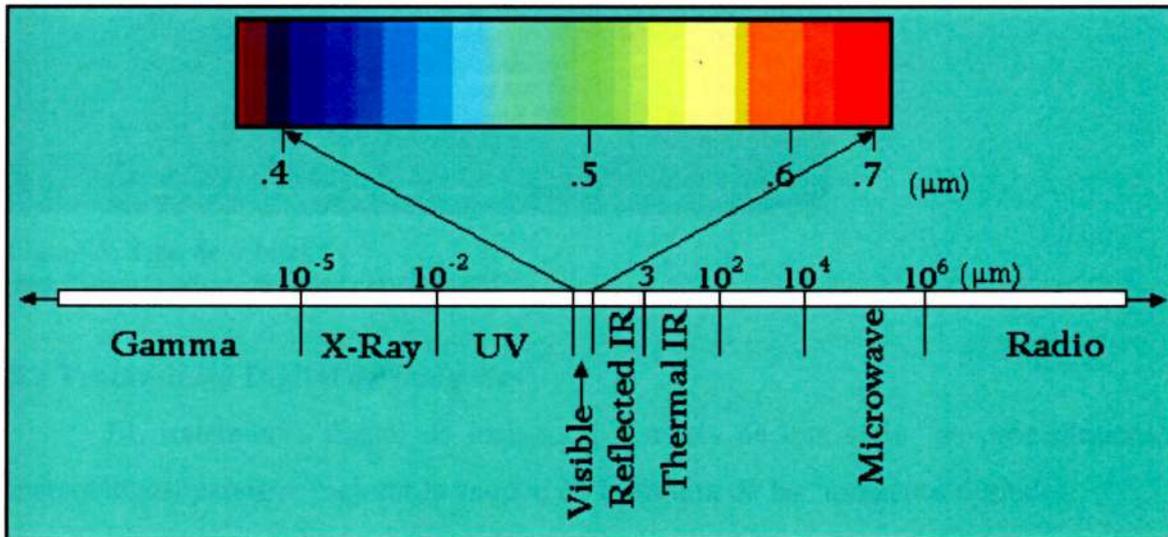


Figura 4: Representación del espectro electromagnético.
<http://www.csc.noaa.gov/products/gulfmex/html/rsdetail.htm>

Otra manera de agrupar a los satélites es de acuerdo a la órbita que describen. Los satélites meteorológicos generalmente se encuentran entre los denominados geoestacionarios, éstos se caracterizan por estar sincronizados con el movimiento terrestre y relevar siempre la misma “cara” de la Tierra.

Los satélites con sensores ópticos multispectrales generalmente describen órbitas polares-heliosincrónicas, giran alrededor de la Tierra casi perpendicular a la línea del Ecuador. Este movimiento está calculado y calibrado para que el satélite capture una escena del mismo lugar siempre a la misma hora, con el fin de facilitar estudios multitemporales. En la figura 5 se representan los dos tipos de órbitas mencionados.

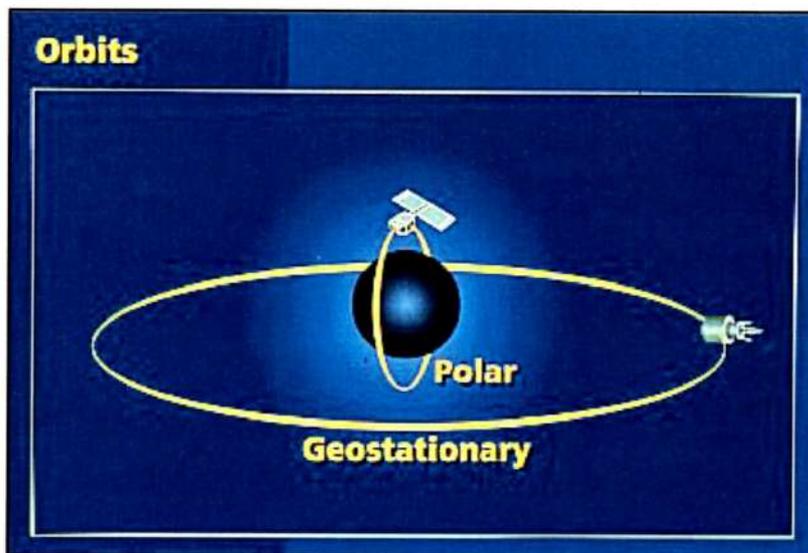


Figura 5: Tipo de órbitas
<http://www.bnsc.gov.uk/index.cfm?pid=585>

5.2 Tratamiento Digital de Imágenes

EL tratamiento digital de imágenes, a través de una serie de procedimientos matemáticos, persigue mejorar la calidad en la lectura de las imágenes digitales.

Los sensores remotos denominados pasivos u ópticos, captan la energía emitida y reflejada por la Tierra por medio de sensores óptico-electrónicos, “ que son dispositivos que combinan una óptica similar a la fotografía convencional con un sistema de registro electrónico que elimina la necesidad de un soporte papel” (Pinilla, 1995).

Este sistema de registro permite que las imágenes recibidas en la estación terrena se obtengan directamente en formato digital.

El archivo con los datos de imagen tiene una estructura matricial, en la que cada dígito representa la radiancia captada por el sensor para una superficie del terreno. Donde la radiancia (L) “es el total de energía radiada en una dirección por unidad de área y ángulo sólido de medida. Se cuantifica en vatios por metro cuadrado y estéreo-radián [$W m^{-2} sr^{-1}$]”(Chuvienco, 2000).

En la imagen la unidad mínima de información está representada por un *pixel*. Los valores de los *pixels* que conforman la imagen han sido denominados de distinta manera según el autor, la más común es la denominación inglesa *Digital Number* (DN), en la literatura en castellano se lo puede encontrar como niveles digitales, contajes, etc.

Asociado a cada DN que conforma la matriz de datos de la imagen, se encuentran los niveles de visualización (NV), que son los valores de grises con los que se representan los *pixels* de la imagen en la pantalla.

Cuando se visualiza una imagen que tiene una sola banda, es decir, medida en un solo intervalo del espectro electromagnético, se aprecia en blanco y negro.

Cuando se trabaja multiespectralmente se visualizan tres bandas a la vez. A cada una de estas bandas se le asigna una correspondencia con los tres tubos de color que tienen los monitores: rojo, verde y azul, de esta manera (proceso aditivo de formación del color) se visualizan las imágenes a color. Se pueden realizar diferentes combinaciones RGB (*Red, Green, Blue*) de bandas, para ver imágenes a color y resaltar distintas coberturas del terreno.

En el tratamiento digital de imágenes, un concepto fundamental es el de la firma espectral, se trata de valores teóricos de reflectividad en distintas longitudes de onda para las coberturas terrestres más importantes.

Con ayuda de las firmas espectrales se facilita la discriminación de los principales tipos de coberturas presentes en una escena: agua, suelo, etc.. De todas maneras este valor teórico es sólo una aproximación, ya que el DN que almacena un *pixel* para una determinada superficie puede variar para distintas imágenes.

En primera instancia, la firma espectral puede ser distinta al cambiar las propiedades de la superficie relevada, por otro lado existen factores que no dependen del estado de la cobertura y también influyen sobre la respuesta espectral, los más importantes son: las condiciones atmosféricas, el emplazamiento ambiental y la geometría de la observación (Chuvienco, 2000).

El hecho que la imagen esté estructurada espacialmente como una matriz, permite, mediante el uso de programas aplicativos, realizar en forma veloz operaciones matemáticas sobre ella.

Una de las operaciones primarias que se realizan es el cálculo del histograma, que sirve para conocer en forma rápida la frecuencia de los valores de DN distintos que aparecen en la escena.

Este cálculo se realiza para cada banda espectral y es una operación que el *software* ejecuta en forma instantánea. También se puede efectuar rápidamente (según el hardware que se disponga) todas las operaciones de despliegue de las imágenes: cambios de escala, paneo, rotaciones, etc.

5.3 Selección de un Sensor

Con todas las aplicaciones y productos posibles que se derivan de un sensor espacial determinado, se debe evaluar qué satélites son indicados técnicamente para una aplicación cartográfica determinada, teniendo en cuenta la capacidad de resolución de éstos y sin descuidar el factor económico que implican las imágenes de alta resolución que hay actualmente en el mercado.

En todos los proyectos en los que se va utilizar la teledetección espacial como técnica de relevamiento, para seleccionar el sensor más apropiado, se debe establecer la escala del trabajo y el grado de detalle que se necesita en función de los objetivos del trabajo.

Una vez fijada la escala, se pueden descartar algunos sensores que poseen una resolución baja para un trabajo determinado, dado que, cuando se represente la imagen a la escala definida, la misma se visualizará “*pixelada*”.

La resolución espacial es la medida del objeto más pequeño que puede distinguir el sensor, o dicho en otras palabras, es el área que representa cada *pixel* en el terreno. La resolución espacial esta representada por su *Instantaneous Field of View* (IFOV), que es el ángulo sólido mínimo subtendido por la abertura del radiómetro, a bordo de la plataforma satelital (Publicaciones Didácticas, 2001). En la figura 6 se representa el ángulo IFOV.

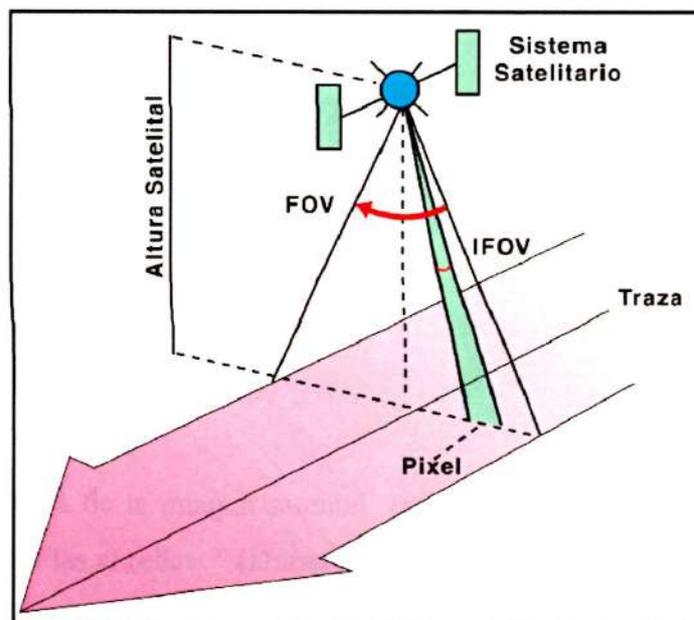


Figura 6. Esquema de barrido una plataforma satelital. El IFOV representa la mínima unidad de información en la imagen., o sea, un *pixel*.

http://www.conae.gov.ar/libro_tele/publicaciones_didacticas.htm

Esta propiedad de los sensores es fundamental para determinar la mayor escala con que puede ser representado el terreno y de esa manera saber si el sensor es apto para un trabajo determinado.

A pesar de ser una técnica relativamente nueva, su tecnología ha evolucionado a lo largo de las últimas dos décadas. Entre estos avances, uno de los más destacable es el poder de resolución espacial que han adquirido los satélites.

En 1972 y 1975 se lanzaron los satélites 1 y 2 de la serie Landsat respectivamente, se obtuvieron imágenes con una resolución de 79 metros. El éxito de esta misión logró que la técnica de la teledetección espacial se difundiera masivamente. Posteriormente, se lanzaron satélites con objetivos y características orbitales similares, pero con mejoras en su capacidad de resolución espacial, con la posibilidad de cartografiar a mayor escala.

“La calidad geométrica de la espaciocarta (carta imagen) depende directamente del instrumento utilizado. La precisión gráfica de un documento es del orden de 0.2 mm (poder discriminador del ojo humano), con lo que corresponden a escalas que van de 1/ 25.000 a 1/ 100.000, a una precisión real de 5 a 20 m. Esto implica que el tamaño del píxel sea del mismo orden de magnitud. Se asegurará así, una calidad gráfica compatible con la resolución del sensor. Para una precisión teórica de 0.2 mm (fuera de errores gráficos) en la carta final, la escala más grande compatible con la precisión geométrica de la imagen puede determinarse rápidamente:

$$\frac{1}{S} = \frac{0.2}{r/2}$$

Donde 1/S es el factor de escala, r (en mm) el tamaño del píxel del satélite.

Ejemplo: $r = 10\text{m}$ da $\frac{1}{S} = \frac{1}{25.000}$

La precisión geométrica de la imagen satelital ($r/2$), sólo puede alcanzarse eliminando las deformaciones debidas al relieve” (Durand, 1993).

Con un mosaico de imágenes *Ikonos* (1 metro de resolución) se puede lograr un producto con mayor poder de interpretación de los rasgos fisiográficos de las costas y su entorno, pero esto no implica que los procedimientos sean más prácticos, ni tampoco más económicos.

Para los sensores de muy alta resolución, hay que considerar también el tamaño de la escena en relación con el área que se desea cartografiar. Si el área que se desea cartografiar requiere de un mosaico de muchas imágenes, debido a que el ancho de barrido de las imágenes es menor, el proceso de georreferenciación y de construcción del mosaico resultará más complejo y costoso, ya que se necesitarán más imágenes y un número mayor de puntos de control o *ground control point* (GCP).

En cambio, si para representar la misma zona alcanza con una sola imagen, los procesos de georreferenciación se verán simplificados.

La resolución espectral define la cantidad de bandas y en qué longitud de onda puede relevar un sensor determinado.

En cuantas más bandas espectrales pueda capturar energía un sensor determinado, mayor cantidad de operaciones entre bandas (índices, suma, etc.) podrán efectuarse con el fin de identificar y mejorar visualmente más coberturas. Ya que, distintos tipos de superficie terrestre pueden tener una firma espectral muy parecida en una cierta longitud de onda y, puede cambiar de forma notable, para otra región diferente del espectro electromagnético.

La resolución temporal del satélite también debe ser tenida en cuenta cuando se trabaja o estudian fenómenos multitemporales. Esta propiedad determina cuanto tiempo transcurre hasta que el satélite captura una nueva imagen de un punto determinado de la Tierra.

Con respecto al área de aplicación de la figura 2, donde un objetivo es mejorar la precisión métrica del producto actualmente disponible (Los Croquis de los Ríos), se consideró apropiado la utilización del Spot 1 por los siguientes motivos:

1. La resolución espacial de 10 metros que posee el sensor en modo Pancromático permite cartografiar a una escala 1: 25.000.
2. Este sensor tiene dos bandas espectrales en el visible y otra en el infrarrojo lo cual facilita las composiciones en falso color compuesto con el fin de contrastar los ambientes tierra-agua.
3. El satélite Spot permite fusionar la imagen con otros sensores más "ricos" en resolución espectral, y de esta manera mejorar la calidad de la imagen conservando la resolución espacial original.
4. El período de revisita es importante en proyectos donde se busca actualizar la producción o realizar un análisis de cambios sobre el terreno. El sensor Spot genera una

nueva imagen cada 26 días. Con otra tecnología resultaría imposible relevar tal magnitud de datos geográficos en períodos tan cortos.

5. El programa de Satélites Spot garantiza una continuidad en un proyecto. Recientemente se lanzó el Spot 5, con mejoras en todas sus cualidades.

