

**ESTABLECIMIENTO DE LA JURISDICCIÓN DE LA DIMAR CON BASE EN
CRITERIOS GEOLÓGICOS, GEOMORFOLÓGICOS Y MORFODINÁMICOS EN
LA BAHÍA DE TUMACO**

ANDRÉS MAURICIO CÁCERES BOTTIA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2006**

**ESTABLECIMIENTO DE LA JURISDICCIÓN DE LA DIMAR CON BASE EN
CRITERIOS GEOLÓGICOS, GEOMORFOLÓGICOS Y MORFODINÁMICOS EN
LA BAHÍA DE TUMACO**

ANDRÉS MAURICIO CÁCERES BOTTIA

Proyecto de Grado para optar al título de Geólogo

**Director
Jorge Eduardo Pinto Valderrama
Geólogo M. Sc**

**Codirector
Milton Puentes Galindo
Ingeniero Catastral y Geodesta**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2006**

TABLA DE CONTENIDO

	pág
INTRODUCCION	1
1 ANTECEDENTES	2
2 METODOLOGIA	4
2.1 GEOMATICA	4
2.1.1 Modelo Conceptual	4
2.1.2 Modelo Lógico	5
2.1.2.1 Clasificación y codificación	5
2.1.2.2 Mapas de Jurisdicción mediante análisis multicriterio	8
2.1.2.3 Cuantificación erosión – depositación mediante análisis multicriterio.	8
2.1.3 Modelo Físico	9
2.2 SENSORES REMOTOS	10
2.2.1 Selección De Las Imágenes	10
2.2.1.1 Resumen imágenes ASTER:.....	11
2.2.1.2 Resumen imagen RADARSAT:.....	13
2.2.1.3 Fotografías aéreas	13
2.2.2 Procesamiento Digital para los Mapas Geológico y ... Geomorfológico	14
2.2.2.1 Correcciones geométricas:.....	14
2.2.2.2 Análisis visual	15
2.2.2.3 Estadísticas de las imágenes e histograma de la imagen	16
2.2.2.4 Clasificación digital	16

2.2.3	Procesamiento Digital Para Dinámica Litoral.....	17
2.2.3.1	Color Lookup Table CLUT	17
2.2.3.2	Análisis de componentes principales (A.C.P.).....	18
2.2.3.3	Composiciones Multitemporales.....	18
2.3	TRABAJO DE CAMPO	19
2.3.1	Apiques.....	19
2.3.2	Muestreo De Sedimentos Superficiales.....	20
3	RESULTADOS	22
3.1	TRATAMIENTO DE IMÁGENES	22
3.1.1	Análisis visual	22
3.1.2	Estadísticas de las imágenes e histograma de la imagen	24
3.1.3	Clasificación digital.	25
3.1.4	Color Look Up Table - CLUT	29
3.1.5	Análisis de Componentes Principales (A.C.P.).....	30
3.1.6	Composiciones Multitemporales.....	31
3.2	GEOMORFOLOGÍA	33
3.2.1	Geoformas costeras deposicionales.....	34
3.2.1.1	Llanura costera.....	34
3.2.1.2	Playas.....	35
3.2.1.3	Espigas y flechas.....	37
3.2.1.4	Cordones litorales.....	37
3.2.1.5	Estuarios.....	38
3.2.1.6	Tómbolos.....	39
3.2.1.7	Lagoons (Lagunas interiores).....	39
3.2.1.8	Llanuras de inundación	40

3.2.2	Geoformas costeras erosivas	40
3.2.2.1	Acantilados y paleoacantilados	40
3.2.2.2	Pilares.....	41
3.2.3	Geoformas de Transición.	41
3.2.3.1	Terrenos de Bajamar (Plataformas intermareales) ..	42
3.2.3.2	Isla barrera	42
3.2.3.3	Terrazas	42
3.3	GEOLOGIA	44
3.4	TRABAJO DE CAMPO	46
3.4.1	Apiques De La Zona A.....	46
3.4.2	Sedimentos Superficiales De La Zona B	48
3.5	DINAMICA LITORAL	49
3.6	MAPA DE JURISDICCION	53
	CONCLUSIONES	56
	RECOMENDACIONES	57
	BIBLIOGRAFIA	58

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1 Coordenadas Geográficas Zona A	3
Tabla 2 Coordenadas Geográficas Zona B	3
Tabla 3. Datos generales de los sensores satelitales	10
Tabla 4. Inventario de Sedimentos Litorales.	50
Tabla 5. Valores numéricos del análisis multicriterio zona A	51
Tabla 6. Cuantificación erosión – depositación Zona A	52
Tabla 7. Valores numéricos del análisis multicriterio zona B	52
Tabla 8. Cuantificación erosión – depositación Zona B	53
Tabla 9. Asignación de Pesos a geoformas y litologías	53
Tabla 10. Valores mapa de jurisdicción zona A	54

