

LA TELEDETECCIÓN COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EXTENSIÓN DEL LITORAL PACÍFICO COLOMBIANO

Ingeniero Catastral y Geodesta Alexander Mogollón Díaz ^{1*}

Capitán de Corbeta Luis Jesús Otero Díaz ^{2*}

División de Zona Costera, Centro Control Contaminación del Pacífico - CCCP

Vía El Morro, Capitanía de Puerto, San Andrés de Tumaco, Nariño, Colombia

Tél: +57 (2) 727 26 37, Fax: +57 (2) 72 71 18

e-mail: cccp@cccp.org.co amogollon@cccp.org.co ^{1*} lotero@cccp.org.co ^{2*}

Recibido en junio de 2004; aceptado en julio de 2004

RESUMEN

El litoral Pacífico colombiano, desde 1979, cuenta con un dato oficial de extensión de 1300 kilómetros. El dinamismo costero, el oleaje y los procesos de sedimentación, entre otros, hacen que esta cifra requiera una actualización. Pero la nubosidad predominante en el litoral dificulta la generación de cartografía para establecer su forma y magnitud actual. Consciente de esta problemática y de la necesidad de una solución, el Centro Control Contaminación del Pacífico, CCCP, implementó una metodología basada en la generación de una base cartográfica a partir de imágenes de satélite, aerofotografías y mapas existentes de la región, apoyados en la visión holística de las políticas nacionales para el desarrollo sostenible de las zona costeras y la variedad de criterios existentes para definir la forma y extensión del litoral. La metodología de trabajo inicia con la determinación de un criterio de interpretación, ajustado a las definiciones de autores muy conocidos en las ciencias marinas, fácilmente cartografiable en las tres fuentes de información denominado: 'límite temporal tierra-mar'. El cual precisa, para su interpretación en una extensión como la del Pacífico colombiano, la utilización de imágenes de satélite, con resolución espacial adecuada (Landsat). Dadas las condiciones de nubosidad permanente de la región, el trabajo se centra en la determinación de algoritmos que permitan identificar el objetivo, superando las condiciones iniciales de las imágenes, con el apoyo de aerofotografías aéreas, reduciendo la similitud de las firmas espectrales en los deltas de los ríos; para, finalmente, homologar un sistema cartográfico que sirva para la generación de un vector, como aproximación actual de la forma y extensión del litoral Pacífico colombiano.

Palabras claves: Base Cartográfica, Imagen de Satélite, Aerofotografías, Interpretación, Límite Temporal Tierra-Mar, Resolución Espacial.

ABSTRAC

The Colombian Pacific Coast, from the year 1979, bill with an official fact of extension of 1300 kilometers. The coastal dynamism, the surf, the sedimentation processes, among others, make that this figure cannot be determined in absolute terms, and consequently a process of bringing up to date is needed. But the difficult conditions of the coast colombian Pacific hinder the cartography generation to establish its form and current magnitude. It consents of the problem and of the necessity of a solution the Centro Control Contaminación of the Pacific, CCCP, implement a methodology based on the generation of a cartographic base with the available means for their development, satellite images, aerophotos and existent maps of the region supported in the holistic vision of the national politicians for the sustainable development of the coastal area and the variety of existent approaches to define the form and extension of the coast. The work methodology, begins in determining an adjusted interpretation approach to the definitions of very well-known authors in the marine sciences, easily drawing in the denominated three sources of information 'limits temporary earth-sea'. The interpretation of the one limits temporary earth sea, in an extension like that of the colombian Pacific makes necessary the use of satellite images, with an appropriate space resolution (Landsat), as consequence of the permanent clouds in the region the work is centered in the determination of the algorithms that you/they allow to identify the objective, overcoming the initial conditions of the images, with the support of air aerophotos to reduce the similarity of the ghastly signatures in the deltas of the rivers, for finally to homologate a cartographic system as input, for the generation of a vector, as current approach in the way and extension of the coast Pacific colombian.

Key words: Base Cartographic, Satellite Image, Aerophotos, Interpretation, Limit Temporary Earth-Sea, Space Resolution.

INTRODUCCIÓN

La zona costera colombiana es una entidad geográfica del territorio nacional definida con características naturales, demográficas, sociales, económicas y culturales propias y específicas. Está formada por una franja de anchura variable de tierra firme y espacio marítimo, donde se presentan procesos de interacción entre el mar y la tierra; contiene ecosistemas muy ricos, diversos y productivos, dotados para proveer bienes y servicios que sostienen actividades como la pesca, el turismo, la navegación, el desarrollo portuario, la explotación minera y donde se dan asentamientos urbanos e industriales (Ministerio de Medio Ambiente, 2001). Es un recurso natural único, frágil y limitado del país, que exige un manejo adecuado para asegurar su conservación, desarrollo sostenible y la preservación de los valores culturales de las comunidades, tradicionalmente, allí asentadas.