6. El recubrimiento de una imagen Spot o sea la superficie levantada en una captura es una imagen de 60 x 60 kms. Con esta superficie los procesos de georreferenciación se ven simplificados ya que se requiere menos puntos de control que utilizando técnicas convencionales de fotografía aérea.

En el anexo 1, se realiza una breve descripción de los sensores Landsat y Spot, que se utilizaron en el procesamiento de las imágenes en este trabajo.

6 Soportes Necesarios

6.1 Equipamiento y Programas

Software: De los distintos *software* disponibles para el tratamiento digital de imágenes satelitales los especialistas en el tema han aconsejado el programa *Erdas Imagine* para el procesamiento de imágenes con fines cartográficos. Por ser un programa líder y por tener la posibilidad de contar con dicho *software* para el trabajo, se optó por el *Erdas Imagine* para desarrollar los procesos.

Una vez concluidos los procesos sobre las imágenes satelitales, la integración de los datos batimétricos y geográficos de distintas fuentes se trabajó sobre el programa *Arc View 3.1*.

Hardware: El hardware utilizado fue una PC con las siguientes características: procesador Pentium III, memoria RAM de 64 *Megabyte*, monitor de 14 pulgadas.

6.2 Factor Humano

Los procedimientos que se llevan a cabo al realizar un trabajo de procesamiento digital de imágenes y SIG se han automatizado cada vez más en las dos últimas décadas, gracias a la evolución informática.

No obstante, la capacitación de los recursos humanos para encarar un proyecto cartográfico con estas herramientas es una condición necesaria para lograr resultados satisfactorios. Aún cuando sólo se utilice las imágenes para interpretación visual, se necesita conocer las características básicas de las plataformas satelitales.

Para llevar a cabo emprendimientos con técnicas como teledetección y SIG es necesario formar equipos interdisciplinario integrados por especialista en: base de datos, sensores remotos, cartografía, topografía, etc.

La experiencia por parte de los operadores que componen el trabajo es fundamental, por ejemplo, la ventaja que constituye conocer el terreno donde se está trabajando, facilita la interpretación de las imágenes y el entendimiento acerca de la dinámica que tiene ese paisaje determinado.

7 Procesamiento de Imágenes

El procesamiento de las imágenes tiene como objetivo obtener un producto cartográfico del tipo carta imagen al cual se le pueda agregar otras capas de información de interés para la navegación. Las correcciones geométricas incluidas dentro del procesamiento fueron aplicadas sobre la siguiente imagen:

Imagen del sensor Spot 1: 698-419 P capturada en la fecha 09 de julio de 1998, esta imagen contiene únicamente la banda pancromática, 10 metros en su resolución espacial. El ángulo de visada en la captura de la imagen es de $00^{\circ} 27' 22''$. Nivel de procesamiento: 2 A, esto significa que posee correcciones a partir de la altitud del satélite y la geometría del campo de visión instantáneo pero sin puntos de apoyo cartográficos. Las precisiones relativas de los elementos de la imagen es de 0.5 a 0.10 m pero, la localización absoluta es aproximadamente de 800 m. El modo de adquisición es BIL (*Band Intervaed by Line*).

Para tratar la problemática de la actualización cartográfica, se aplicaron las correcciones radiométricas necesarias para comparar imágenes. También se muestra algún ejemplo de las técnicas posibles que apuntan a destacar los cambios identificados en imágenes de distinta fecha. Estos procedimientos se realizaron sobre dos imágenes Landsat:

- Imagen del sensor Landsat TM 5 (L5), *Path* y *Row*: 225-84, capturada el 8 de abril de 1997, 6 bandas.
- Imagen del Sensor Landsat 7 ETM+ (L7), *Path* y *Row*: 225-84, capturada el 27 de abril de 2001.

Previo al procesamiento, se importaron las imágenes de su formato original a la extensión del programa en la que se realizan todas las operaciones posteriores. Una vez importadas las imágenes de su formato original al *.img* se procedió a la exploración de la imagen visualmente en distintas escalas, con el fin de verificar posibles fallas en algunos *pixeles* de la imagen, y también para empezar a reconocer puntos o zonas de interés en procesos posteriores.

7.1 Correcciones Geométricas

Estas correcciones tienen como objetivo relacionar las filas y columnas de la matriz original de la imagen con coordenadas geodésicas, con lo cual se logra que una imagen digital tenga validez cartográfica (Pinilla, 1995).

Para georreferenciar o corregir geoméricamente una imagen hay básicamente dos modelos. Se aplican según la precisión que requiera el trabajo y se pueden optar por un método u otro, o ambos.

En uno se conocen los parámetros ligados a los movimientos del sensor en la trayectoria de su respectiva órbita, estos parámetros de corrección generalmente se aplican sistemáticamente en las estaciones receptoras o centros de distribución de imágenes. Las correcciones de estas deformaciones en la imagen son en los tres desplazamientos posibles sobre los ejes x, y, z (sistema ortogonal). Las correcciones más habituales son: Inclinación de la imagen (debido a que la órbita no es perfectamente polar), rotación y curvatura terrestre. Este método todavía no es lo suficientemente preciso, sin embargo, para las últimas plataformas como el Landsat 7 ETM, ha mejorado debido a las efemérides de satélites generadas por el GPS a bordo del sensor.

El otro modelo se basa en Puntos de Apoyos Terrestre (Ground Control Point, GCP). Es el más utilizado en la mayoría de los trabajos cartográficos pues aporta mayor precisión en las correcciones.

Este método consiste en identificar puntos homólogos entre la imagen "cruda" (sin corregir) y los puntos en los que ya se conocen las coordenadas. Los puntos con coordenadas conocidas pueden tener distinto origen: cartografía preexistente, puntos con coordenadas relevadas en el campo, u otra imagen ya rectificadas. La georreferenciación a través de puntos de control es llamada modelación o corrección polinomial, este método también incluye todas las deformaciones de la imagen a causa de los movimientos de la plataforma.

Esta operación se puede explicar matemáticamente de la siguiente manera:

"Sea una serie de puntos A_i para los cuales se conocen las coordenadas geográficas o cartográficas (X_i, Y_i) y las coordenadas (p_i, q_i) en la imagen bruta, en este caso se podrán determinar los polinomios L y P por resolución de un sistema lineal:

$$p_i = L(X_i, Y_i)$$

$$q_i = P(X_i, Y_i)$$

Cada punto da lugar a dos ecuaciones y será un número de puntos (N) superior o igual a $(n+1).(n+2)/2$ para determinar completamente los coeficientes de los dos polinomios, siendo n el grado del polinomio escogido.” (Durand, 1993)

El sistema de ecuaciones se resuelve por mínimos cuadrados. Los programas de tratamiento digital de imágenes calculan los polinomios y el procesamiento manual consiste en identificar puntos sobre la imagen que van a utilizarse como referencia.

El proceso de identificación es fundamental y puede complicarse cuando no existen referencias claras sobre la imagen. La habilidad y experiencia del operador en la interpretación de la imagen es fundamental para realizar un ajuste preciso del modelo. La teoría para la determinación de puntos de control establece los siguientes criterios:

*Distribución espacial de los puntos en la imagen. Debido a que el ajuste de la nueva imagen generada en la corrección geométrica es producto de una regresión lineal, es conveniente poder localizar puntos de control distribuidos por toda la imagen para que el modelo se ajuste lo mejor posible en todas las zonas de la carta.

*Localización de los puntos. Los lugares recomendables para la selección de puntos de control son: cruces de caminos (preferentemente en ángulo recto), límites claros en los cambios de vegetación o suelo, edificaciones. Es decir, lugares que permanezcan lo más estable posibles a través del tiempo para su relocalización.

*Cantidad de puntos. El número de puntos necesarios para lograr una corrección geométrica aceptable depende del objetivo del trabajo y, por tanto, de la escala de representación.

Si bien con 3 puntos se puede resolver un polinomio de 1° grado, que es lo correcto en procesos cartográficos para reducir distorsiones en la imagen, habitualmente se necesitan más GCP para arribar a un error dentro de la tolerancia. Por otro lado, la complejidad del terreno en el que se trabaje influye notablemente sobre los resultados. La literatura y distintos especialistas consultados recomiendan entre 25 y 30 GCP para la corrección de escenas completas de Landsat TM y Spot. También es aconsejable contar con mayor cantidad de GCP para poder descartar los puntos que aporten mayor error al modelo.

Para las imágenes en donde las diferencias altimétricas no superan los 2000 metros, no es necesario efectuar correcciones de este tipo (Durand, 1993). El efecto de desplazamiento del relieve es menor que en la fotografía aérea, debido a la altura de la órbita (Pinilla, 1995).

En el presente trabajo, el área de aplicación para las correcciones geométricas es la descrita en la figura 2.

En esta zona, por tratarse de ríos de llanura, no es necesario tener en cuenta los desniveles del terreno. En contraposición es dificultoso el proceso de georreferenciación debido a que, en la zona del Delta, hay muy pocos elementos antrópicos para utilizar de referencia. Estos últimos son los ideales ya que no sufren alteraciones temporales en su posición.

Dado que no se contaba con puntos conocidos en el sector terrestre, la mayoría de los GCP utilizados fueron forzosamente puntos pertenecientes a accidentes geográficos en los márgenes de los ríos.

Para la georreferenciación de la imágenes se aplicó un modelo de corrección polinomial de 1° grado. La fuente, para la determinación de los GCP fue:

- Cartografía pre-existente escala 1: 25.0000
- Puntos relevados con DGPS en campañas hidrográficas sobre la costa del Paraná.
- Apoyo de imagen Landsat corregida.

En figura 6 figuran los GCP utilizados para la corrección geométrica sobre la imagen Spot Pancromática. Los GCP situados sobre el Paraná son los que fueron capturados con mayor precisión (GPS). A diferencia de los puntos más alejados del cauce principal donde se utilizaron puntos identificados en cartas papel.

Por ello, se concentraron la mayoría de los GCP sobre el Río Paraná. A consecuencia de ello se logró un mejor ajuste en torno al canal de navegación, que toma mayor relevancia en esta temática.

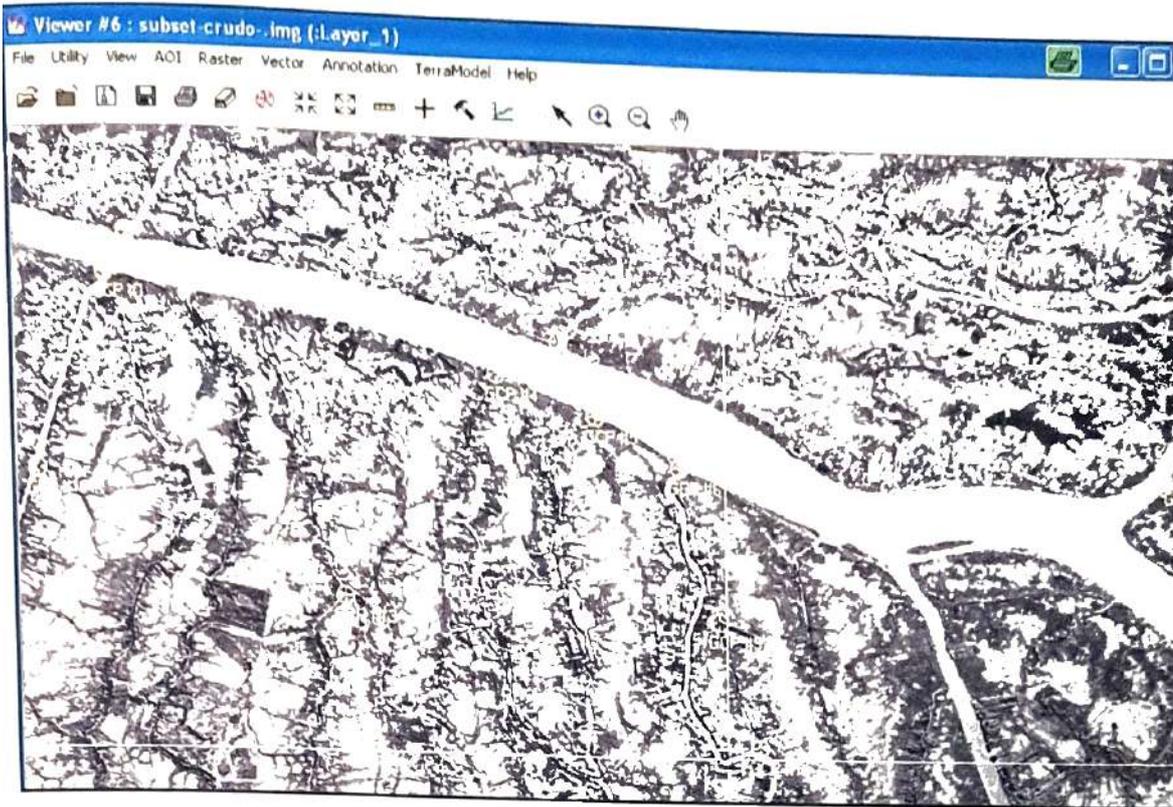


Figura 7: GCP utilizados para la corrección geométrica indicados en color amarillo.

Se obtuvo un error cuadrático medio o *Root Mean Square* (RMS) inferior a 1 *pixel*, (1 *pixel* = 10 metros).

En la figura 8 se detalla el listado de los GCP utilizados en la corrección geométrica tal como los presenta la interfaz gráfica del programa. En la misma se detallan las coordenadas de imagen y de referencia para cada punto.

La calidad del ajuste del modelo depende de los GCP, tanto en su ubicación, como en el origen de estos. En primera instancia, es conveniente utilizar GCP medidos en el terreno, con instrumental apropiado (DGPS), previa identificación en la imagen. En segundo término es aconsejable la utilización de GCP extraídos de cartografía preexistente. Cuando ya se posee una imagen georreferenciada, se la puede utilizar como referencia, en ese caso los procesos de búsqueda e identificación de los puntos son más sencillos.

GCP Tool : (Input : inputsubsetcuruda2.gcc) (Reference : rio_parana2.img)

File View Edit Help

Control Point Error: (X) 0.0002 (Y) 0.0002 (Total) 0.0003

Point #	Point ID	Color	X Input	Y Input	Color	X Ref	Y Ref	Type
1	GCP #1		-58 652	-34 267		5624265 558	6207925 916	Control
2	GCP #2		-58 649	-34 261		5624535 521	6208508 234	Control
3	GCP #3		-58 589	-34 275		5630033 952	6206949 841	Control
4	GCP #4		-58 598	-34 279		5629218 259	6206492 245	Control
5	GCP #5		-58 584	-34 285		5630530 610	6205865 059	Control
6	GCP #6		-58 572	-34 292		5631623 233	6205077 290	Control
7	GCP #7		-58 542	-34 294		5634338 234	6204744 002	Control
8	GCP #8		-58 501	-34 292		5638073 649	6204959 855	Control
9	GCP #9		-58 566	-34 313		5632087 750	6202789 750	Control
10	GCP #10		-58 662	-34 294		5623343 412	6205054 585	Control
11	GCP #11		-58 526	-34 260		5635720 250	6208404 750	Control
12	GCP #12		-58 561	-34 250		5632622 449	6209513 646	Control
13	GCP #13		-58 620	-34 311		5627266 458	6203127 874	Control
14	GCP #14		-58 561	-34 331		5632588 256	6200845 228	Control

Figura 8. Listado de GCPs. En la primera columna el identificador numérico. En las columnas Xinput e Yinput las coordenadas de la imagen, en las columnas Xref e Y ref las coordenadas geodésicas.