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1 Área De Estudio	3
Figura 2 Diagrama esquemático del Tema PUNTOS DE CONTROL	6
Figura 3 Diagrama esquemático del Tema AREAS	7
Figura 4 Diagrama esquemático del Tema IMÁGENES	7
Figura 5 Estructura de directorios del proyecto.	9
Figura 6 Recolección de firmas espectrales 15 m*pixel.	22
Figura 7 Recolección de firmas espectrales 30 m*pixel.	23
Figura 8. Combinación de bandas R: 4 G: 3 B: 2	23
Figura 9. Histograma de la banda 3	24
Figura 10. Clasificación no supervisada. 15 clases temáticas.	25
Figura 11. Mapa de clasificación supervisada zona B	26
Figura 12. Rasgos característicos de firmas	27
Figura 13. Mapa de clasificación supervisada zona A.	28
Figura 14. Transformación CLUT	29
Figura 15. Componente 2 del A.C.P.	30
Figura 16. Componentes Principales Multitemporales, componente 4.	32
Figura 17. Imagen ASTER-RADARSAT	32
Figura 18. Imagen 6 BANDAS	32
Figura 19. Imagen 8304-ikonos_RGB.img	33
Figura 20. Relación entre el rango mareal y las geoformas.	34

Figura 21. Perfil ideal de una playa y sus elementos.	35
Figura 22. Vegetación en la playa de Cocalito.	36
Figura 23. Formación de espigas.	37
Figura 24. Tómbolo del Quesillo.	39
Figura 25. Clasificación de acantilados, según rango mareal.	40
Figura 26. Mapa Geomorfológico Zona A.	43
Figura 27. Mapa Geomorfológico Zona B.	44
Figura 28. Mapa Geológico Zona A.	45
Figura 29. Mapa Geológico Zona B.	45
Figura 30. Imagen de relleno antrópico perfil apique estación 7	47
Figura 31. Imagen del perfil del apique en la estación 12.	47
Figura 32. Rasgos geomorfológicos Punta la Florida.	48
Figura 33. Estaciones con mayor porcentaje de minerales pesados.	49
Figura 34. Dinámica Litoral de la zona A	51
Figura 35. Dinámica Litoral de la zona B.	52
Figura 36. Mapa de jurisdicción Zona A.	54
Figura 37. Mapa de Jurisdicción Zona B.	55

LISTA DE ANEXOS

	pág
ANEXO 1 ESTADISTICAS BASICAS IMÁGENES	60
ANEXO 2 MATRIZ DE CONTINGENCIA ASTER E IKONOS	62
ANEXO 3 MATRIZ DE AUTOVECTORES A.C.P.	64
ANEXO 4 TABLA COMPOSICIONAL Y DE TAMAÑO DE GRANO	65

GLOSARIO

BERMA: zona de poca altura, no permanente, casi horizontal o con inclinación tierra adentro, con forma de plataforma o terraza estrecha, formado de material levantado y depositado por olas de alta energía. Algunas playas pueden no tener bermas y otras pueden tener varias.

CLASIFICACION DIGITAL: proceso por el que se asigna un píxel de una imagen multiespectral a una categoría de la leyenda, generalmente sobre la base de similitudes entre los valores numéricos que las definen.

CLUSTER: se habla de cluster o cúmulos cuando los píxeles o elementos de una imagen tienden a formar grupos con similares condiciones espectrales. El agrupamiento automático no supervisado pretende encontrar estos grupos espectrales idóneos como reflejo de los naturalmente existentes en la imagen.

COMPONENTES PRINCIPALES: es una técnica de tratamiento estadístico que permite condensar una serie de variables en un menor número sobre la base de sus correlaciones mutuas.

CONSOLIDACIÓN: ajuste y compactación de los sedimentos en respuesta al incremento de carga.

DIGITALIZACION: el concepto refiere a cualquier conversión de un documento en formato numérico.

EL NIÑO: aguas ecuatoriales calidas, las cuales fluyen hacia el sur a lo largo de la costa del Perú durante febrero y marzo de ciertos años. Este fenómeno es causado por el movimiento del aire desde el polo, el cual causa un descenso en la costa que lleva al retroceso del flujo normal hacia el norte de las corrientes costeras frías. El Niño puede causar una gran reducción en la pesca y otros desastres económicos marítimos.

FIRMA ESPECTRAL: forma peculiar de reflejar o emitir energía de un determinado objeto o cubierta. Está afectada por las características físicas o químicas del objeto que interaccionan con la energía electro-magnética, y varía según las longitudes de onda.

FRECUENCIA: numero de ciclos por segundo que pasan por una punto fijo.

HISTOGRAMA: una representación grafica de las frecuencias observadas en una determinada imagen.

INFRARROJO: porción del espectro comprendida entre 0.7 y 100 micras, que tienen importancia para estudios de teledetección. Normalmente suele dividirse en infrarrojo cercano, medio y lejano. Este último también se conoce como infrarrojo térmico.