La creciente y múltiple presión que se ejerce, por el desarrollo, sobre las regiones costeras demanda la realización de estudios que permitan establecer el estado real de estas zonas, como base para estrategias de planificación y manejo para enfrentar los problemas que, permanentemente, afrontan estas áreas de frágil estabilidad. En este sentido la Dirección General Marítima, DIMAR, a través del CCCP, adelanta el proyecto 'Caracterización y Evaluación del Litoral Pacífico Colombiano', el cual pretende establecer los límites territoriales entre el dominio público marítimo-terrestre y el dominio privado para la administración, control y manejo de los bienes de uso público bajo la jurisdicción de la DIMAR.

Uno de los problemas que ha tenido el CCCP en la realización de este proyecto es la determinación de la extensión del litoral Pacífico colombiano, dado que no existe un enfoque único, ni criterio particular universalmente aplicable para su determinación a macro escala. Pese a que la legislación establece, claramente, las zonas que se encuentran bajo jurisdicción de la DIMAR, subsiste el problema de concretar los criterios técnicos aplicables para definir los límites de la línea de costa.

En busca de una solución, se revisaron los antecedentes de este trabajo los cuales afirman que en 1979, como resultado de la medición de la línea base¹, en el Pacífico colombiano se estimó que la longitud de costa era de 1300 km. Actualmente, este es el único dato sustentado técnicamente y es considerado como la magnitud oficial base de la elaboración de las políticas nacionales de ordenamiento integral de zonas costeras colombianas.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente artículo expone una alternativa técnica que permite actualizar la extensión de la costa del Pacífico colombiano, involucrando criterios físicos, fácilmente identificables con imágenes de satélite de mediana resolución espacial (Landsat + ETM); como base para la determinación de la jurisdicción de la DIMAR, aclarando que los resultados obtenidos son variables en el espacio-tiempo, por lo cual su actualización deberá realizarse de manera particular en un determinado espacio geográfico utilizando tecnología GPS.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende todo el litoral Pacífico colombiano, localizado entre el Cabo Manglares, 1.43° N, 78.83° W, y Punta Ardita, 7.40° N, 77.87° W, en una costa con orientación predominantemente S-N (Fig. 1). Este es un sector poco desarrollado, que cuenta con dos carreteras que llegan hasta los puertos de Buenaventura y Tumaco; el servicio de aeropuerto se presta en los municipios de Bahía Solano, Buenaventura, Guapi y Tumaco. Igualmente, cuenta con factores que dificultan la definición de la línea costera por métodos convencionales (levantamientos topográficos), entre ellos la situación de orden público; las condiciones climáticas de la región, con promedios de lluvia anuales entre 6000 y más de 12000 mm/año, generando más de 200 días de lluvia al año; nubosidad casi permanente; mayor rango mareal (entre 3 y 5 m) en comparación con el Caribe colombiano (0.3 a 0.5 m); la baja pendiente de amplios sectores costeros; la espesa vegetación que dificulta el acceso y medición directa de los parámetros de interés; la numerosa red de ríos y sus intrincadas desembocaduras al mar.

¹ Se define como línea base el conjunto de puntos que son función conjunta de un parámetro a partir del cual se miden las áreas marítimas jurisdiccionales de un Estado.

METODOLOGÍA

En el cálculo de la extensión del litoral Pacífico colombiano no intervinieron las zonas costeras de las islas de Malpelo y Gorgona, ya que las imágenes de satélite disponibles con las que se realizó el trabajo no cuentan con su cubrimiento espacial.

La determinación de la longitud de la línea de costa se abordó con la creación de una base cartográfica, utilizando imágenes de satélite Landsat, identificadas en el sistema WRS (1055, 1056, 1058 y 1059) y con cartografía de 23 mapas escala 1:25000 (fuente IGAC). Así mismo, se utilizaron aerofotografías de manera individual y en mosaicos georeferenciados, en las zonas donde la interpretación con imágenes de satélite era confusa. En la Tabla 1 se relacionan las imágenes de satélite, la cartografía y las aerofotografías utilizadas.

Con las imágenes disponibles se realizó el proceso de corrección geométrica, para homogenizar el sistema cartográfico y realizar un mosaico de imágenes que permitiera visualizar la totalidad del área de estudio (Slater, 1980).

La interpretación y determinación de la línea de costa se abordó con este tipo de imágenes por su resolución espacial (30 x 30 m), apropiada a la extensión del área de estudio. La composición a color utilizada para el despliegue de la información temática se determinó con la estadística unibanda de cada imagen.

1. Criterios físicos utilizados en la interpretación

Para el cálculo de la extensión del litoral Pacífico se utilizaron las variables que hacen parte de la definición de litoral, identificables a partir de la interpretación de imágenes convencionales y no convencionales de mediana escala (Kennie & Matthews, 1985). La variable con mayor peso en la interpretación fue el límite temporal tierra-mar adaptada de la siguiente definición: "El litoral puede definirse como la franja de tierra seca y el espacio del océano adyacente (agua y tierras sumergidas), donde los procesos terrestres y el uso de la tierra afectan, directamente, los procesos y usos oceánicos, y viceversa, delimitado por la configuración de su entorno y las necesidades de ordenamiento" (Steer, *et al.*, 1997).