Se definió el sistema de proyección y de referencia geodésico que conforman el modelo junto a los GCP. Los parámetros ingresados fueron los siguientes:

- Proyección: Gauss Krüger, Faja 5
- Datum horizontal: Campo Inchauspe
- Elipsoide: Internacional 1909
- Factor de Escala en el meridiano central: 1
- Origen de la proyección (en latitud): -90°
- Longitud del Meridiano Central: -60°
- Falso Este: 5.500.000
- Falso Norte: 0

La georreferenciación implica un cambio en la posición, de los píxeles de la nueva imagen. A cada una de estas nuevas posiciones se le debe asignar su DN correspondiente. Esta operación se denomina remuestreo.

“La validez geométrica de una imagen exige su corrección espacial mediante funciones polinómicas de ajuste y el remuestreo de las celdillas por interpolación bilineal o convolución cúbica”(Pinilla, 1995).

Se utilizó el método de convolución cúbica para el remuestreo de la imagen.

En las imágenes Landsat, el píxel corresponde a un tamaño de 30 metros. Para facilitar la fusión de estas imágenes con la del Sensor Spot en procesos posteriores, también se remuestrearon todas las imágenes con un píxel de 10 metros.

La georreferenciación de las imágenes Landsat, para el área de la Figura 3, se realizó tomando otra imagen ya corregida. El método "imagen a imagen" permitió alcanzar un RMS igual a 0.7 y 1.4 para Landsat 7 (L7) y Landsat 5 (L5) respectivamente.

La georreferenciación de las imágenes Landsat tiene como objetivo superponerlas para señalar procesos digitales en la detección de cambios. Algunas de estas técnicas utilizan métodos de comparación *pixel a pixel*. Por ello, se utilizó el método de remuestreo de vecino más cercano, donde el DN asignado en la nueva posición corresponde al valor de DN más cerca que tenía en la imagen sin corregir.

El remuestreo por vecino más cercano tiene el inconveniente que degrada levemente la interpretación visual de los elementos lineales en la imagen, pero de esta manera se asegura la comparación de los DN correspondiente a una única posición.

Para superponer estas dos imágenes con el fin de buscar cambios en el cauce del río se co-registraron. Es decir, con el fin de no confundir cambios en el terreno con una mala georreferenciación entre ambas imágenes, se ajustó la L5 sobre la L7.

En la figura 9 se puede visualizar las dos escenas superpuestas con un desfase entre dos cauces. En ese caso se identificó un mismo punto en las dos imágenes, entonces el software permite asignarle las coordenadas de una a otra y trasladar esta relación a toda la imagen.



Figura 9. Dos imágenes superpuestas, con diferente combinación de bandas, L5 en la parte inferior y L7 en la parte superior.

7.2 Tratamientos Radiométricos

Correcciones radiométricas: Tienen como objetivo modificar el valor de los DN de la imagen para poder mejorar la calidad de la misma. Dentro de estas correcciones se incluyen las fallas propias del sensor en la captura de la escena, como también las correcciones atmosféricas, cálculo de las diferencias en el ángulo de iluminación solar, cálculo de los ND a reflectancia o alguna variable física.

Las correcciones radiométricas que se deben aplicar a una imagen dependen del objetivo final del trabajo. Para los mapas fluviales, la aplicación final es un producto del tipo carta imagen, como apoyo a la navegación. Por tanto, no haría falta realizar correcciones radiométricas del tipo atmosféricas o llevar los valores de DN a radiancia.

Sin embargo, se consideró que, para producir una cartografía fluvial actualizada, a través de la teledetección, es necesario realizar un estudio multitemporal, y llevar a cabo un monitoreo del cauce de los ríos para actualizar los cambios detectables en las imágenes. Por tanto, para realizar una comparación de imágenes con distinta fecha se deben realizar una serie de correcciones.

A continuación se describen las transformaciones necesarias para un análisis comparativo de los flujos de energía que mide el sensor, en dos imágenes distintas.

7.3 Cálculo de radiancia en la imagen a partir de los DN.

La siguiente ecuación convierte los DN que componen la imagen a unidades de Radiancia (L).

$$L [W m^{-2} sr^{-1}] = gain * DN + offset$$

http://tpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter11/chapter11.html

Los coeficientes *gain* y *offset* se obtuvieron del archivo *header* de cada imagen, estos coeficientes son brindados por el proveedor de imágenes. Los valores que se utilizaron fueron los siguientes:

Landsat 5

	Biases/offset	Gains (Pendiente)
Banda 1	-1.5000	0.7314
Banda 2	-3.1000	1.3533
Banda 3	-2.7000	0.9714
Banda 4	-2.5000	1.0686
Banda 5	-0.4500	0.1429
Banda 7	-0.3000	0.0757

Landsat 7 ETM

	Biases/ offset	Gains (Pendiente)
Banda 1	-6.20	0.7756
Banda 2	-6.40	0.7956
Banda 3	-5.00	0.6192
Banda 4	-5.10	0.6372
Banda 5	-1.00	0.1257
Banda 7	-0.35	0.0437

7.4 Conversión de Radiancias a Reflectancias.

“La radiancia medida por el instrumento al tope de la atmósfera depende de la irradiancia solar a ese nivel. Para evitar la variación de la radiancia debido a la variación anual de la irradiancia solar, se debe normalizar la radiancia medida por el sensor a reflectancias. Esto permite comparar valores entre imágenes de fechas diferentes. La radiancia es una magnitud física que da cuenta de los atributos de los objetos en la superficie, si previamente también se ha corregido el efecto que produce la presencia de la atmósfera”(http://www.iafe.uba.ar/tele/, 2002).

El cálculo de reflectancias al tope de la atmósfera (ρ). Indica la relación existente entre la energía incidente y la reflejada. No posee unidades (se lo puede expresar en porcentajes) y se calcula a través del siguiente algoritmo:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot D^2}{ESUN \cdot \cos \Phi}$$

Donde:

L_{λ} = Radiancia espectral

D = Distancia entre el sol y la Tierra

ESUN= Irradiancias espectrales solares

Φ = ángulo cenital solar

http://tpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter11/chapter11.html

Los valores de D y ESUN se obtuvieron en la página web del sensor Landsat ETM, mientras que los valores de Φ se extrajeron del *header*.

Para ejecutar estos algoritmos sobre la imagen el módulo *Modeler Maker* del programa *Erdas* permite diseñar programas donde queda planteada la ecuación para cada DN de la imagen. El programa de conversión utilizado (Figura 10) fue cedido por el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE), Grupo de Teledetección que se encuentra disponible en el sitio <http://www.iafe.uba.ar/tele/>.

Los datos ingresados en el programa son:

L7 del 27 abril de 2001:

Ángulo de elevación solar : 31.4°

Día Juliano: 117

Irradiancias Solares [$\text{wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$] (para cada banda óptica): 1970.0; 1843.0; 1555.0; 1047.0; 227.1; 80.53

L5 del 08 de abril de 1997:

Ángulo de elevación solar: 32°

Día Juliano: 98

Irradiancias Solares [$\text{wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$] (para cada banda óptica): 1959.2; 1827.4; 1550.0; 1040.8; 226.75; 74.960

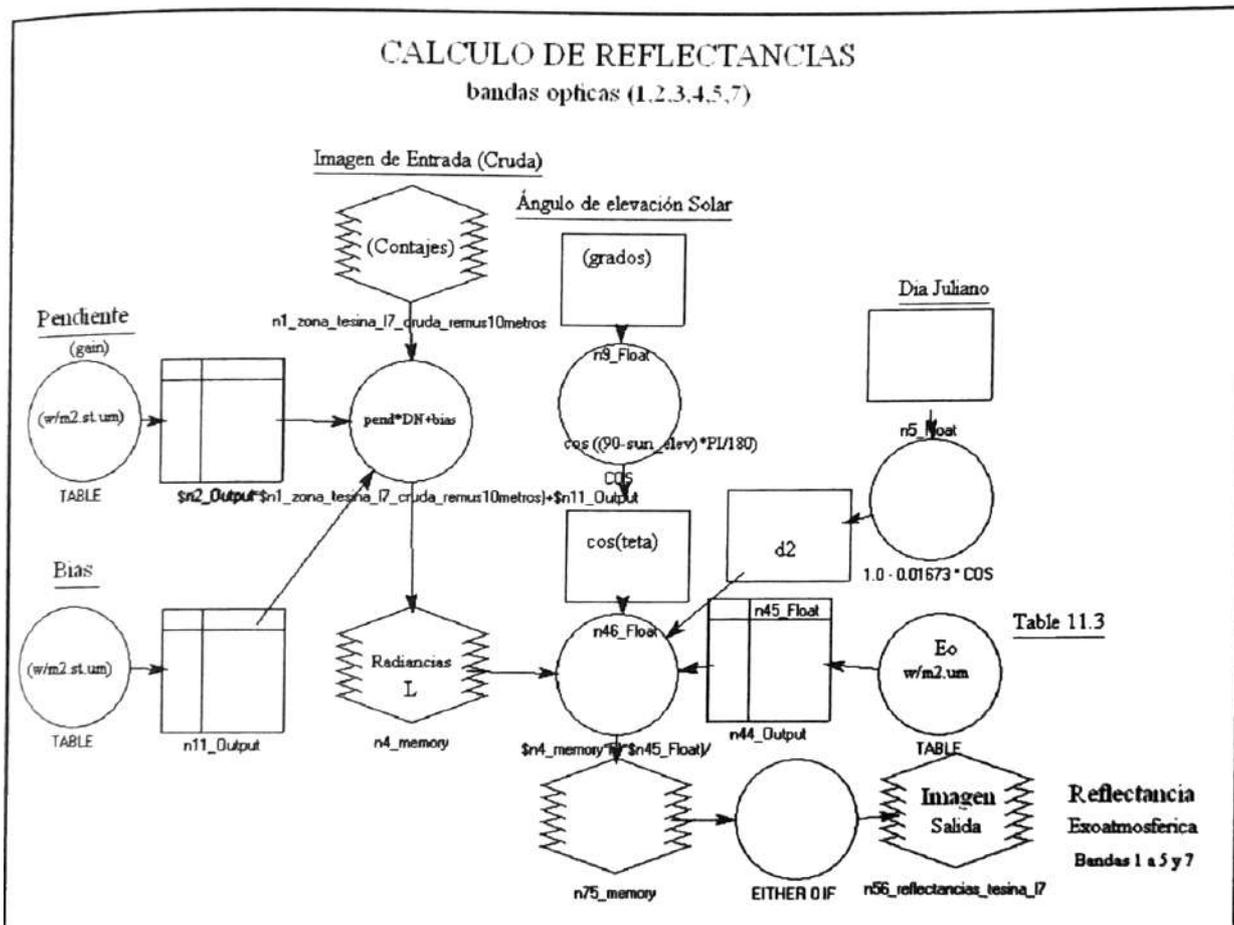


Figura 10. Diagrama de flujo del programa que se utilizó para el cálculo de reflectancias.

Luego de “correr” el programa citado (figura 10) se obtuvo una imagen de reflectancias (imagen de salida).

En la figura 11 se representa el histograma de la imagen cruda L7, y en la figura 12 el histograma de la imagen de reflectancias, luego de correr el programa, ambos representan la banda 4.

Pixels

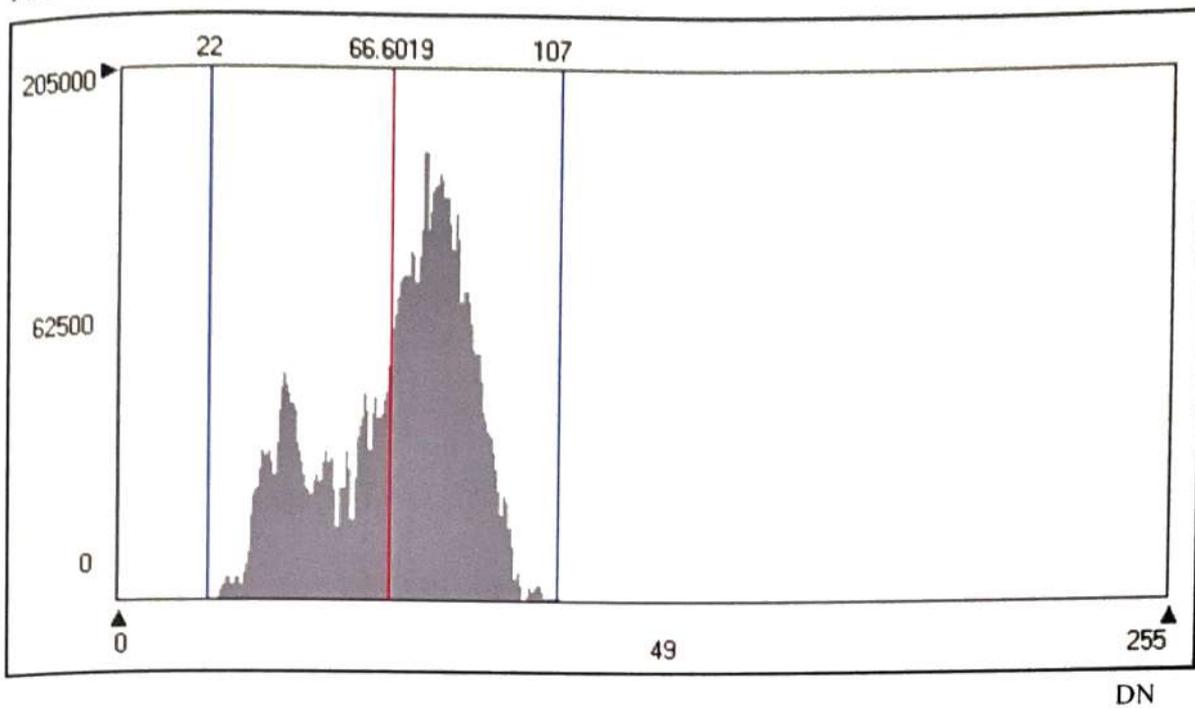


Figura 11. Histograma de la imagen L7 banda 4, sin ningún procesamiento. En el eje horizontal se representan los valores de DN. En el eje vertical la cantidad de *pixels*.