LINEA DE MÁS ALTA MAREA: es el datum limítrofe entre terrenos levantados y zonas de influencia del oleaje. Este es usado en cartas de navegación con referencia de rasgos topográficos.

LONGITUD DE ONDA: es la medida de la distancia que separa dos valores culminantes entre sucesivas ondas.

NIVEL DIGITAL: valor entero que traduce numéricamente la intensidad Radiométrica recibida por un sensor óptico-electrónico.

PIXEL: derivado del ingles "Picture element". Es el elemento pictórico mas pequeño de las imágenes que es susceptible de ser procesado.

PUNTOS DE CONTROL: se trata de elementos geográficos que pueden ser localizados precisamente en una imagen y en un mapa para ser empleados en la corrección cartográfica de dicha imagen.

RADAR: sistema activo de micro ondas que emite un haz energético sobre la superficie terrestre para luego recoger su reflexión sobre ella.

RADIACION: el proceso en el que la energía electromagnética es propagada a través del espacio libre.

RADIANCIA: total de energía radiada por unidad de área y por ángulo solidó de medida.

REALCE DE IMÁGENES: procesos digitales que tienen como fin mejorar la calidad visual de la imagen, mediante el aumento del contraste interno o la creación de nuevas bandas que ilustren mejor sobre sus características originales.

REFLECTIVIDAD: porcentaje de radiancia incidente que es reflejada por una superficie bidimensional.

RESOLUCION: la resolución es la medida de la habilidad de un sistema sensor para discriminar información dentro de la imagen. Refiere al tamaño de la mínima unidad de información en el terreno (espacial), al número de bandas disponibles (espectral), a los niveles de codificación (radiométrica) o a la frecuencia de cobertura (temporal).

SENSOR: cualquier instrumento que detecta energía electromagnética, la convierte en una señal y la presenta en forma susceptible de ser aprovechada para estudio.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA (SIG): conjunto de programas que permiten almacenar, recuperar, modificar, combinar cualquier tipo de variables georreferenciadas.

TELEDETECCION: es la técnica que permite obtener información sobre un objeto, área, o fenómeno a través del análisis de los datos adquiridos por un instrumento que no esta en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación.

VALOR ORDINAL: es un valor que determina posición. Esta medida muestra un lugar, tal como primero, segundo, tercero, pero no establece magnitudes o relativas proporciones.

VECINO MAS PROXIMO (nearest neighbor) es un método de remuestreo en el cual los datos de salida son iguales a los píxeles de entrada cuyas coordenadas estas mas cercanas a las coordenadas retransformadas de los píxeles de salida.

VECTORIAL: forma de almacenamiento de datos en un SIG, en el cual las distintas unidades temáticas se definen por las coordenadas de sus bordes. Una descripción topológica asociada a esa información grafica permite reconstruir posteriormente, las variables temáticas asociadas a esos polígonos.

VECTORIZAR: el concepto refiere a la conversión de un archivo de formato raster a formato vectorial.

RESUMEN

TITULO

ESTABLECIMIENTO DE LA JURISDICCIÓN DE LA DIMAR CON BASE EN CRITERIOS GEOLÓGICOS, GEOMORFOLÓGICOS Y MORFODINÁMICOS EN LA BAHÍA DE TUMACO.*

AUTOR

Andrés Mauricio Cáceres Bottia**

PALABRAS CLAVES

Terrenos consolidados; DIMAR CCCP; Tumaco; Pacifico Colombiano; procesamiento digital de imágenes; análisis multicriterio; sensores remotos; SIG.

DESCRIPCIÓN

El desarrollo del presente trabajo se realiza en la parte sur de la Bahía de Tumaco, zona perteneciente al departamento de Nariño en el Pacifico Colombiano y tiene como finalidad delimitar terrenos consolidados y no consolidados, que servirán como insumos primarios en la definición de zonas de Jurisdicción de la DIMAR a través de una propuesta metodológica que hace uso de sensores remotos espaciales y aerotransportados, administrados desde un entorno SIG.

Se realizaron tratamientos digitales sobre imágenes multiespectrales, aerofotografías e imágenes de radar, que ayudaron a la determinación de rasgos geológicos, geomorfológicos y morfodinámicos los cuales, validados y complementados mediante un muestreo sedimentario en la fase de campo, facilitaron la creación de mapas geológicos y geomorfológicos propuestos como criterios científicos precisos en la definición del grado de consolidación de un terreno; estos productos, dispuestos en un sistema de información geográfico SIG, permitieron la aplicación de herramientas de análisis multicriterio (álgebra de mapas) en la determinación del mapa de terrenos consolidados y no consolidados.

Finalmente, los productos resultantes poseen las normas propuestas por el IGAC para el ordenamiento y la clasificación de los datos, lo cual es beneficioso para la integración de la información en el SIG institucional de la DIMAR.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, Programa de Geología. Director Jorge Eduardo Pinto Valderrama.