2. Creación de la base cartográfica

La base cartográfica se realizó en tres fases. La primera de ellas comprendió la realización de un mosaico con las imágenes Landsat, que cubren el área del litoral ajustado al elipsoide internacional 1924 Datum Bogotá, proyección Transversa de Mercator, bajo las condiciones básicas para mantener el contraste en los traslapes de cada imagen. Las imágenes Landsat están posicionadas en el sistema WRS, el cual establece el path y el row, como se aprecia en la Figura 2.

En la segunda fase se realizaron mosaicos aerofotográficos y también se emplearon aerofotografías individuales, como apoyo en la interpretación de las imágenes (deltas de los ríos y esteros), por la similitud de la firma espectral (Woodcock & Strahler, 1987).

Dado que no se contaba con la totalidad de las imágenes Landsat del litoral Pacífico colombiano, en la tercera fase se utilizó la información digitalizada a escala 1:25000 de los mapas fuente IGAC.

2.1. Fase 1. Tratamiento de las imágenes no convencionales

La metodología de trabajo con imágenes de satélite se enfoca en el procesamiento de los datos digitales para lograr tres objetivos básicos: corrección de los datos, realce de la información original y extracción de información (American Society of Photogrammetry, 1983).

- **Despliegue de la información**

En la selección de una composición a color adecuada para la identificación del límite temporal tierra-mar se utilizaron los siguientes criterios:

Análisis de los histogramas

Aquellas bandas que presentan histogramas amplios, con alta desviación típica, permiten una mejor discriminación entre los distintos objetos (Swain & Davis, 1978). Al analizar individualmente cada banda, se observó que los rangos espectrales de las

bandas 4, 3 y 2 son los que cuentan con los más amplios y menos insesgados histogramas, siendo la banda del infrarrojo (4) la de mayor desviación típica.

Los resultados estadísticos de la banda 4 (infrarrojo cercano) se presentan en la Figura 3, por ser la de mayor interés para la determinación de la línea objetivo, con la cual se espera trabajar a la máxima capacidad para discriminar la diferencia entre los cuerpos de agua y la superficie terrestre.

Curvas de reflectancia

Los rangos espectrales en los cuales hay mayor separación entre dos o más objetos, permitirán una mejor discriminación de éstos en la composición (Swain & Davis, 1978). A partir de un análisis espectral se determinaron las firmas espectrales de dos coberturas (playa y mar), al observar los picos, como se aprecia en la Figura 6, la cobertura marina se separa muy bien de la playa en el rango de las bandas 4, 3 y 2.

Factor de Índice Óptimo

Concepto estadístico basado en el cálculo de las matrices de divergencia y correlación para todas las bandas involucradas (Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1987), su análisis selecciona las combinaciones de tres bandas que presenten la máxima divergencia y mínima correlación respecto de todos los valores digitales de la imagen.

Al realizar el cálculo se estableció que el conjunto de bandas con mejor contraste es la combinación 4, 3, 2. La composición a color 4, 3, 2 (verde, rojo, infrarrojo) involucra el rango espectral del infrarrojo cercano, con el cual se discrimina el límite tierra-agua; las dos bandas restantes hacen parte del rango visible, asegurando el contraste de la información (Photo Interpretation Keys, 1977). Los algoritmos indican la utilización de las bandas 4, 3, 2 para discriminar las coberturas de interés, cuyo resultado visual se aprecia en la Figura 4. El aspecto inicial de la imagen infiere un tratamiento que mejora el contraste de la información aplicando realces radiométricos.

- **Realce radiométrico**

Los realces radiométricos aplicados a las imágenes tienen como objeto presentar la información más nítida

(Jensen, 1996), facilitando la identificación del límite temporal tierra-mar. Se aplicaron realces multibanda, asegurando que los niveles digitales originales no se modificaran, aprovechando la capacidad del dispositivo gráfico de la estación de trabajo, para lo cual se aplicó un autoescalamiento de la información digital, denominado técnicamente ecualización del histograma. Este proceso consiste en hacer coincidir los mínimos y máximos valores significativos de las imágenes (niveles digitales) con los mínimos y máximos valores del dispositivo gráfico (tarjeta gráfica 8 bits). Los resultados visuales son notorios como se aprecia en la Figura 5. Este realce no modifica los niveles digitales originales.

- **Firma espectral**

Para determinar el límite temporal tierra-mar, utilizando imágenes de satélite, es necesario evaluar el comportamiento espectral de tres coberturas: borde continental, lecho marino y la línea objetivo definida como el límite temporal tierra-mar (Avery & Lennis, 1985). En la Figura 6 se observan los resultados obtenidos para el límite temporal tierra-mar.

La firma espectral demuestra que para la interpretación de la línea objetivo (límite temporal tierra-mar) no es conveniente utilizar bandas de rango visible (Sabins & Floyd, 1987), ya que no existe diferencia espectral significativa entre el borde continental y el mar, como se aprecia en los intervalos de las bandas 1 y 2 (Fig. 5).