Pixels

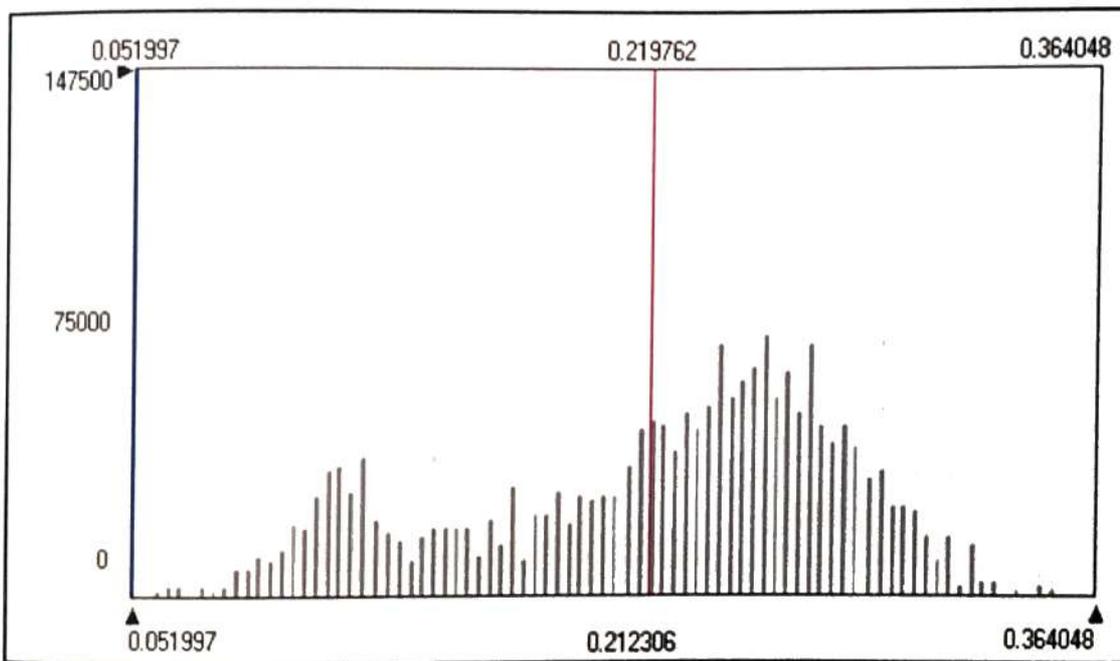


Figura 12. Histograma de la imagen L7 banda 4. En el eje horizontal se representan los valores de reflectancia, mientras que en el eje vertical la cantidad de *pixels*.

Luego de calcular las reflectancias, los valores de la imagen ya no son valores enteros como los DN originales, sino números reales.

Para trabajar con archivos menos pesados y continuar trabajando con números enteros, es habitual “re-escalar” los valores de reflectancia a 8 bits.

Las imágenes L5 y L7 se convirtieron en 8 bits multiplicando a las mismas por 400. Se utilizó un programa del IAFE disponible en el sitio <http://www.iafe.uba.ar/tele/> (figura 13). En la figura 14 se muestra el histograma de la imagen L7 (banda 4) “re-escalada” a 8 bits.

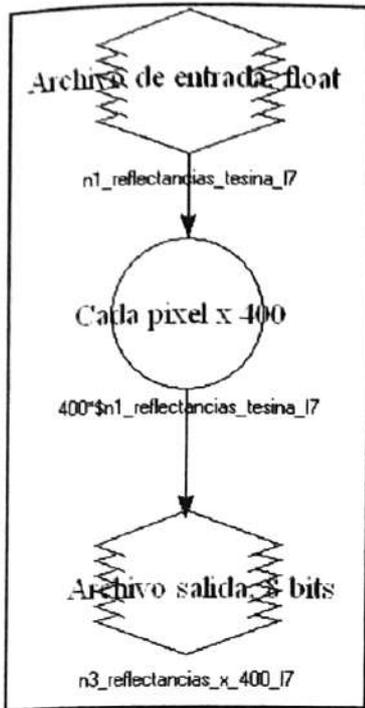


Figura 13. Diagrama de flujo del programa utilizado para “re-escalar” las imágenes.

Pixels

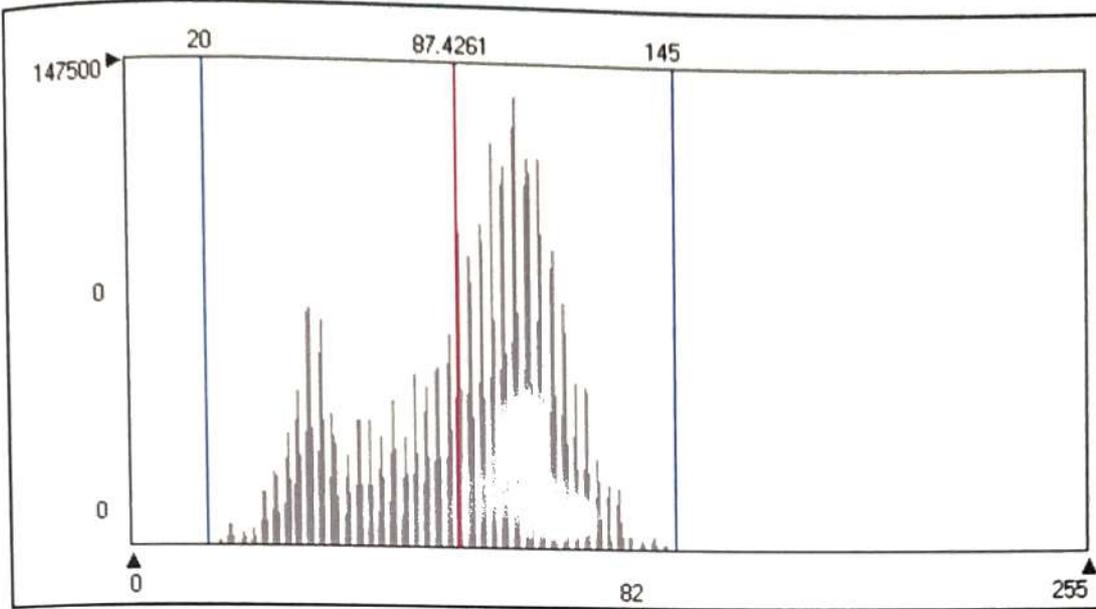


Figura 14. Histograma de la imagen L7 (banda 4) “re-escalada”. En el eje horizontal los valores de reflectancia se representan en 8 bits. En el eje vertical la cantidad de *pixels*.

7.5 Dispersión Atmosférica.

Las partículas presentes en la atmósfera inciden sobre el total de la radiancia medida por el sensor proveniente de la superficie terrestre. Estas partículas afectan de distinta manera dependiendo de su tamaño y la longitud de onda que tiene la energía electromagnética presente.

Utilizando un programa del IAFE (<http://www.iafe.uba.ar/tele/>) (figura 15) se calculó la dispersión Rayleigh. Este tipo de dispersión se da cuando la longitud de onda es mayor que el tamaño de la partícula. El programa resta los valores de dispersión Rayleigh para cada banda sobre la imagen de reflectancias.

Los valores de reflectancias restados para cada banda de las imágenes fueron calculados con el programa Rayrad <http://www.iafe.uba.ar/tele/>. Los parámetros que se ingresaron son los siguientes:

	Landsat 5	Landsat 7
Día juliano	98	117
Declinación solar	6.91 °	13.57°
Latitud central	-34.3°	-34.3°
Longitud central	-58.6 °	-58.56°
Hora GMT	13 h	13 h
Ángulo azimutal solar	51°	40.1°

Se obtuvieron los siguientes valores para la corrección por Rayleigh:

	Reflectancias Rayleigh L5	Reflectancias Rayleigh L7
Banda 1	0.042	0.039
Banda 2	0.021	0.019
Banda 3	0.011	0.011
Banda 4	0.004	0.004
Banda 5	0.000	0.000

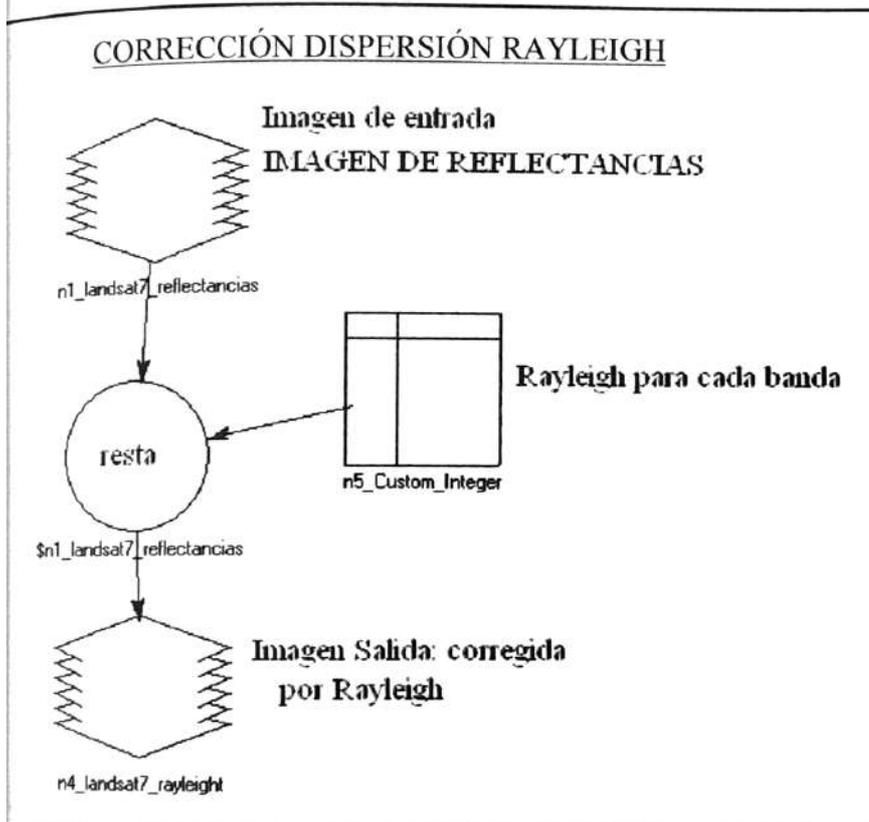


Figura 15. Diagrama de flujo del programa utilizado para la corrección Rayleigh.

En la figura 16 se muestra el histograma de la imagen L7 (banda 1) de reflectancias.

En la figura 17, el histograma de la imagen corregida por Rayleigh, también en la banda 1, que es donde toma mayor significancia este tipo de dispersión.

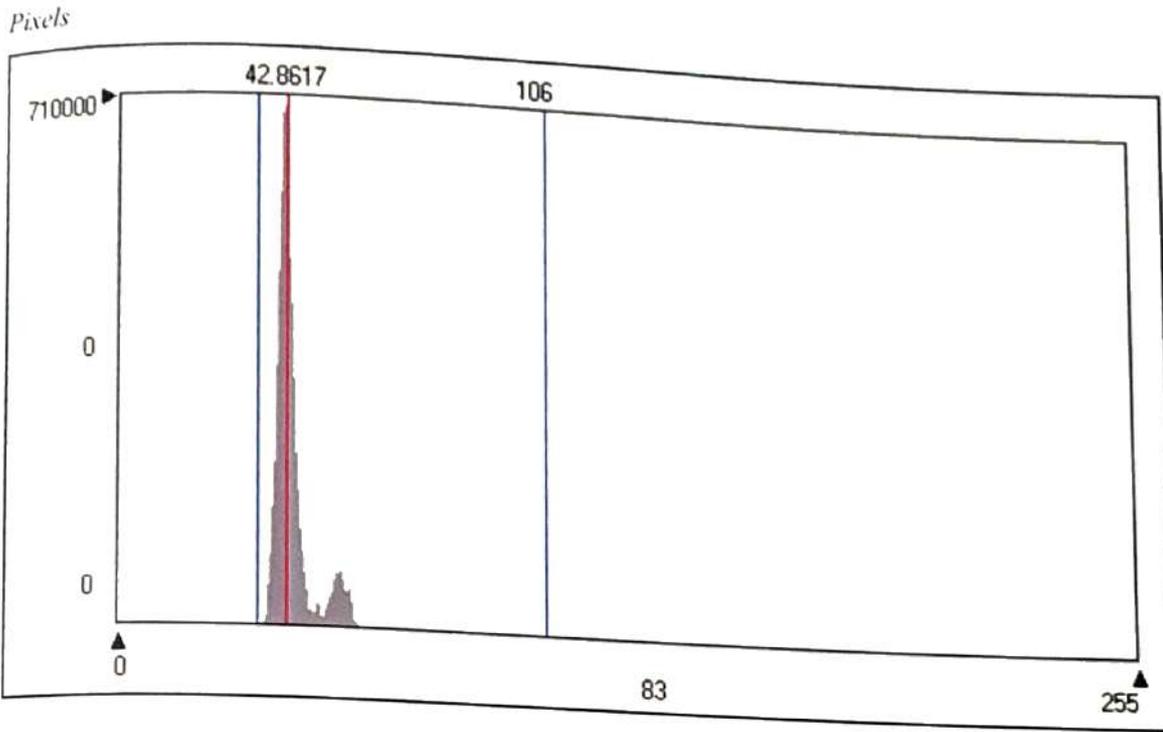


Figura 16. Histograma de la imagen L7, banda 1, En el eje horizontal los valores de reflectancia sin ninguna corrección. En el eje vertical la cantidad de *pixels*.

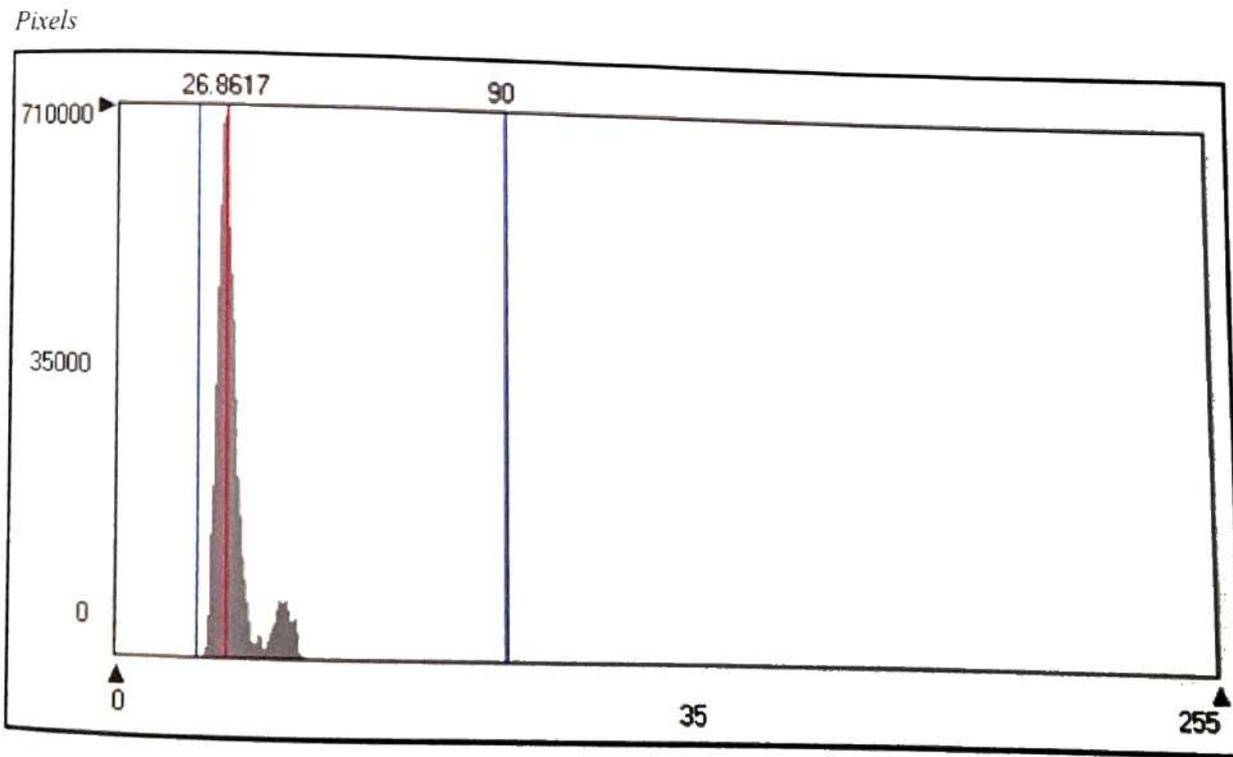


Figura 17. Histograma de la imagen L7, banda 1. En el eje horizontal valores de reflectancia corregidos por Rayleigh, mientras que en el eje vertical se representan los *pixels*.