ABSTRAC

HEADER

ESTABLISHMENT OF JURISDICTION ZONES OF DIMAR BY MEANS GEOLOGICAL, MORPHOLOGICAL AND MORPHODYNAMICS CRITERIONS AT THE TUMACO BAY.*

AUTHOR

Andrés Mauricio Cáceres Bottia**

KEY WORDS

Consolidated terrains; DIMAR CCCP; Tumaco; Pacifico Colombiano; digital image processing; map algebra; remote sensing; SIG.

DESCRIPTION

This work was realized in the south zone of Tumaco Bay in the department of Nariño localized in the Colombian pacific coast. It has the purpose of classify the terrains in unconsolidated and consolidated, this classification will be used like a primary data in the definition of jurisdiction zones of DIMAR through one proposed methodology that uses spatial and aero transported remote sensors, managed from an environment GIS.

On multiespectral images, radar images and aero photographs were realized digital treatments that served to determine geological, morphological and morphodynamics features, which were validated and complemented by means of one sedimentary sampling in the field phase, getting so the geological and geomorphological maps. These maps are proposed as scientific precise criterions in the definition of the consolidation grade of one terrain. These products are disposed in a geographical information system GIS, this allowed the application of tools of spatial analysis (map algebra that uses qualitative and quantitative approaches simultaneously) in the determination of consolidated an unconsolidated terrains map.

The final products have the standards proposed by the IGAC to put in order and classify the data which is very useful for the integration of the information in the institutional GIS of the DIMAR.

* Thesis work.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, Programa de Geología. Director Jorge Eduardo Pinto Valderrama.

DEDICATORIA:

Este trabajo lo dedico a mi abuelo, quien fue mi amigo, quien es mi fuerza y quien será mi ejemplo en los días venideros.

AGRADECIMIENTOS

Muy especialmente al Centro Control Contaminación el Pacífico CCCP y a su director, el Capitán Juan Manuel Soltau Ospina, por su apoyo y patrocinio en la realización y desarrollo de este proyecto en Tumaco, igualmente al Ingeniero Milton Puentes por su coordinación desde el área de zona costera, a los marineros Miguel Ortiz, Herney Castilla y Harold Fernández por su colaboración en la fase de campo, a la Ingeniera Ruby Ortiz por su ayuda y paciencia en el área de sistemas y en general a todo el personal militar y profesional del CCCP. A mi Director Jorge Eduardo Pinto Valderrama, por compartirme sus conocimientos y brindarme su amistad durante los últimos años y al profesor Juan Diego Colegial por su asesoría oportuna durante el transcurso del proyecto.

INTRODUCCION

La Dirección General Marítima DIMAR de la Armada Nacional a través del Centro Control Contaminación del Pacífico- CCCP es la entidad encargada de proteger y administrar los recursos que se encuentran en las zonas bajo su jurisdicción para el Pacífico Colombiano, con el fin mantener el equilibrio natural de las costas y a la vez dar un apropiado uso a estas zonas que son patrimonio Colombiano. Para lograr este cometido es necesario delimitar su área de inherencia, denominada terrenos de jurisdicción, objetivo principal del presente proyecto.

Mediante el artículo 166 del decreto 2324 de 1984 se establece la necesidad de determinar las áreas correspondientes a la jurisdicción de La Dirección General Marítima DIMAR de la Armada Nacional a través de el Centro Control Contaminación del Pacífico CCCP, ubicadas en estas zonas del litoral Pacífico Colombiano mediante el uso de métodos que comprueben la fiabilidad de los resultados de manera científica y técnica usando tecnologías de punta que se encuentran ya a su disposición.

El desarrollo de procedimientos metodológicos innovadores, le permite a la DIMAR crear insumos que apoyen la delimitación de su área jurisdiccional en cualquier sector del pacífico Colombiano³ de una manera ágil y eficiente.

Nuestra costa pacífica, es un escenario en el cual la interacción entre el mar y la tierra, nos hace posible observar hoy en día complejos ecosistemas, muchos de los cuales son el sustento de actividades humanas y lo más importante, son recursos naturales de frágil conservación. Una zona que reúne estas cualidades es la bahía de Tumaco, territorio en el cual, se cuenta además con un centro de investigación de reconocida trayectoria.

El CCCP, desde el área de modelado integral de zonas costeras, cuenta con una sección encargada de sensores remotos y SIG, herramientas estas, que han demostrado ser eficaces en el desarrollo de proyectos de investigación, por lo cual se han seleccionado junto a un control de campo, para asegurar el logro de los objetivos propuestos.

³ La costa del Pacífico Colombiano esta definida dentro del territorio nacional como una entidad geográfica de características naturales, demográficas, sociales, económicas y culturales.