Las coberturas de interés tienen valores digitales similares en el rango visible por lo cual es necesario tomar una longitud de onda del infrarrojo cercano (banda 4), para visualizar la información. La firma espectral de las coberturas mar y continente divergen a un mismo punto en el rango de longitud de onda del infrarrojo cercano, lo cual refleja los sedimentos en suspensión del lecho marino. Geográficamente este fenómeno aumenta en los deltas de los ríos, por lo cual se apoyó la interpretación con aerofotografías de la zona.

- **Georreferenciación**

Las imágenes se georreferenciaron con base en la cartografía IGAC 1:25000, utilizando 20 puntos de control, haciendo uso del método maestro esclavo

(Jackson & Slater, 1986). Con este patrón se obtuvo un RMS de 0.68 píxeles. Para el ajuste geométrico de las imágenes se utilizaron las siguientes especificaciones:

- Ajuste polinomial de primer orden.
- Proyección Transversa de Mercator.
- Esferoide internacional 1909.
- Origen de coordenadas Colombia Occidente, Lat./Long. 4°35'56"57 N / 77°4'51"30 W, a las que se le asignaron las coordenadas falso origen 1000000 N, 1000000 E.
- Algoritmo de corrección geométrica vecino más cercano.

Finalmente, se trazó el vector que representa el límite temporal tierra-mar sobre las imágenes procesadas.

2.2. Fase 2. Tratamiento de aerofotografías

Existen algunas zonas geográficas en las imágenes de satélite (como la bahía de Tumaco) (Fig. 7) en las cuales la identificación de la línea de costa se hace confusa, pese a los realces radiométricos aplicados, por esta razón es indispensable apoyar la interpretación del vector límite temporal tierra-mar utilizando mosaicos aerofotográficos o aerofotografías individuales (Rascher & Weaver, 1990) (Fig. 9).

La calidad del mosaico depende de la resolución de escaneo y la escala de la foto, factores que representan los limitantes del nivel de detalle a alcanzar (Avery & Lennis, 1985). Por esta razón se escogieron las aerofotografías disponibles para la zona entre escalas 1:20000 y 1:40000, capturadas en formato digital a una resolución de 1200 micrones. Con la información en digital se procedió a elaborar las rutinas de trabajo para la construcción de mosaicos, con las aerofotografías consecutivas apoyados en el software Erdas Imagen. Estas rutinas exigieron que las fotografías se georreferenciaran con antelación, utilizando el mismo sistema cartográfico de las imágenes de satélite (Rabenhorts & Mc. Dermott, 1989). La Figura 8 muestra el resultado de uno de los mosaicos obtenidos en el proceso.

La implementación de los mosaicos sirvió como base temática para trazar el vector objetivo (tierra-mar), tal como se aprecia en la Figura 8, especialmente en la desembocadura de los ríos, donde la firma espectral es confusa por el nivel de sedimentos existentes.

Manteniendo el mismo propósito, en las áreas costeras donde no era posible la realización de mosaicos, por la discontinuidad de las fotos, se utilizaron aerofotografías individuales georreferenciadas en el mismo sistema cartográfico (Fig. 9).

Utilizando las aerofotografías del IGAC se trazó la línea objetivo por el borde exterior de los esteros (Fig. 10 - izquierda). La información de los mosaicos y aerofotografías individuales se unió con la información de la imagen de satélite y se exportó para ser almacenada en SIG CARIS.

2.3. Fase tres. Cartografía digital fuente IGAC

A partir de 23 mapas escala 1:25000 fuente IGAC, digitalizados en SIG CARIS, se estableció el límite temporal tierra-mar, para aquellas áreas donde no se contaba con imágenes de satélite ni aerofotografías. Una vez finalizado el proceso en SIG CARIS, se unieron, editaron y estructuraron topológicamente los tres vectores, para obtener la representación y magnitud de la extensión del litoral Pacífico colombiano.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La extensión de la línea de costa hallada es de 1589 km. Éste no es un valor absoluto y su validez es instantánea en un determinado espacio-tiempo, por su relación de dependencia con variables dinámicas como el nivel del mar, el oleaje, los procesos erosivos y la sedimentación, entre otros. En términos absolutos esta cifra no puede ser cualificada ya que su vigencia es mínima, pero dentro del trabajo interdisciplinario, esencial para el manejo costero, es necesario establecer un marco de referencia para la caracterización de la zona costera.

Con este ejercicio se obtiene un proceso metodológico, combinando diferentes fuentes de información como: imágenes de satélite, fotografías aéreas y mapas vectoriales, para finalizar con la caracterización y obtención de la extensión del

litoral Pacífico, basado en un criterio más riguroso que el utilizado en 1979, cuando ésta magnitud se obtuvo con la medición de la línea base.

Técnicamente, el uso de diversas fuentes cartográficas y la disparidad de las fechas de obtención de la información son factores que propagan un error no sistemático en el producto final (National Commite for Digital Cartographic Data Standards, 1988). Sin embargo, por no ser un estudio morfodinámico detallado, se puede inferir que el dinamismo en la magnitud de la extensión del litoral Pacífico colombiano, debido a estos factores, no es significativo, aún más en la escala en la que se abordó el proceso cartográfico. Igualmente, el resultado es escalable en términos de precisión y actualización (Keith, 1990).