7.6 Fusión de imágenes

La imagen Spot se tomó como información de base para confeccionar la cartografía porque es la que aporta mejor resolución espacial y está ligado directamente a la escala de mayor representación posible.

Por otro lado, al contar con la banda pancromática únicamente, la posibilidad de trabajar a color se ve limitada a la creación de un pseudo color. Otra alternativa para solucionar esta limitación consiste en combinar la información de distintos sensores, esta función se conoce como “*merge*”.

La ventaja de fusionar dos imágenes de distintos sensores es que conservando la mejor resolución espacial se puede generar una nueva imagen mejor en resolución espectral. En este caso se fusionaron las imágenes SPOT P (*pixel*= 10 metros) y la imagen Landsat TM (*pixel*= 30 metros).

Para fusionar ambas imágenes se realizó una suma algebraica de la imagen Landsat sobre la Spot. Los programas para tratamiento de imágenes permiten realizar sumas *pixel* a *pixel*. Estas operaciones se realizan sobre las matrices que componen la imagen digital.

La diferencia entre filas y columnas de cada imagen debido al tamaño del *pixel*, se tuvo en cuenta en el proceso de georreferenciación. Por ello, se remuestreó la imagen Landsat con una medida de *pixel* de 10 metros para poder sumar *pixels* de igual tamaño y matrices con igual cantidad de filas y columnas.

Como resultado de esta operación se obtuvo una imagen con un tamaño de *pixel* equivalente a 10 metros en el terreno y con 6 bandas distintas y por tanto, la posibilidad de realizar combinaciones en falso color compuesto. El resultado de este proceso se utilizó para componer un ejemplo piloto de carta imagen fluvial (9.3).

8 Detección de Cambios

El carácter digital de las imágenes satelitales propició que se desarrollaran técnicas para la detección de cambios que se producen en la tierra después de un cierto tiempo. Estas técnicas fueron desarrolladas en su principio para coberturas vegetales, donde habitualmente primero se realiza un índice de vegetación o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) con las imágenes de distinta fecha y se opera algebraicamente entre bandas con el fin de identificar los DN que han sufrido modificaciones en su valor.

La teledetección en ambientes costeros resulta particularmente complicada para su interpretación por los siguientes motivos:

El cauce del río puede variar en cortos períodos de tiempo.

La respuesta espectral en ambientes costeros es complicada de tipificar. El agua, según el grado de turbidez que presente, puede cambiar su respuesta notablemente en ciertas bandas.

El sector terrestre del sistema agua-vegetación que se cubre y descubre puede cambiar rápidamente su firma espectral. Estas fluctuaciones pueden ser causadas, entre otras, por agua de lluvia sobre la vegetación o el estado fenológico de la misma.

Las imágenes L5 y L7 están capturadas con 4 años de diferencia, ambas en el mes de Abril. Esta situación es favorable para compararlas ya que el ángulo de elevación solar es el mismo y el efecto de sombras es igual y no muy pronunciado, comparado con tomas en invierno.

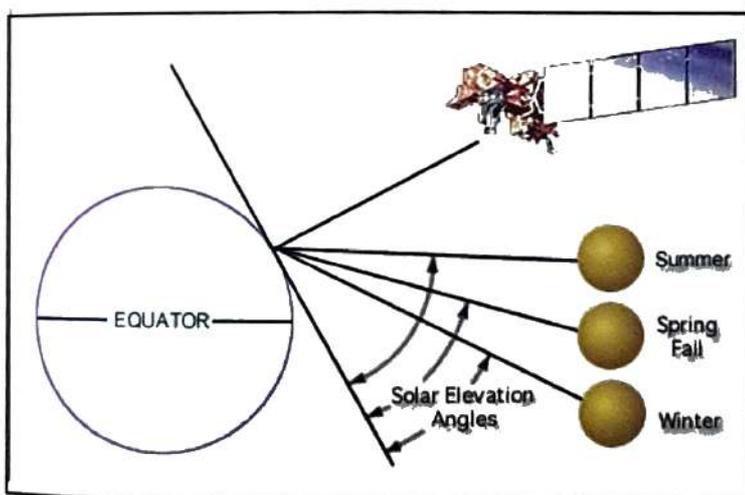


Figura 18 Diferencias en el ángulo de elevación solar según la época del año

http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter6/chapter6.html

Antes que describir las técnicas empleadas para la identificación de cambios sobre las dos imágenes Landsat, se describen las condiciones del río en el momento que se capturaron las imágenes.

Imagen Landsat 5, 8 de abril de 1997. En enero se produjo una crecida del Paraná gestada en el río Iguazú y en la región del Guaira (aguas arriba de Itaipú). Culminó en Rosario con un 5,55 m el 12 de marzo. Le siguió una fuerte bajante. Fue la 5º bajante en la historia de la escala de Rosario. Una situación como ésta no es frecuente. En este caso se potencia el efecto alterador que la secuencia crecida-bajante tiene sobre los procesos erosión-deposición, de efecto autolimpiante de los canales de navegación. El caudal base fluvial en el Paraná de las Palmas estaba normal el 8 de abril. A pesar de que abril suele marcar mayores fluctuaciones en el Río de la Plata. Registra varias de las máximas crecidas del Río de la Plata de la historia (Boruz, com.pers).

Imagen Landsat 7, 27 de abril de 2001. También se estaba tras el paso de la crecida estival. Esta vez ni la crecida inicial ni la bajada posterior tuvieron significancia estadística. La situación en el Delta era más estable. Hasta el 20 de enero el nivel del agua en los brazos de la cabecera del Delta se se encontraba muy bajo, quedando gran parte de la vegetación de las islas emergidas (Boruz, com.pers).

Estación de medición de Zárate:

Estación	8-4-1997	27-4-2001
Zárate	100	85

Es importante analizar la firma espectral del agua, determinar cuáles son las características espectrales de los diferentes tipos de ambientes presentes en la imagen, para evaluar en qué región del espectro electromagnético se discrimina mejor el agua de otras coberturas presentes.

El agua, cuando interactúa con la energía electromagnética en longitudes de onda del espectro visible, absorbe casi toda la energía incidente y sólo refleja una cantidad mínima en la región azul del espectro.

La vegetación tiene un comportamiento espectral casi opuesto al agua. Por ello distinguir estas dos coberturas en condiciones normales o con cuerpos de agua estables resulta sencillo.

8.1 Composiciones Multitemporales

Es un método de análisis visual para detectar cambios en la composición de una imagen multibanda en donde cada una de estas contenga una escena con distinta fecha.

Con el propósito de realizar una composición multitemporal, las imágenes L5 y L7, después que se realizaron todas las correcciones geométricas y radiométricas, se juntaron en un mismo archivo. De esta manera se aplicó la siguiente combinación de bandas:

Rojo banda 4 L7

Verde banda 4 L5

Azul banda 4 L5

La banda 4 en el sensor TM corresponde al infrarrojo cercano y es la que mejor separa agua-tierra.

En la figura 19, se muestra el resultado de la composición multitemporal. Se observa en tonos celestes, sobre la línea de costa, las zonas donde hubo modificaciones en los valores de ND. Esto no implica, indefectiblemente, se halla producido un cambio en el terreno. No obstante, para la zona del recuadro amarillo, puede ser un indicador de posibles cambios en la deposición de sedimentos o vegetación no flotante.

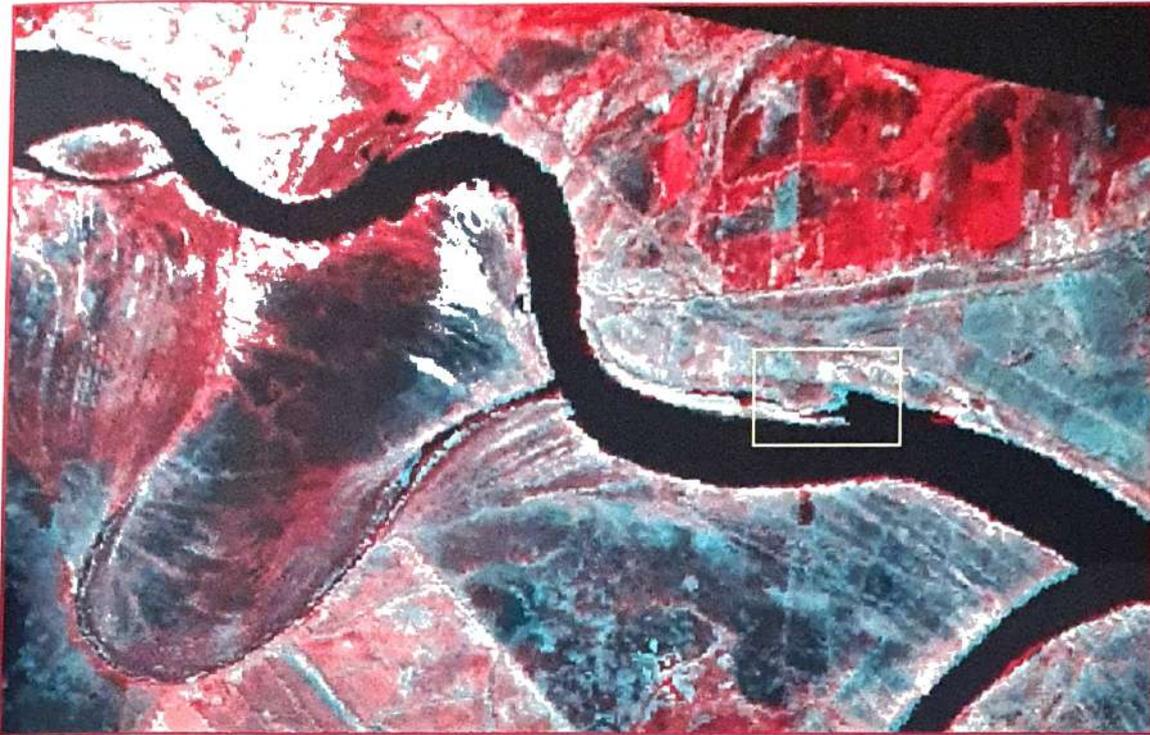


Figura 19. Resultado de la composición multitemporal.

8.2 Detección automática de cambios

Otro método para identificar cambios es aprovechando el carácter digital de las imágenes. Es decir, se aplican ciertos algoritmos para generar en forma automática una nueva imagen que resalte las diferencias.

Se utilizó el módulo *Change detection* del programa *Erdas* como ejemplo de un procedimiento automático para identificar cambios. En esta función se ingresan las dos imágenes de distinta fecha y se obtiene una nueva imagen temática dividida en clases. Cada una de estas clases representa el nivel de cambio entre ambas imágenes. Esta aplicación del programa efectúa una comparación de los DN (*pixel a pixel*) en cada una de las imágenes con distinta fecha. Si durante la comparación detecta diferencias mayor a un valor preestablecido por el operador, en la imagen de salida se representa con un color distintivo para los *pixels* que han incrementado. Asimismo, se representa con un color diferente para las clases que durante la comparación de ambas imágenes decrecen o permanecieron iguales los DN.

Se aplicó la función *Change-Deteccion* en una sub-imagen de la figura 3, sobre el Río Paraná Guazú. En este caso, se estableció valor de 12 para determinar cambios en las diferencias de DN. Se utilizó la banda 4 en ambas fechas como dato de entrada de la operación.

El resultado (Figura 20) es una imagen donde figuran en verde los valores que decrecieron y en rojo los que crecieron. Mientras que, en negro figuran los que no sufrieron cambios. La mancha roja en el cuadrante inferior izquierdo corresponde a una nube presente en la imagen L5. Por otro lado, el recuadro amarillo corresponde a la misma área señalada en el Figura 19.

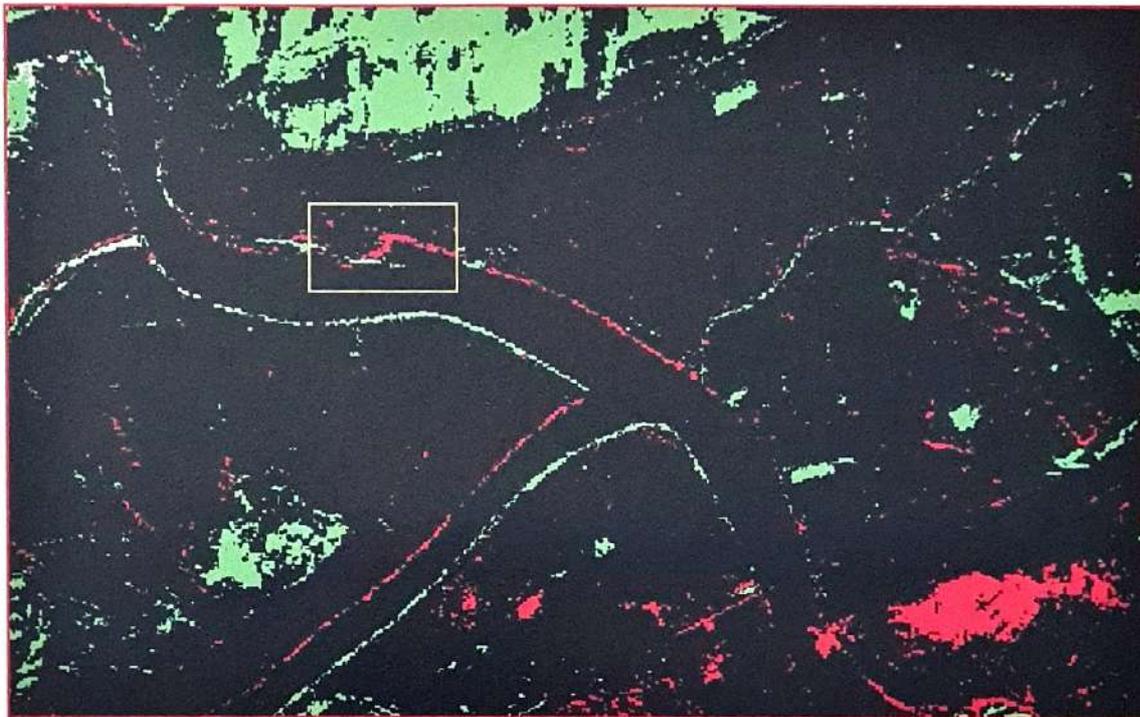


Figura 20. Imagen resultante luego de aplicar la función *Change Detection* con las imágenes L5 y L7.