1 ANTECEDENTES

- Ingeominas, mediante la memoria explicativa de 1980 desarrollo el mapa geológico del Departamento de Nariño, en el cual se describe la litología y la edad de los cuerpos aflorantes de la zona del Pacífico a una escala regional.
- Tovar (2002) realizó una descripción geomorfológica e intento cuantificar la dinámica multitemporal para el área de la bahía de Tumaco en conjunto con el CCCP como tesis de pregrado en geología de la universa EAFIT.
- Correa et. al. (1989), Realizaron la geomorfología de la franja costera desde la isla de Bocagrande hasta Punta Cascajal (o Isla del Gallo), y la sedimentología del fondo de la Bahía de Tumaco, con los principios de una variación de la línea de costa, para la isla de El Morro, identificando las zonas de erosión y acreción, cuantificando perdidas y ganancia para el periodo comprendido entre 1958 y 1985.
- Arango, J. L. y Ponce, A, 1982 realizaron un estudio sobre los sedimentos aluviales no consolidados, captados por numerosos aljibes en Tumaco, la isla del Morro y en otras poblaciones. Encontraron entre El Diviso, Espriella, el río Patía y el río Mataje rocas fluvio-volcánicas poco consolidadas con flujos de lodo volcánico, cenizas y capas de pumita, en terrazas y abanicos aluviales.
- El proyecto de caracterización y evaluación de la zona costera del pacifico colombiano. Anexo 4. Cambios de la línea de costa Tumaco realizado por el CCCP en 1998 hace una descripción detallada de la evolución de la línea de costa para las Islas de Tumaco, el Morro y la Viciosa desde 1958 hasta 1998.
- Otros estudios a considerar, son los realizados por el Centro de Control de Contaminación del Pacífico (CCCP), los cuales proporcionan un conocimiento mas detallados de los parámetros oceanográficos y metereológicos de la Bahía de Tumaco, además de otros informes realizados sobre el comportamiento de las playas, la intervención antrópica en estas, etc.

UBICACIÓN GEOGRAFICA

La zona de estudio, esta localizada al sur de la costa del Pacífico Colombiano, en el sector septentrional del litoral del departamento de Nariño. Para el desarrollo del presente trabajo, dos zonas de características diversas fueron escogidas de acuerdo a lo planteado por el centro. La zona A comprende las islas de Tumaco y El Morro, con un área de 30,3

Km², y la zona B abarca la parte sur de la Ensenada de Tumaco, hasta el estero Mejicano con un área de 149 Km² (Figura 1). Las coordenadas del área de estudio son:

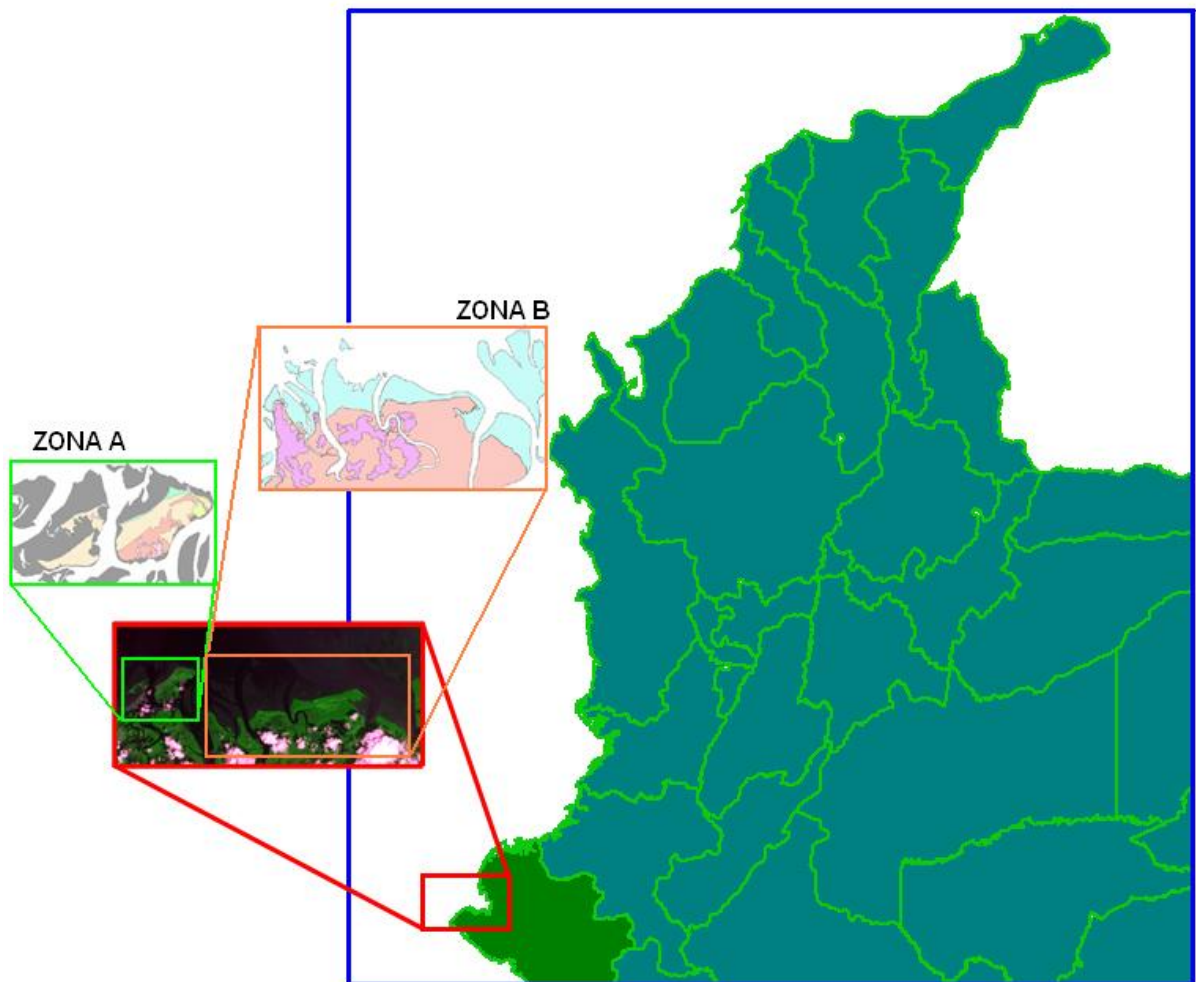
Tabla 1. Coordenadas Geográficas Zona A

	Esquina Nor-Oeste	Esquina Sur-Este
Latitud	1° 50' 14"	1° 48' 3"
Longitud	78° 47' 21"	78° 43' 19"

Tabla 2. Coordenadas Geográficas Zona B

	Esquina Nor-Oeste	Esquina Sur-Este
Latitud	1° 49' 25"	1° 44' 12"
Longitud	78° 43' 17"	78° 33' 50"

Figura 1. Área de estudio.



2 METODOLOGIA

La metodología propuesta para este proyecto propone resolver el problema de delimitación de la jurisdicción de la DIMAR aplicando conceptos de geología, geomorfología, morfodinámica y el uso de herramientas actuales como los sensores remotos y los sistemas de información geográfica SIG.

2.1 GEOMATICA

Los elementos usados son:

Un equipo PC de características AMD Athlon XP de 1.26 GHz y 1 Giga de memoria RAM, 80 Gigas de memoria en el disco duro y una tarjeta de video GForce de 128 Mb, optima para mejorar el desempeño de la interpretación visual de las imágenes.

El software usado en el procesamiento digital de las imágenes satelitales y aerofotografías fue el ERDAS IMAGINE 8.7, proporcionado por el centro para el proyecto.

2.1.1 Modelo Conceptual

En este primer nivel de abstracción se busca conceptualizar y definir formalmente los objetos en estudio, seleccionados del universo del mundo real. El resultado de este nivel de abstracción es la concepción humana de la realidad descrita formalmente. Normalmente solo las propiedades consideradas relevantes son incorporadas al modelo.

La Dirección General Marítima DIMAR de la Armada Nacional a través de el Centro Control Contaminación del Pacífico - CCCP- mediante el artículo 166 del decreto 2324 de 1984, ve la necesidad de determinar las áreas correspondientes a su jurisdicción ubicadas en estas zonas del litoral Pacífico Colombiano mediante el uso de métodos que comprueben la fiabilidad de los resultados de manera científica y técnica usando las tecnologías de punta que se encuentran ya a su disposición.

Según la definición de los BIENES DE USO PUBLICO encontrado en el artículo 167 parágrafo 2, la PLAYA MARITIMA corresponde a la Zona de material no consolidado que se extiende hacia tierra desde la línea de la más baja marea hasta el lugar donde se presenta un marcado cambio en el material, forma fisiográfica o hasta donde se inicie la línea de vegetación permanente, usualmente límite efectivo de las olas de temporal.

El escenario de intensa dinámica litoral dado por la interacción entre el mar y la tierra en las costas del Pacífico Colombiano, es el causante directo del relieve y el entorno fisiográfico, y marca la pauta en los procesos de depositación y erosión.

La geología y la geomorfología de la zona son el reflejo directo de estos procesos y la caracterización de las mismas se convierte en un método fiable para deducir y analizar los cambios de material, las geoformas fisiográficas y finalmente la consolidación de los depósitos.

La información cartográfica resultante para este proyecto se hará de acuerdo a las necesidades del CCCP, el cual propone un mayor detalle para la información recolectada en el casco urbano (zona A), elaborando mapas geológicos y geomorfológicos a escala 1:10.000, mientras que para la zona restante de la bahía (zona B) es conveniente trabajar a escala 1:50.000, de igual manera, los mapas de jurisdicción resultantes para cada zona también estarán ligados a estas medidas.

2.1.2 Modelo Lógico

En un modelo lógico se plasma la abstracción que se le ha dado al modelo conceptual en una serie de elementos que se encargan de hacer el enlace entre la percepción que tiene el usuario y la forma en que el equipo de hardware y software lo administran.