Para intereses particulares se podrá levantar la línea de costa implementando tecnología GPS, apoyando con software SIG, mejorando cada vez el dato original y manteniendo su vigencia.

En términos estrictos, el resultado es una aproximación; en términos cuantitativos y cualitativos es un acercamiento a la extensión real del litoral Pacífico colombiano, desarrollado con un método fundamentado en la Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia, PNAOCI, contribuyendo de esta manera al proceso de manejo integral de zonas costeras del país.

A partir de la forma y magnitud de los 1538 km (Fig. 12 - Tabla 2) la DIMAR puede centrar sus esfuerzos en la obtención de información en el Pacífico colombiano. En tal sentido se debe medir el resultado en términos de la utilidad que aporta a la DIMAR y a otras instituciones, involucradas en el manejo integral de las zonas costeras colombianas.

CONCLUSIONES

- La línea de costa es dinámica en el espacio y el tiempo. En su determinación se involucran variables que no pueden ser interpretadas por imágenes de satélite de resolución media; además, la nubosidad constante dificulta la interpretación de la línea costera en productos de sensores pasivos. Por lo cual los procedimientos técnicos aplicados se deben desarrollar previendo las anteriores condiciones y

apoyados en aerofotografías de escalas mayores, que permitan la interpretación de la línea objetivo en las zonas nubosas y en los deltas de los ríos, por la similitud de la firma espectral de las coberturas.

- El vector interpretado como línea de costa se integró con la cartografía del IGAC, en el área donde no existe otra fuente de información disponible en el CCCP, por lo cual se dificulta encontrar un estadístico que represente la precisión y exactitud posicional del producto por las diferentes fuentes utilizadas, propagando un error no sistemático. Sin embargo, la importancia del producto final no radica en la precisión, sino en la utilidad que tiene en el manejo integrado de zonas costeras, en el ámbito nacional, y la contribución a la solución de la problemática que enfrenta la DIMAR en la definición de su jurisdicción.

- Todo lo anterior permite inferir que la cifra obtenida, 1589 km, debe ser entendida como una aproximación a la real longitud y su publicación, como valor oficial, exige mencionar las inconsistencias que puede tener y las causas que la originan, así como las posibilidades de actualización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Photogrammetry. 1983.** (ASP) Manual of Remote Sensing Edicion 2 editorial ASP, Falls Church, VA.
- Avery, T. & G. Lennis. 1985.** Fundamental of Remote Sensing and Airphotos Interpretation. Edición 4. Ed. Prentice Hall, pp. 95-224.
- Jackson, R. & P. Slater. 1986.** Absolute Calibration of Field Reflectance Radiometers, Photogrammetric Engineering And Remote Sensing. Vol. 52 N° 2 , pp189-196.
- Jensen, J. 1996.** Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective Ed. Prentice Hall. 2a edición. Upper Saddle River.
- Keith, C. 1990.** Analytical and Computer Cartography. Hunter College - City Universidad de New York. pp. 62-155.
- Kennie, T. & M. Matthews. 1985.** Remote Sensing in Civil Engineering, Willey. New York.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2001.** Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia. MMA. Bogotá, Colombia.

National Commite for Digital Cartographic Data Standards. 1988. Digital Cartographic Data. American Carthographer, Vol. 15, No. 1, pp. 9-142.

Photo Interpretation Keys, 1977. Defense Mapping Agency Aerospace Center, St Louis, MO.

Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1987. Special GIS Issue, Vol. 53, N° 10.

Rabenhorts, T. & P. Mc Dermott. 1989. Applied Carthography, introduction to remote sensing, Merrill, Columbus, OH.

Rascher, M. & W. Weaver. 1990. Basic Photo Interpretation, a Comprehensive Approach to Interpretation of Vertical Aerial Photography for Natural Resource Applications. USDA, SCS, Forth Worth, TX.

Sabins, F. 1987. Remote Sensing, Principles and interpretation. Editorial WH Freeman. 2a edición. New York.

Slater, P. 1980. Remote Sensing: Optics and Optical Systems, Addison -Wesley, Reading, MA.

Steer, R., F. Arias, A. Ramos, P. Sierra-Correa, D. Alonso y P. Ocampo. 1997. Documento Base para la Elaboración de la Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras Colombianas. Documento de Consultoría para el Ministerio del Medio Ambiente. 375 pp.

Swain P. & S. Davis. 1978. Remote Sensing: The quantitative Approach. Editorial Mc Graw Hill, New York.

Woodcock, C. & A. Strahler. 1987. The Factor of Scale in Remote Sensing Remote Sensing of Environment. Vol. 21, N° 3, pp. 311-332.