8.3 Imágenes de alta resolución.

Estas imágenes que actualmente existen en el mercado, como por ejemplo, las Ikonos o Eros contribuyen enormemente para este análisis en la detección de cambios.

En primer lugar, porque los niveles de resolución espacial brindan información más certera, ya que cada *pixel* promedia la radiancia de menor cantidad de superficie del terreno, reduciendo así la posibilidad de promediar dos coberturas distintas.

En segundo lugar, permiten trabajar a escalas en las que se puede realizar análisis visuales al mismo nivel que la fotointerpretación convencional para vuelos a baja altura.

Una de las limitaciones técnicas actuales de los sensores de muy alta resolución espacial, es su escasa resolución espectral.

En la Figura 21 se observa la Imagen Eros del Río Paraná de las Palmas (banda pancromática, 1.80 de resolución espacial), donde se pueden identificar claramente la fisonomía de un buque, las sombras de las nubes, y las diferentes texturas que presenta el agua.



Figura 21. Recorte de una imagen Eros en el Río Paraná de las Palmas.

9 Las imágenes en la Cartografía Náutica Fluvial

La utilización de las imágenes en la cartografía náutica fluvial resultará novedosa, pues aún no se ha implementado esta técnica para ninguna publicación oficial Argentina.

Como herramienta para cartografía significa un aporte importante en la interpretación de los sectores costeros y terrestres. Es decir, la imagen satelital da una visión más real de ciertos accidentes geográficos, como por ejemplo, en la identificación de afluentes o riachos que confluyen al río principal, que en la imagen tienen su fisonomía y tamaño exacto ya que no se le aplica ningún tipo de generalización cartográfica.

Por otro lado, las islas y bancos del río, al ser mapeados a través de la imagen satelital, y con una leyenda apropiada, mejora la identificación de este tipo de accidentes geográficos presentes en el mapa .

Otra de las ventajas al emplear teledetección en la cartografía fluvial está ligada a la precisión que nos proporciona esta técnica.

La utilización de sensores de alta y media resolución espacial, permite mejorar la calidad métrica en la totalidad del documento Cartográfico y también la posibilidad de aumentar la escala total del mapa.

Cada vez son más las ventajas que ofrecen los sensores de alta resolución, debido a que el ancho de barrido en las imágenes satelitales no disminuye tanto en relación con la resolución espacial que aumenta considerablemente. Ejemplo, imágenes Spot 5 de 2.5 ó 5 metros de resolución espacial, conservan un ancho de barrido de 60 km. Estas imágenes permiten agrandar la escala de trabajo para la representación de los puertos o pasos determinantes.

Para la cartografía fluvial, los factores más relevantes en el momento de captura de la imagen son: estado del río y condiciones meteorológicas. El primero consiste en determinar si las aguas al momento de la toma de la imagen se encuentran en una creciente o una bajante. Para poder comparar imágenes multitemporales se debe tener en cuenta cual es la situación en ambas imágenes.

En principio, es importante determinar si las aguas del río no se encuentran en una gran creciente en el momento de capturar las imágenes. Cuando sucede un fenómeno de este tipo, luego de un cierto período se comienza a visualizar los cambios que se producen sobre el cauce del río.

El caso ideal para comparar imágenes se da cuando en ambas fechas hay una bajante, donde se puede identificar por donde escurren las aguas normalmente.

Una publicación del servicio geológico de los E.E.U.U. (*United State Geological Survey, USGS*) recomienda la selección de imágenes con aguas bajas en ambas fechas para facilitar la interpretación en zonas intermareales (*Procedures in selection, registration, normalization and enhancement of satellite imagery in coastal wetlands, 2002*).

Cada decímetro adicional de agua contribuye a una pérdida de la identificación del 1 a 1.5 % en zonas intermareales, (Jensen, 1993) . El dato documentado por Jensen es para zonas costeras marinas. Seguramente con distintas estadísticas el cubrimiento de las aguas sobre los ríos de llanura es significativo, ya que en zonas de poca pendiente, las aguas pueden tomar distintos recorridos para escurrir.

Para determinar qué imagen es la más indicada, es aconsejable analizar una serie de imágenes de la zona y realizar un análisis geomorfológico del área con un especialista en fotointerpretación que conozca la zona de trabajo.

Las condiciones meteorológicas tienen doble importancia. Por un lado, la cobertura nubosa densa elimina la posibilidad de procesamiento, con fines cartográficos, para imágenes ópticas multiespectrales. La Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) cuenta con un catálogo de imágenes disponible en su sitio Web, en el mismo se ofrece una vista previa de las imágenes y además se divide la misma en cuatro cuadrantes para asignarle un índice de nubosidad de 0 a 9. Durante el periodo 2000/2001 para los sensores Landsat 5 y 7, la CONAE ofrece 27 imágenes “bajadas” del satélite con pocas nubes.

Por otra parte, las condiciones meteorológicas influyen sobre el estado del río, pudiendo ocasionar crecientes o bajantes asociadas a fenómenos de tormenta como una Sudestada o Pampero.

Para los ríos de la Cuenca del Plata se presentan diversas situaciones, habiendo zonas donde los ríos perciben la influencia de marea del Río de la Plata (ondas de tormenta). Otros sectores no reciben esta influencia y responden a un régimen propio.

9.1 Integración en un Ambiente SIG

Los datos geográficos, agregados a las imágenes, que se dispuso para elaborar la carta imagen fluvial son:

- Batimetrías que abarcan desde el km 49 al 57.5 y desde este último a al km 65.
- Listado con las posiciones del boyado y balizamientos en la zona de aplicación.

En un programa SIG se integraron estos datos en un mismo entorno de trabajo. Una característica de estos programas, es su capacidad para representar datos gráficos georreferenciados de distinto formato dispuestos en niveles de información (capas o *layers*).

En la capa inferior, se colocó la imagen resultante de la fusión de los datos del sensor Landsat ETM y Spot 1 (descrita en 7.2), por tanto, figura como fondo de toda la información que se superponga. Se utilizaron las bandas 7,5,3 para la representación en la carta. La vegetación toma un color verde intenso y el agua queda representada en color azul. No es un color verdadero pero es fácil de discriminar, y son colores que convencionalmente representan estas coberturas.

Por encima de la imagen, se superpusieron los datos batimétricos ya mencionados, obtenidos con una sonda ecoica y con apoyo de instrumental DGPS durante una campaña hidrográfica.

Las batimetrías fueron facilitadas en formato *ASCII* y sin procesamiento alguno. Se procesó el listado de coordenadas x, y, z en un programa específico para el tratamiento de datos hidrográficos llamado *Hypack*.

Este programa realiza una selección inteligente de sondajes, lo cual permite reducir la densidad de datos para representar en el mapa. Para ello se define la separación en mínima que van a tener los sondajes, en milímetros y a la escala del mapa. “El programa lee el primer archivo de datos. Selecciona la profundidad más baja disponible y la salva en un archivo temporal. Luego busca en los demás sondajes y rechaza todo aquel que caiga dentro de la distancia de protección especificada por el radio o los dx,dy. Luego prosigue seleccionando la profundidad más baja de los datos del resto de los sondajes y lo salva en un archivo temporal, asimismo continúa rechazando todos los sondajes que caigan dentro del área de protección especificada. Este procedimiento continúa en forma repetida hasta que todos los sondajes son salvados en el archivo temporal o rechazados” (Hypack, 1997).

Con los datos batimétricos disponibles se definió una área circular de 200 metros de diámetro (en el terreno) para rechazar sondajes. El resultado de esta operación, denominada *sorting* produjo una disminución de 5679 a 241 sondajes.

En cuanto al boyado y balizamiento se partió de un listado de coordenadas con las posiciones donde se insertó el símbolo correspondiente. Para ello se generó una tabla de base de datos (tabla 1) con las siguientes características:

Tabla 1. Base de datos.

KM	TIPO DE SEÑAL	DESTELLOS	CARÁCTER.	X	Y
49,7	Lateral verde	Des.(2)c/8s	PRR	6203249	5637450
49,7	Lateral roja	Des.(2)c/8s		6203408	5637574
50,6	Lateral verde	Des.(3)c/12s		6203720	5636770
50,6	Lateral roja	Des.(3)c/12s		6203980	5636853
51,4	Lateral verde	Des.(4)c/16s	PRR	6204043	5635963
51,4	Lateral roja	Des.(4)c/16s		6204254	5636030
53,3	Lateral verde	Des.(1)c/4s		6204310	5634140
53,3	Lateral roja	Des.(1)c/4s	PRR	6204550	5634190
53,7	Negra y amarilla	VQ	Cardinal	6204358	5633623
54,3	Lateral verde	Des.(2)c/8s		6204695	5633125
55,7	Lateral verde	Des.(3)c/12s		6205425	5631895
55,7	Lateral roja	Des.(3)c/12s		6205660	5632029
57,6	Lateral verde	Des.(4)c/16s		6206360	5630227
57,6	Lateral roja	Des.(4)c/16s		6206600	5630359
58,0	Baliza roja verde roja	Des(2+1)c/8s	C.Preferido	6206889	5630037
63,8	Baliza verde roja verde	Des(2+1)c/8s	C.Preferido	6207956	5624285
63,8	Baliza roja verde roja	Des(2+1)c/8s	C.Preferido	6208483	5624511

Los campos X e Y de la tabla constituyen el par de coordenadas donde se ubica geográficamente el elemento descripto. A través de estos campos el *software* permite incorporar automáticamente un elemento de punto para cada registro de la tabla y agrupados en una sola capa.

De esta manera, se mantiene un vínculo entre la información gráfica y la información tabular. Sobre estos puntos generados, el programa tiene una variedad de símbolos e iconos puntuales para armar una leyenda personalizada. Para representar el boyado y balizamiento se incorporó una simbología propia a las opciones que trae el programa por defecto.

Como no se disponía de información digital ni georreferenciada de los topónimos, estos fueron incorporados por teclado como elementos de texto sobre el mapa. Se tuvieron en cuenta los antecedentes de las publicaciones del SIHN.

9.2 Actualización Cartográfica y SIG

Los ríos de llanura cambian periódicamente su recorrido. “El lecho de los cursos de agua aluvial como ríos y estuarios, esta compuesto de material granular. Estos sedimentos pueden ser transportados por el flujo de la corriente de agua, cuando las velocidades de la corriente son suficientemente grandes. Las alteraciones de las velocidades de la corriente, ya sea causados por la naturaleza (verano _ invierno) o por interferencias artificiales construidas por el hombre, las cuales alteran las condiciones naturales (construcción de estructuras en el curso de agua) influirán en la magnitud de transporte de sedimentos produciendo una erosión del lecho del río en algunas partes y sedimentación en otras” (SIHN inf.ind, 1982).

Los pasos determinantes son zonas donde las profundidades disminuyen. En general, en estas áreas, el río se ensancha, su sección transversal aumenta y como el valor del caudal se mantiene constante, la velocidad de la corriente del escurrimiento disminuye, produciéndose la decantación por parte del material que era acarreado por el agua, (Larralde, 2000).

El paisaje en torno al cauce sufre modificaciones y, por distintas causas, con los métodos convencionales de fotografía aérea no ha logrado tener una actualización permanente.

Ante esta situación, se debe tener en cuenta que las plataformas satelitales helionsincrónicas tienen la virtud de relevar el terreno periódicamente (que varía según las características de cada misión).

La manera más apropiada de implementar las actualizaciones para la cartografía náutica está siendo evaluada por los servicios hidrográficos de varios países, no sólo en cuanto a la llegada al público de las correcciones, sino en la sistematización de la actualización de las cartas náuticas digitales ya producidas:

“El rápido aumento de la disponibilidad de imágenes comerciales de alta resolución proporcionará a los procesadores de imágenes un mundo nuevo de materias primas. La Agencia Nacional de Imágenes y Cartas (NIMA), de los Estados Unidos, utiliza las imágenes para lograr dos objetivos generales: 1) la mejora de los productos actuales de navegación marítima (digital y papel) y 2) el desarrollo de un prototipo de

productos marítimos (o de prueba o de concepto). La primera de estas misiones se dirige sobre todo hacia el mantenimiento de Cartas Náuticas Digitales (CND). Aunque este mantenimiento es logrado actualmente mediante el uso de nuevas ediciones de cartas raster y aplicando correcciones de los Avisos a los Navegantes a los datos vectoriales, se están desarrollando en la actualidad ciertos procedimientos para usar las características extraídas de imágenes en la actualización directa de las CND” (Turnbull, 2001).

Teniendo en cuenta esta capacidad de obtener datos geoespaciales en muy poco tiempo, y el volumen de información que esto implica, los sensores ópticos multiespectrales constituyen una herramienta potente para el monitoreo y actualización de algunas correcciones que se deben efectuar en cartografía náutica fluvial argentina. Es posible confeccionar en base a los datos satelitales una carta imagen fluvial actualizada con los cambios que se presentan en el cauce o recorrido de los ríos que componen la ruta troncal de navegación. Es decir, se puede actualizar el ancho del río, trazando su línea de costa. También, se puede actualizar la representación cartográfica de fenómenos como, por ejemplo, juncales, islas y bancos que emergen, etc. Este tipo de actualización requiere de un análisis que puede ser digital y/o visual.

En un programa tipo SIG, como el utilizado en el presente trabajo con la imagen satelital de fondo, es muy sencillo agregar una nueva capa o *layer* correspondiente a la última imagen procesada y sustituirla por la imagen con fecha anterior.

Resulta práctico, en el proceso de actualización, la incorporación de una capa o archivo que contenga los datos actualizados de batimetría correspondientes a último levantamiento hidrográfico realizado.

Asimismo, la actualización de elementos de interés para la navegación, como boyado, balizamiento, fondos sucios, barcos hundidos, etc. como se describió en 9.1, es muy fácil cuando se cuenta con la información georreferenciada de la corrección, ya que ésta es ejecutada de forma puntual sobre el mapa sin modificar el resto de los elementos.

La teledetección espacial es una fuente de información valiosísima para actualizar la cartografía fluvial, pero no implica una solución total en el relevamiento de la información que incluye una carta imagen fluvial. Aunque a través de la teledetección se pueden deducir profundidades aproximadas en aguas someras, indefectiblemente el

origen de la batimetría para la cartografía náutica debe ser una campaña hidrográfica con ese fin.

Si se presentan modificaciones en un paso luego de una gran crecida, el proceso de actualización comienza cuando alguno de todos los sensores ópticos que se consideren aptos para dicho trabajo se obtenga una imagen libre de nubes.

Aún sabiendo que el factor meteorológico puede “jugar” en contra, estos valores, son suficientes para lograr una actualización cartográfica planificada y mejorada de regiones fluviales si se considera que:

- 1) algunos sectores han sido relevados una sola vez con vuelos fotográficos.
- 2) las actualizaciones mediante gráficos o dibujos del tipo croquis son imprecisas y por tanto, sus correcciones también lo serán.