2.1.2.1 Clasificación y codificación

La Dirección General Marítima DIMAR posee la capacidad de crear sus propios modelos de clasificación para realizar levantamientos de cartografía en su jurisdicción, sin embargo, por no poseer un modelo de clasificación estipulado para mapas de tipo geológico, geomorfológico y de dinámica litoral, se seguirá el esquema cartográfico propuesto por el IGAC⁴. Dicho sistema se basa en clasificar la información en forma descendente partiendo de Temas, pasando a Grupos y finalmente clasificando el Objeto.

Temas: para la representación del modelo del mundo real, el IGAC asignó siete temas, cada uno con un código de cuatro dígitos.

- 1000: Puntos de Control
- 2000: Catastro

⁴ Modelo de datos. Catálogo de objetos CO-25. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Colombia.

- 3000: Transporte
- 4000: Cobertura Vegetal
- 5000: Hidrografía
- 6000: Relieve
- 7000: Áreas

Para el trabajo desarrollado, se usan los Temas correspondientes a Puntos de Control (código 1000) para representar los puntos de muestreo en los trabajos de campo, Áreas (código 7000) para caracterizar y codificar la información concerniente a mapas, y para la clasificación de datos tipo raster, se implemento el Tema Imágenes (código 8000).

La subdivisión de los Temas en Grupos y finalmente en Objeto, permite una ordenada y eficiente consecución de la información.

Figura 2. Diagrama esquemático del Tema PUNTOS DE CONTROL.

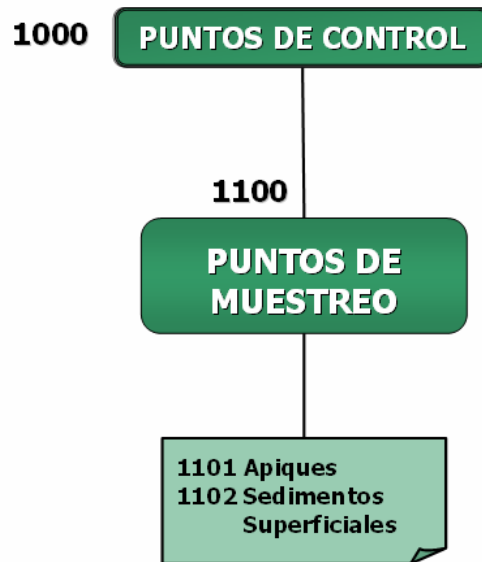


Figura 3. Diagrama esquemático del Tema AREAS.

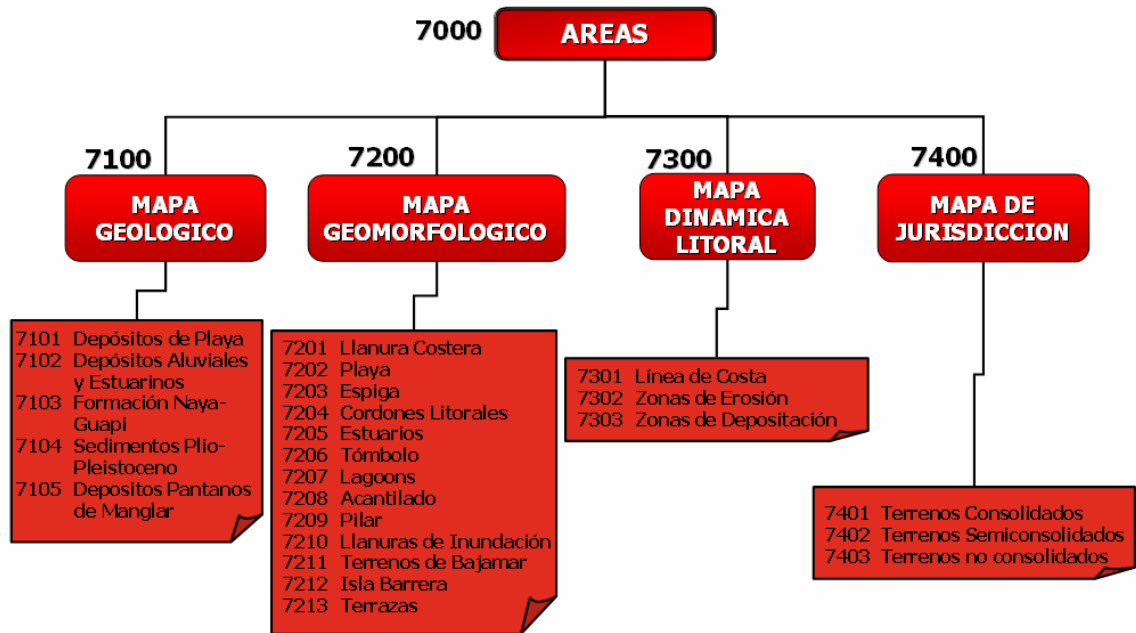
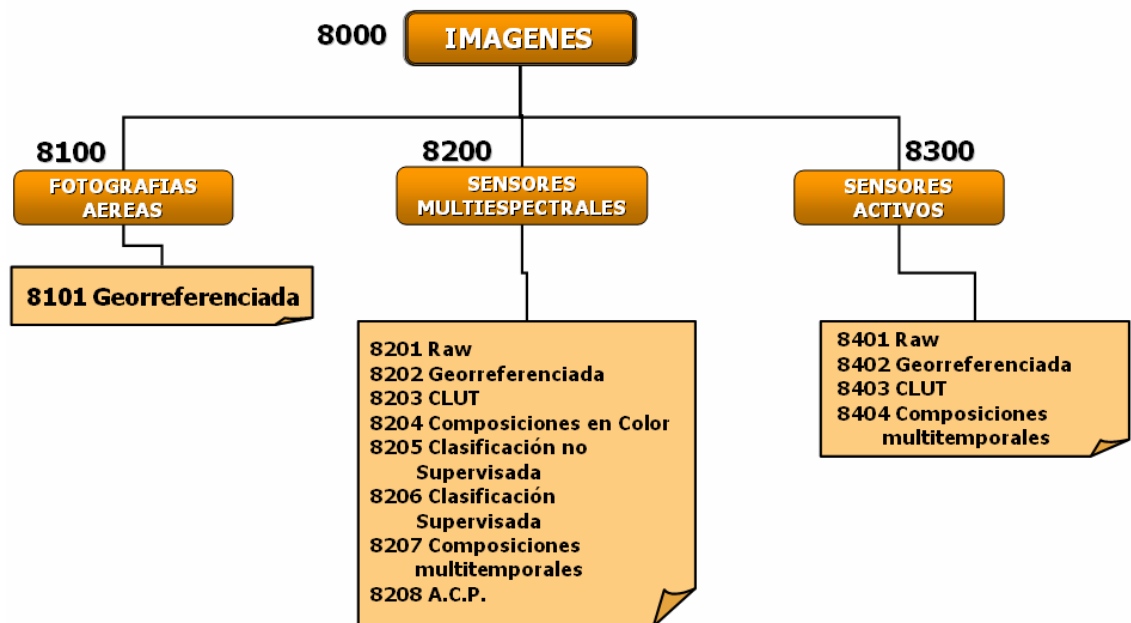