FIGURAS Y TABLAS

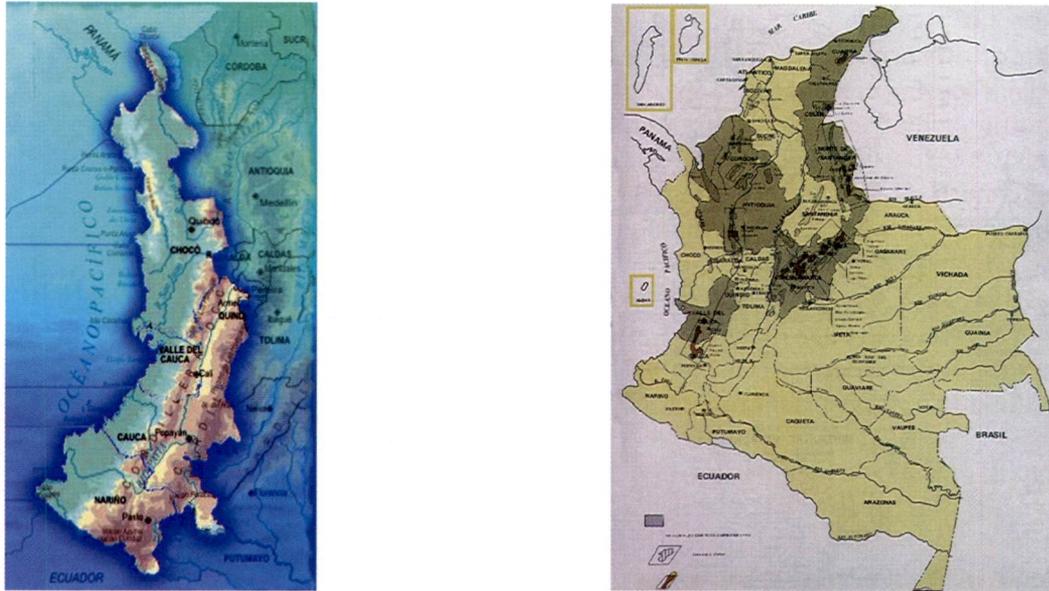


Figura 1. Área de estudio del litoral Pacífico colombiano.

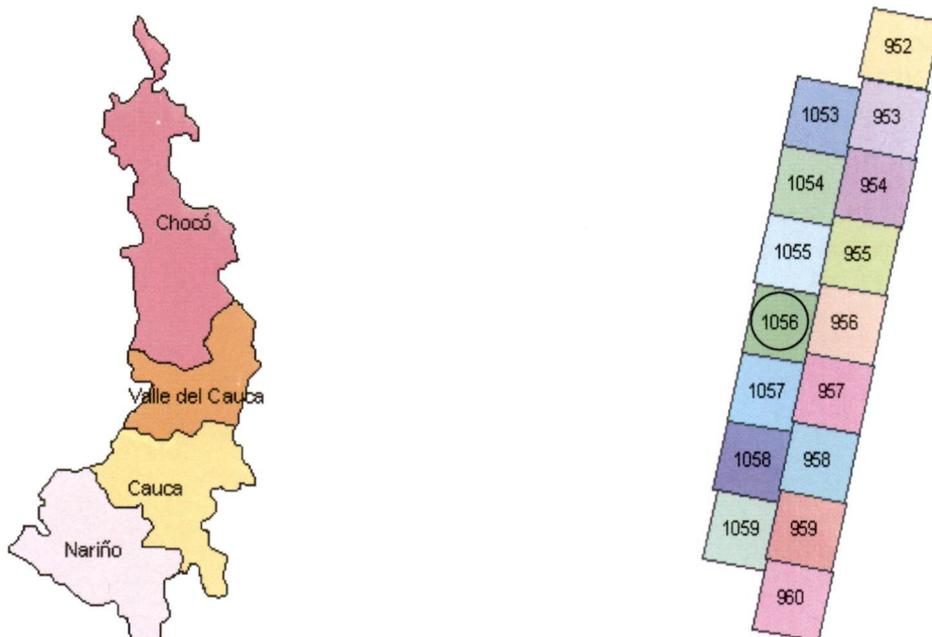


Figura 2. Las imágenes Landsat están posicionadas en el sistema de referencia WRS, el cual establece el path y el row. Éste aparece como identificador del cuadro que representa el área de cobertura de cada imagen (figura de la derecha). El círculo identifica la imagen que no posee el CCCP, ésta cubre la zona costera del departamento del Valle y parte del Cauca.

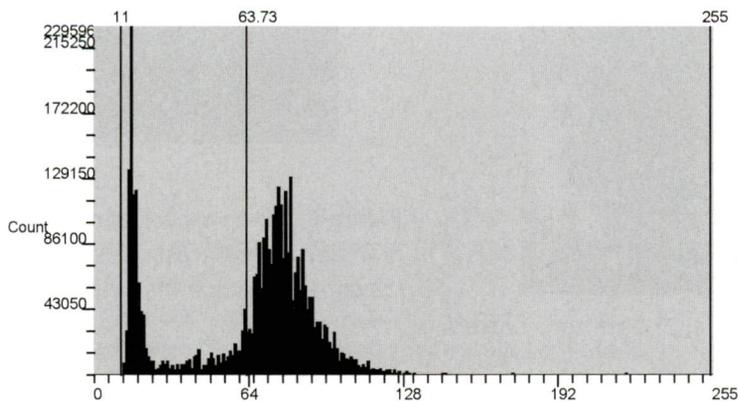
HISTOGRAMA ORIGINAL BANDA 4:

BIN FUNCTION: DIRECT

Minimum: 11

Maximum: 255

Mean: 63.7272



Scale: Histogram for: Layer_4

Horizontal Axis: 1 tic = 6 Data Value(s)

Vertical Axis: 1 tic = 14350 Counts

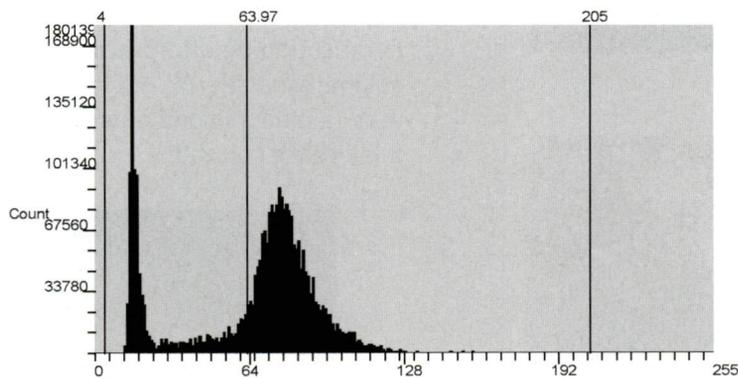
HISTOGRAMA ORIGINAL BANDA 4:

BIN FUNCTION: DIRECT

Minimum: 4

Maximum: 205

Mean: 63.9686



Scale: Histogram for: Layer4

Horizontal Axis: 1 tic = 6 Data Value(s)

Vertical Axis: 1 tic = 11260 Counts

Figura 3. Información estadística del rango espectral infrarrojo cercano.

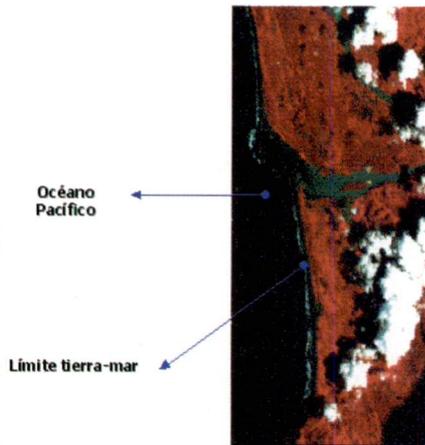


Figura 4. Imagen Landsat (4, 3, 2) de la zona costera del Pacífico colombiano.

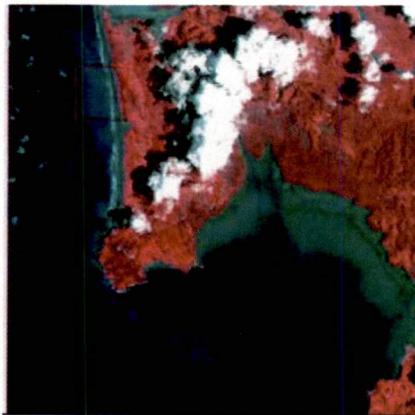
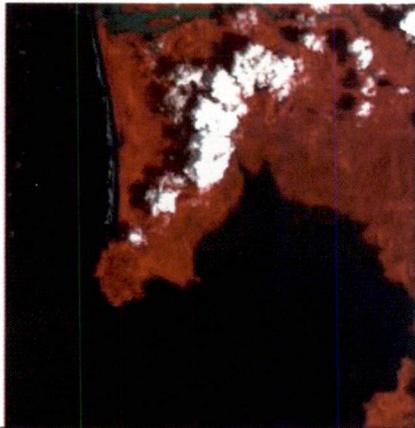


Figura 5. A la izquierda, imagen sin procesamiento. Al aplicar los realces la línea objetivo se aclara la imagen (abajo), facilitando el trazado del límite.

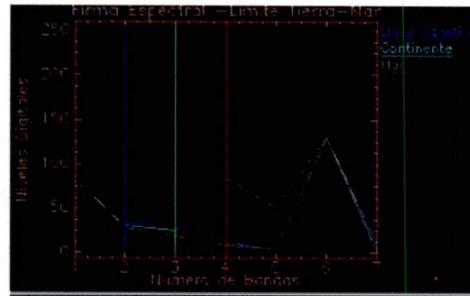


Figura 6. Firma espectral de la línea objetivo (Límite mar-tierra), contrastada con la firma espectral de las coberturas que intervienen en su identificación.



Figura 7. Imagen Landsat procesada, evidenciando la dificultad de interpretar la línea que representa el Límite mar-tierra, por lo cual se aplicaron rutinas para la elaboración de mosaicos los cuales tienden a facilitar el trazado.