Un esquema para la implementación del uso de la información satelital para producir y actualizar cartografía podría ser el siguiente (Figura 22):

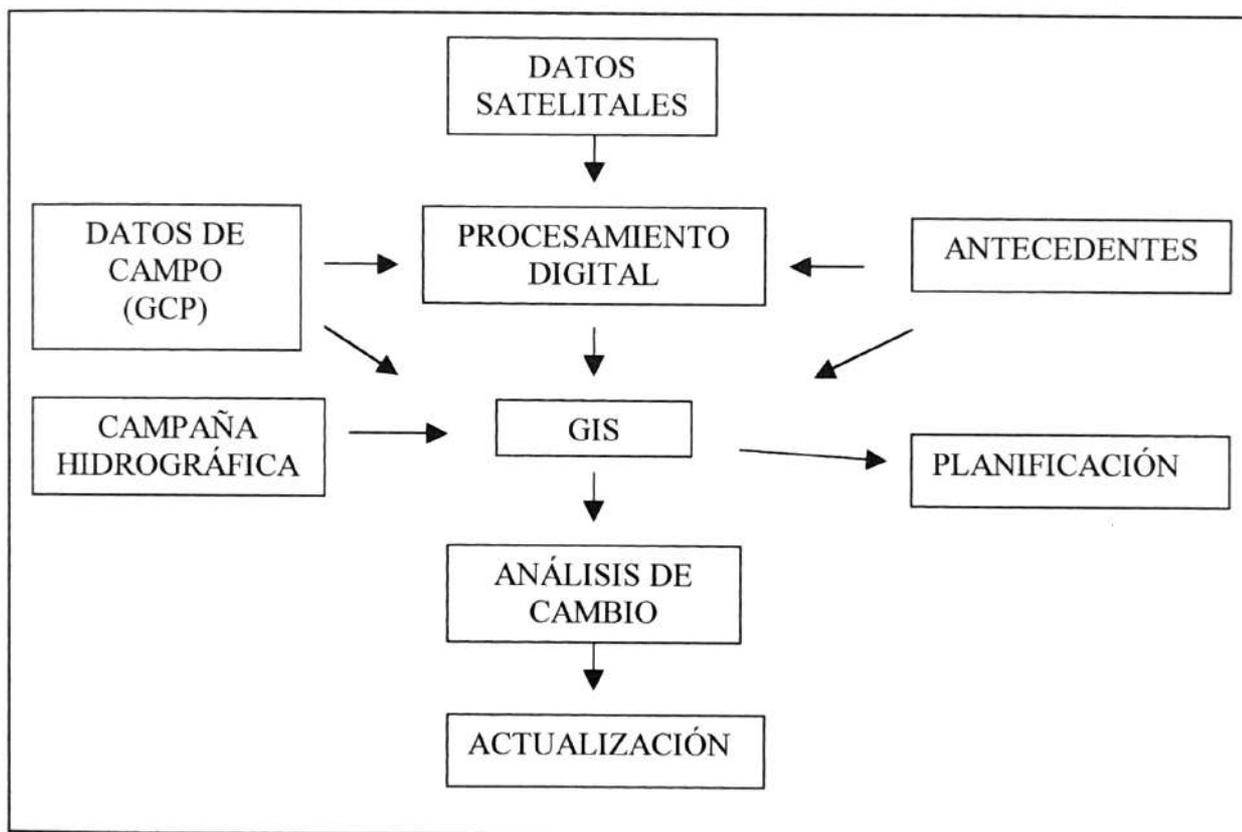


Figura 22. Diagrama para la utilización de datos satelitales en la cartografía fluvial.

El producto desarrollado (9.3), está entendido en su concepción para generar un mapa en el cual el proceso de actualización sea lo más eficiente y rápido posible. El

estudio multitemporal o monitoreo que supone la actualización cartográfica, implica trabajar con gran cantidad de datos.

Los paquetes de programas tipo SIG facilitan las operaciones para manipular y almacenar los datos georreferenciados en forma ágil y rápida. Es posible realizar un mapa en base a imágenes con un programa del tipo *desktop* o de escritorio, como el *ArcView 3.1* (utilizado en el presente trabajo) para una región acotada e ínfima comparado con lo que representa la cartografía fluvial en la Argentina.

La situación es muy distinta si se trabajara un volumen de datos más grande y “pesado”, como los que harían falta para cartografiar con información actualizada los principales ríos navegables de la Cuenca del Plata. En este caso los volúmenes de información, generan problemas para su almacenamiento, y los datos deben ser consultados por varias personas de manera rápida, sencilla y simultánea. Una base de datos geográfica o *Geodatabase* sería apropiado para administrar la cantidad de datos que implica la cartografía náutica fluvial en la República Argentina.

Las bases de datos geográficas permiten almacenar múltiples formatos de datos (raster-vector) dentro de lo que en inglés se denomina *Data Base Managment System* (DBMS) (working with the Geodatabase, 2002) o sistema de gestión de base de datos. Estos sistemas permiten gestionar los datos utilizando un motor de base de datos desarrollado para grandes volúmenes de información (*SQL, Oracle*).

De esta manera, la información tabular asociada a los datos geográficos puede ser vinculada con bases de datos externas, aprovechando todas las ventajas del modelo de las bases de datos relacionales.

Los SIG, una vez capturados los datos geográficos, aceleran los procesos en la actualización cartográfica. El hecho de contar con los datos espaciales en formato digital y georreferenciados permite superponer y desplegar en forma automática las distintas capas de información. A su vez, facilita el archivo histórico-técnico para el estudio y monitoreo de los cauces, como también para planificar las regiones más necesitadas para su actualización.

La agencia de los E.E.U.U. *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), recientemente ha desarrollado una extensión gratuita para los programas *Arcview 3.x, ArcGIS 8* e *Imagine 8* que permite visualizar cartas náuticas en formato BSB (*Nautical Chart Viewer for Arcview 3.x, ArGis 8 and Imagine 8, 2002*).

Esta extensión permite explorar las cartas con la información georreferenciada y superponer otras capas de información. Esta nueva aplicación facilita notablemente el estudio multitemporal.

9.3 Carta Imagen Fluvial – Ejemplo Piloto

Se confeccionó una Carta Imagen fluvial (ejemplo piloto) con los datos imagen procesados en 7.1, y con el conjunto de datos geográficos integrados en el punto 9.1.

La escala de la carta es 1: 25.000 ya que es el límite de mayor escala para una resolución espacial de 10 metros proporcionada por el sensor Spot 1 utilizado en el presente trabajo.

El área de aplicación fue el de la figura 3. Para la confección del mapa se trabajó con el programa *Arcview 3.1*, que además de permitir integrar datos georreferenciados, también permiten confeccionar mapas con los datos geográficos ingresados.

Se utilizó la proyección Gauss Krüger, elipsoide internacional 1909 y el datum horizontal Campo Inchauspe ya que la mayoría de información de base se encontraba en esa proyección y sistema de referencia, lo cual facilitó la superposición de las distintas capas de información.

Como se mencionó en 9.1 la imagen constituye el fondo de la carta, a la cual se le superpusieron los datos batimétricos, boyado, balizamiento, y simbología apropiada para representar elementos de interés para el navegante. Se incorporaron los topónimos de los principales ríos.

Se construyó una grilla sobre la imagen indicando la coordenadas planas correspondientes a la proyección Gauss Krüger. También se indicó, en el marco de la carta, las coordenadas geográficas.

Para el diseño cartográfico, por un lado se tuvo en cuenta la configuración que normalmente figuran en una carta imagen, y por el otro se consideró la leyenda que normalmente se utiliza en mapas fluviales. El resultado de estos procedimientos se adjuntan al final del trabajo (en soporte magnético), con el nombre de Carta Imagen Fluvial. Una reducción de la Carta Imagen Fluvial se representa en forma apaisada en la figura 23.

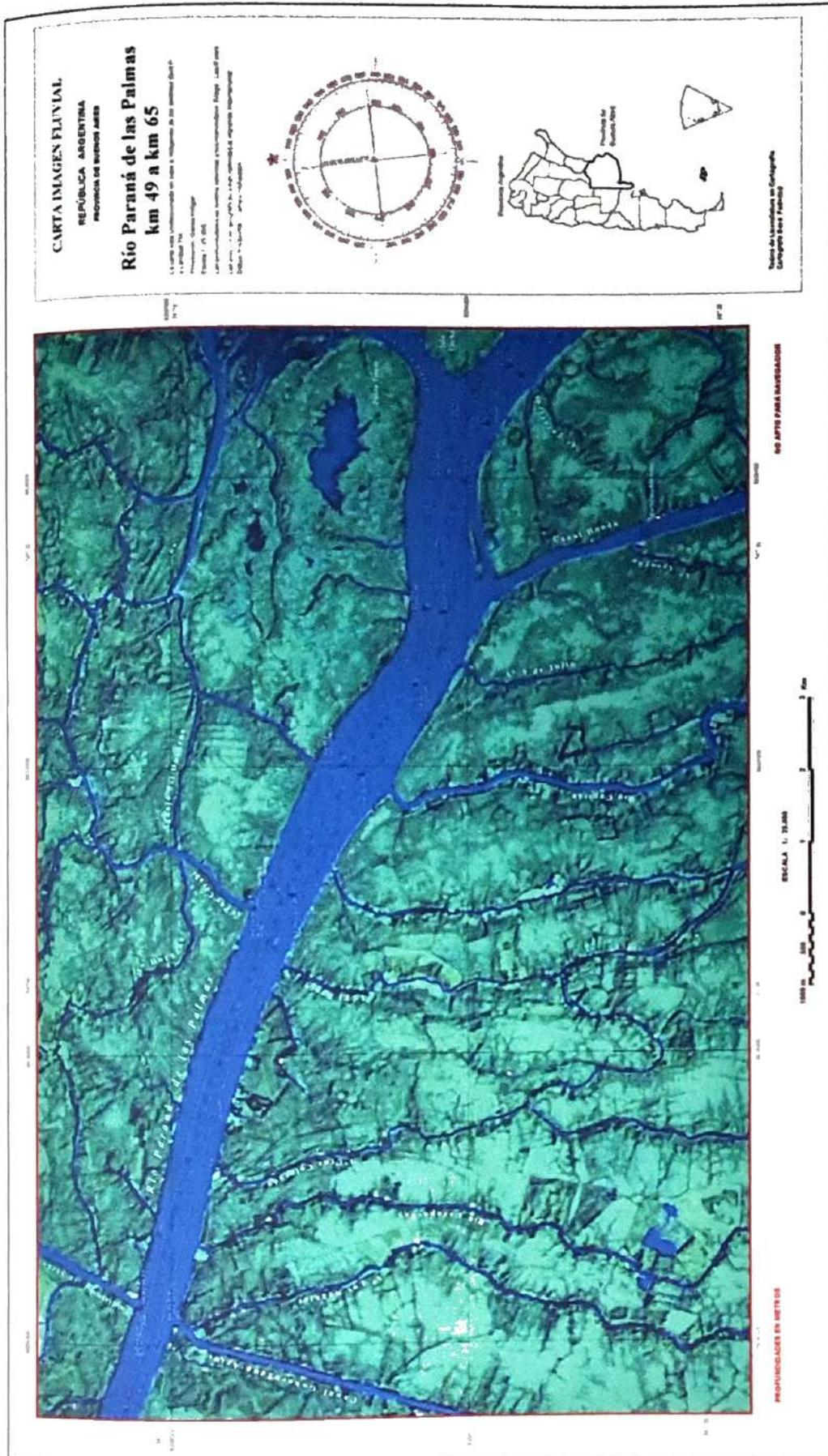


Figura 23. Reducción de la carta imagen fluvial – ejemplo piloto.

10 Navegadores

Los datos de la superficie terrestre captados por sensores óptico electrónicos son generados en formato raster. El producto cartográfico que se genera en este mismo formato permite ser utilizado en un programa tipo navegador. No es novedad las ventajas que implica el uso de sistemas computarizados para la navegación costera y marítima en aguas abiertas. Ahora bien, no menos importante resulta la incorporación de estos sistemas aplicados para la cartografía fluvial (donde todavía no se encuentra disponible, por lo menos oficialmente por el organismo a cargo de la cartografía náutica), y más aún en una carta imagen fluvial.

Un producto cartográfico como el obtenido en el apartado 9.3, en formato digital y georreferenciado, permite ser incorporado en un programa de navegación automatizada, siempre que se encuentre en un sistema de proyección y de referencia compatible con el programa.

Los sistemas de navegación, conectados con un posicionador satelital, tienen la capacidad de graficar en tiempo real, sobre el mapa utilizado como referencia, la evolución del buque (valiéndose de un icono con forma de barco).

La carta imagen desarrollada (9.3) se exportó en un formato gráfico. Luego se importó y calibró en el programa de navegación *Ozi-Explorer*. Para la calibración o georreferenciación se utilizaron los puntos de coordenadas conocidos de la grilla cartográfica.

En la figura 24 se muestra la navegación simulada con la producto obtenido en 9.3.

En caso de visibilidad nula producto de tormentas o neblinas, el buque de todas maneras puede conocer su posición con certeza y de esta manera, elegir una derrota o zona de amarra segura. Utilizando esta técnica de navegación, también puede optarse por realizar una navegación a ciegas y utilizando la radio como elemento de apoyo para encarar los pasos determinantes (dependiendo del riesgo asumido por el capitán), (Fernández, com. pers). Otra de las situaciones críticas que puede darse es la pérdida de referencias producto de una gran creciente. En esta circunstancia un timonel bien entrenado puede desorientarse, al no poder discriminar los elementos paisajísticos que normalmente vería y que se encuentran cubiertos de agua (Fernández, com. pers).

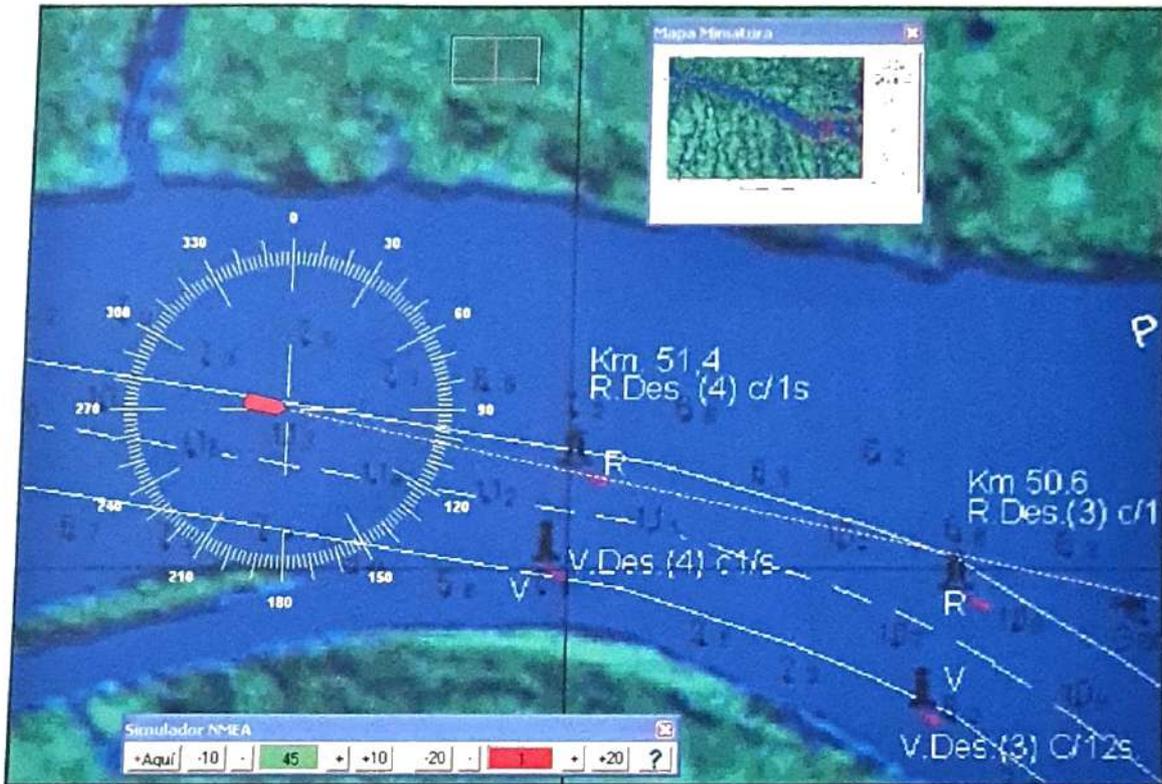


Figura 24. Navegación simulada con la carta imagen procesada.

En la figura 25 , se muestra un buque varado y abatido por la corriente el día 18-09-2002. En azul la derrota trazada por un barco que si poseía un sistema de navegación y cruzó el paso sin inconvenientes.

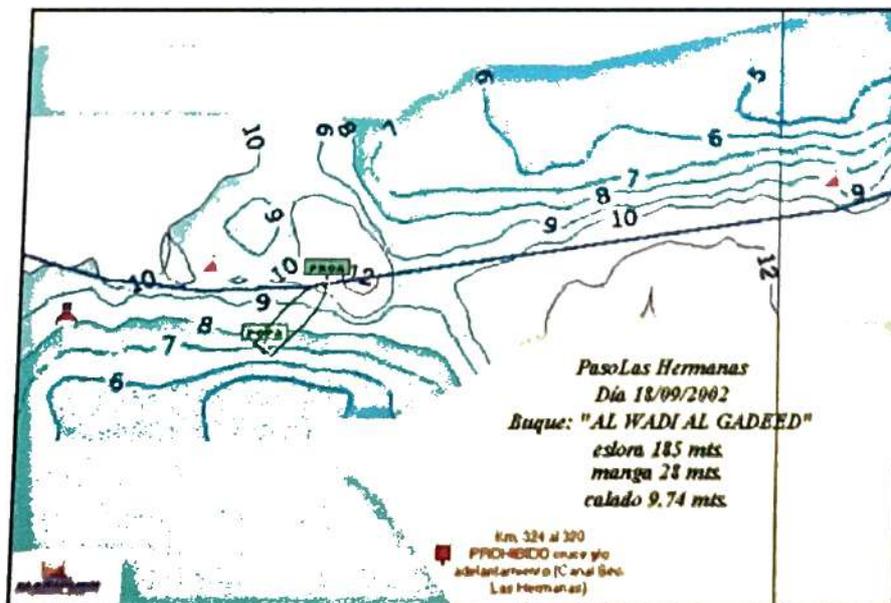


Figura 25, Maripuer S.A., Inédito.

11 Conclusiones

Las carencias en la actual cartografía náutica fluvial resultan evidentes, y la falta de recursos técnicos y económicos para mejorarla aparecen como principal obstáculo.

No todas las imágenes son útiles para generar una carta imagen fluvial, debido a la presencia de nubes y grandes crecientes. De todas maneras, los cortos períodos de revisita que poseen las plataformas heliosincrónicas, sumado a la gran diversidad de sensores que existen actualmente, proporcionan valiosa información para paliar problemáticas básicas en la elaboración de cartas náuticas fluviales como la precisión y falta de actualización.

Esto no significa que se solucionen todas las correcciones que se deben aplicar en el proceso de actualización de las cartas fluviales. Campañas hidrográficas deben ser ejecutadas independientemente.

A pesar que las imágenes utilizadas en este trabajo no pertenecen a sensores muy actuales, y que las correcciones geométricas se realizaron con datos recopilados para otros trabajos, se alcanzó una precisión de ± 10 metros (un *pixel*), a lo largo del Río Paraná de las Palmas, por donde se encuentra la ruta troncal de navegación y donde la temática tratada es más relevante. Esta precisión permitió superponer satisfactoriamente datos geográficos de distintas fuentes. Sin embargo, en los extremos norte y sur de la carta se produjeron pequeñas deformaciones sobre la matriz de datos debido a la falta de referencias para la georreferenciación.

El área de aplicación en este trabajo, presenta la ruta principal de navegación sobre el Río Paraná de las Palmas. Este cauce es estable comparado con otras regiones fluviales del Paraná Medio y Superior. Sin embargo, los procesos realizados en la co-registración y calibración radiométrica permitieron detectar pequeños cambios, (sujetos a un análisis más riguroso).

La integración de datos con distintos formatos y fuentes diferentes en un programa tipo *SIG-Desktop*, permitió organizar mejor los datos. También facilitó la construcción de una base de datos con todos los elementos que componen el producto final.

Se concluye que el uso de imágenes satelitales posibilita la elaboración de una carta imagen fluvial. Así como la combinación de la teledetección espacial con aplicaciones SIG permite y facilita un monitoreo o estudio multitemporal en la actualización cartográfica.

Las imágenes satelitales, en formato digital y georreferenciadas son cada vez más compatibles con los sistemas de navegación que actualmente se comercializan. Esto facilita la incorporación de las imágenes ya procesadas en un navegador.

Bibliografía

- *A Robust System for Shoreline Detection and its applications to Coastal – zone Monitoring (2002);*
[<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1999/ts8/ts8117a.shtml>]
- **Boruz, J.** comunicación personal, 2002.
- **Chuvieco, E.** “Fundamentos de Teledetección Espacial”, 3º edición RIAL, Madrid, 2000.
- *Coastal Map and Vector Shoreline (2002).*
[http://chartmaker.ned.noaa.gov/csdl/ctp/cm_vs.htm]
- *Coastal and Shoreline Change Analisis Program CSCAP (2002).*
[<http://www.ngs.noaa.gov/RSD/coastal/cscap.html>]
- **Durand, D.** “Las Espaciocartas”, Cuadernos pedagógicos del GDTA, Ediciones Universidad Católica de Chile, 1993
- **Fernández, J.A.** 2002, comunicación personal.
- **Hinterland**, Periódico Empresario “Se desarrolló la carta digital Maripuer S.A.”, 2000.
- **Hypack, 1997.** Workbook, Programa de Selección de Sondas, Capitulo 5, p. 104.
- **Jensen, 1993.** Cito en [<http://coastal.er.usgs.gov/wetlands/ofr97-287/>]
- **Karzenbaum, H.; Gagliardini, A.; Dogliotti A. y Bava, J.** Curso: “Teleobservación Satelital de ambientes costeros: conceptos básicos y sus aplicaciones”, Universidad Nacional de la República, Agosto 2002. Página del curso: <http://www.iafe.uba.ar/tele/>
- **Landsat Science Data user handbook**
[http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter11/chapter11.html]
[http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter6/chapter6.html]
- **Lasselin y Darteyre, 1991.** Cito en [<http://www.humboldt.org.co/sig/queesunsig.html#tecnologia>].
- **Larralde, J.** “Apuntes de clase”, Instituto Universitario Naval, Argentina, 2000.
- **Maripuer S.A.**, Inédito, 2002.
- **“(Nautical Chart Viewer for Arcview 3.x, ArGis 8 and Imagine 8, 2002)”**

- [<http://www.csc.noaa.gov/products/chartview/index.html#top>].
- **Pardo, J.**(2002) [http://www.uv.es/metode/anuario2000/78_2000.html], Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, *Universitat Politècnica de València*.
 - ***Procedures in selection, registration, normalization and enhancement of satellite imagery in coastal wetlands (2002).***
[<http://coastal.er.usgs.gov/wetlands/ofr97-287/>]
 - **Pinilla, C. 1995** “Elementos de teledetección”, RAMA, Madrid.
 - **Publicaciones Didácticas, 2001.**
[http://www.conae.gov.ar/libro_tele/publicaciones_didacticas.htm].
 - **Raed, M. 2000** “Fundamentos físicos de los sensores remotos”, VIII Curso de Radar de Apertura Sintética y sus Aplicaciones, Dirección de Aerofotogrametría y Sensores Remotos-Fuerza Aérea Argentina, Buenos Aires.
 - **Turnbull, D. 2001.** “La evolución de un sistema de información espacial orientado al objeto que admita el mantenimiento de las cartas náuticas digitales en la agencia de imágenes y cartas (NIMA)”, Boletín Hidrográfico Internacional, Artículo del Mes, Parte 1.
 - **SIHN, 1982** Inédito. VV.AA., “Manual para mediciones hidrográficas e hidrométricas”, Proyecto de asistencia técnica holandesa.
 - **Vidal, S., Graham, D., Saul M.** “CSCAP: Coast and Shoreline Change Analysis Program”. “[http://www.thsoa.org/pdf/h01/5_2.pdf]
 - **“working with the geodatabase, 2002”**
[http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/arcgis_geodb_multiuser.pdf]

Publicaciones Cartográficas:

- Atlas de Suelo, 1999. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Croquis de los CRI-Parte 1, (1997), SIHN.
- Carta h-130, SIHN 2001.
- Carta pre-eliminar H-1001.
- Carta pre-eliminar H-1002.
- Inédito: Mapa con los vuelos Fotogramétricos del SIHN: División Fotogrametría, SIHN, 2002.

Anexo I

Sensores utilizados:

SPOT: Los satélites llamados SPOT (*Système Pour l' Observation de la Terre*) son de origen francés y fueron desarrollados con la ayuda de Bélgica y Suecia. SPOT 1, 2, 3, y 4 fueron lanzados en 1986, 1990, 1993 y 1998 respectivamente.

Poseen una órbita heliosincrónica y casi polar ya que la inclinación de su órbita es de 98 grados, casi perpendicular a la línea del Ecuador. La traza de la plataforma esta sincronizado con el movimiento terrestre, entonces vuelve a relevar el mismo punto del planeta cada cierto período que depende de parámetros prefijados como la altura y velocidad de la órbita.

La revisita del spot sobre una zona determinada está calculada para que se produzca siempre a la misma hora. La altitud de la plataforma es de 822 Km y cumplen con un periodo orbital cada 101.4 minutos, y en un ciclo cumple 369 revoluciones.

El período de revisita sobre el mismo punto de la Tierra es cada 26 días. Tiene la capacidad de mira oblicua lo cual mejora la repetición de observaciones, para una latitud ecuatorial mejora la revisita en 7 días, pero la imagen resultante contiene mayores deformaciones, que debe evaluarse si están en tolerancia para un trabajo específico. Esta propiedad también permite, en distintas pasadas, obtener imágenes de un mismo lugar desde distintos puntos de vista para trabajar con pares estereoscópicos y generar un modelo digital del terreno.

Las escenas del SPOT tienen un máximo de 84° grados de latitud Norte o Sur. La masa total del satélite SPOT es de 2700 Kg y su panel solar mide 8.032 metros.

Spot 1, 2, y 3 están equipados con sensores llamados *Haute Resolution Visible* (HRV).

El Spot 4 está equipado con un sensor llamado (HRVIR) High Resolución Visible and Infrared, que es un derivado del diseño del los anteriores Spot.

Por otro lado, el programa SPOT asegura la continuidad de su misión ya que recientemente se lanzo el spot 5. Su resolución espacial es de 5 o 2,5 metros (según el modo de procesamiento), en lugar de 10 m en el modo pancromático. Alta resolución espacial en el modo multiespectral: 10 m en lugar de 20 m para todas las bandas del visible y el infrarrojo. El ancho de barrido de las imágenes continua siendo de 60 km.

La resolución espectral y espacial de los satélites Spot son los siguientes:

Banda espectral (μm)	SPOT 1, 2, 3 Y 4		SPOT 5	
	Res.	Ancho	Res.	Ancho
P 0.49-0.69	10 m	60 km	2.5-5m	60 km
B1 0.43-0.61	20 m	60 km	10 m	60 km
B2 0.61-0.68	20 m	60 km	10 m	60 km
B3 0.78-0.89	20 m	60 km	10 m	60 km

Satélites Landsat: Es también un satélite de órbita heliosincrónica, casi polar, con una altura del 705 Km. La plataforma tiene un período orbital de 98.8 minutos aproximadamente, completando de esta manera 14 órbitas por día. Tiene un período de revisita cada 16 días sobre el mismo punto de la tierra y barre escenas cuadradas de 185 Km de lado.

El último satélite de este programa es el sensor Lansat 7 ETM + , además de continuar con las características espectrales anteriores incorporo una banda pancromática de 15 metros de resolución espacial.

Tabla con resolución espectral y espacial de los sensores Lansat 5 y 7.

Banda espectral (μm)	Lansat 5		Lansat 7 etm+	
	Res.	Ancho	Res.	Ancho
B1 0.45-0.51	30 m	185 km	30 m	185 km
B2 0.52-0.60	30 m	185 km	30 m	185 km
B3 0.63-0.69	30 m	185 km	30 m	185 km
B4 0.75-0.90	30 m	185 km	30 m	185 km
B5 1.55-1.75	30 m	185 km	30 m	185 km
B6 10.4-12.50	120 m	185 km	60 m	185 km
B7 2.09-2.35	30 m	185 km	30 m	185 km
P(8) 0.52-0.90	-	-	15 m	185 km

La República Argentina posee una estación terrena, Teófilo M. Tabanera, en la Provincia de Córdoba. En dicha estación se bajan, entre otros satélites, las imágenes Landsat 5 y 7, Spot 1 y 2, y las del sensor diseñado y fabricado en Argentina SAC-C.



Figura 26. Figura n° 23 Sensor Landsat en laboratorio.

<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>

Anexo II

Otras aplicaciones posibles con la teledetección:

La utilización de imágenes satelitales permitiría realizar otras aplicaciones en el ámbito náutico. Un ejemplo es la implementación de imágenes de muy alta resolución en la cartografía fluvial, ya que éstas permiten cartografiar a mayor escala en zonas de pasos críticos o entradas a puertos para confeccionar cuarterones.

La cartografía fluvial de imágenes también resulta un antecedente interesante para producir otro tipo de cartografía de interés náutico aún no desarrollada, como la cartografía náutica marítima del litoral, para cartas costeras o de recalada.

Para las regiones antárticas, el uso de imágenes SAR y los sensores ópticos de alta luminosidad, han sido utilizados como apoyo en la interpretación de los diferentes tipos de hielo durante campañas antárticas, pero aún no ha sido desarrollada sistemáticamente para la Cartografía Náutica Antártica Argentina.