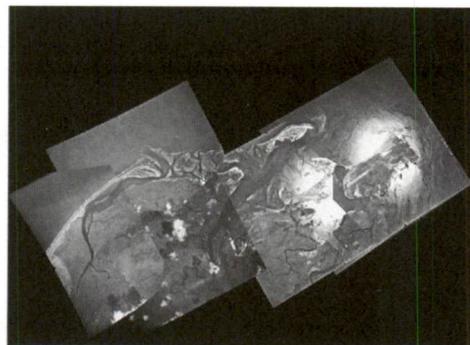


Figura 8. Mosaico de la zona costera del departamento de Nariño, bahía de Tumaco.

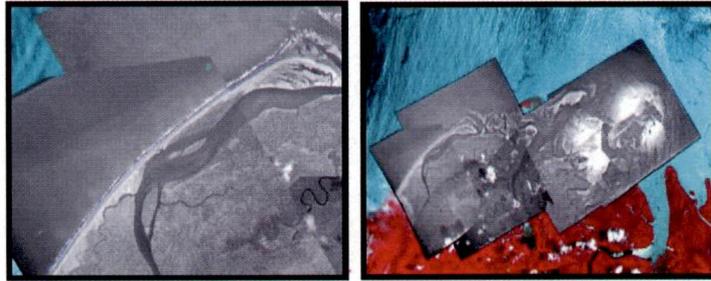


Figura 9. Mosaico sobrepuesto en la imagen de satélite como apoyo en la digitalización del vector objetivo.

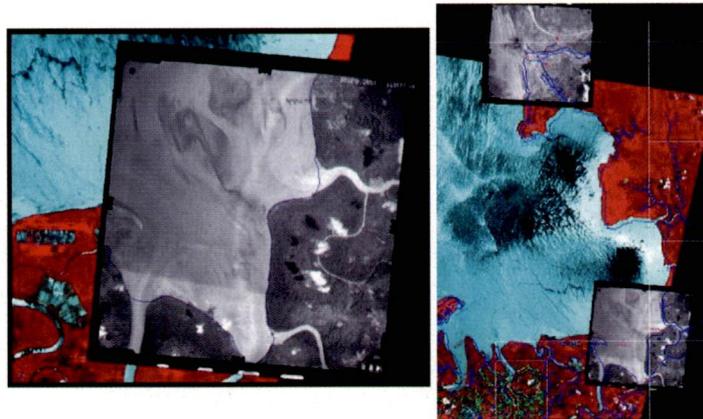


Figura 10. Utilización de aerofotografías individuales como apoyo en la digitalización.

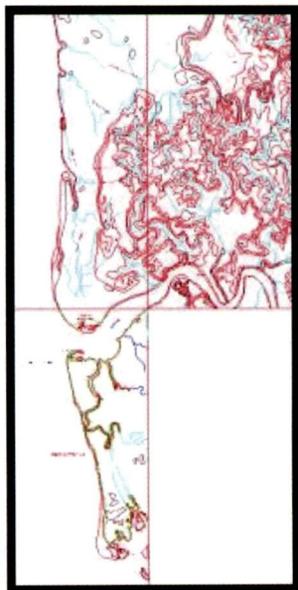


Figura 11. La imagen muestra el ejemplo de la unión de tres mapas costeros.



Figura 12. Vector resultado de la interpretación del Límite mar-tierra. Su topológica indica que tiene una extensión de 1589 km.

Tabla 1. Material utilizado en la determinación de la línea de costa.

Material utilizado en la determinación de la línea de costa				
Programas satelitales	Path	Row	Cubrimiento	
Mosaico 1	Landsat	11	55	Zona costera comprendida entre (LON 77° 50" 24.97 W , LAT 7° 10" 50.72 N); (LON 77° 22" 24.67 W , LAT 4° 58" 13.80 N). Ubicada en el sistema cartográfico Transversa de Mercator Internacional 1909.
		10	56	
Mosaico 2	Landsat	10	58	Zona costera comprendida entre (LON 77° 11" 18.85 W , LAT 3° 37" 59.33 N); (LON 79° 12" 19.31 W , LAT 0° 45" 56.58 N). Ubicada en el sistema cartográfico Transversa de Mercator Internacional 1909.
		11	59	
Imagen	Spot	j	k	Zona costera comprendida entre (LON 78° 40" 30.45 W , LAT 2° 02" 25.45 N); (LON 78° 40" 30.45 W , LAT 1° 31" 19.96 N). Ubicada en el sistema cartográfico Transversa de Mercator Internacional 1909.
		347	638	
Cartografía Vectorial	Se utilizaron 23 mapas costeros a escala 1:25000, producto de la digitalización de la información original, fuente IGAC, de los cuadrantes 240, 259, 278, 298 del departamento del Valle del Cauca			
Aerofotografías	Vuelo		Número de Fotos	Escala
	C-2509		86-90	1:40000
	C-836		115-118	1:30000
	C-2517		170-181	1:40000

Tabla 2. Cuadro comparativo de los resultados de la extensión de la línea de costa del Pacífico colombiano.

RESULTADOS		
Año de ejecución	1979	2004
Extensión del Litoral	1300 Km	1538 Km
Método Utilizado	Identificación de la línea base del Pacífico colombiano.	Identificación del límite temporal mar-tierra utilizando la teledetección.