Figura 4. Diagrama esquemático del Tema IMAGENES



A la codificación de las imágenes se les asigna un orden específico propuesto para facilitar la ubicación de las mismas. En primer lugar se encuentra el código del objeto, esto para saber que tipo de información posee la imagen, segundo el nombre o el tipo del

sensor; para el caso de los sensores multiespectrales, una tercera parte que describe las bandas usadas y en algunos casos una cuarta con la fecha de adquisición de la imagen.

2.1.2.2 Mapas de Jurisdicción mediante análisis multicriterio

Con la geología y la geomorfología de una zona se puede deducir el origen de las geoformas, la proveniencia de los sedimentos, el medio de transporte de estos, la época de depositación, etc. Por consiguiente, la determinación de zonas con material consolidado o no consolidado es posible, aplicando una serie de análisis con base en mapas de tipo geológico y geomorfológico y valiéndose de herramientas actuales como los SIG.

Basándose en el análisis multicriterio aplicado desde el software ArcGis 9.0 especializado en SIG, se realiza el cruce de la información geológica y geomorfológica para dar como resultado el mapa de jurisdicción, el cual delimita las zonas de material consolidado, semiconsolidado y no consolidado en la zona A, correspondiente al casco urbano. En el mapa geomorfológico a cada geoforma se asigna un valor ordinal de acuerdo a sus propiedades deposicionales. De manera similar se clasifica el mapa geológico, teniendo en cuenta sus formaciones superficiales y geología.

La aplicación del análisis multicriterio en la determinación de terrenos consolidados y no consolidados, actualiza y mejora el uso de los métodos clásicos que pueden ser muy subjetivos. La ventaja principal de esta aplicación es que permite manejar simultáneamente información cualitativa y cuantitativa ya que el modelo semántico en que se basa, es proporcionado por la teoría de conjuntos difusos que ha demostrado en otras áreas una mejor aproximación a la realidad, al admitir que las decisiones se toman en una amplia gama de posibilidades y de criterios en ocasiones contradictorios o en conflicto, pero todos igualmente validos.

Se deja sentado que esta metodología es idónea en zonas en las cuales afloran rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias, ya que para terrenos con depósitos recientes (cuaternarios) es necesario solo un análisis geomorfológico y geodinámico.

2.1.2.3 Cuantificación erosión – depositación mediante análisis multicriterio.

La línea de costa⁵ es un agente cambiante a través del tiempo, por tanto, es la evidencia física de los procesos deposicionales y erosivos que sufre el litoral.

⁵ Para el presente trabajo la línea de costa es concebida como la línea de mas alta marea

Cuantificar la erosión – depositación es posible aplicando el análisis multicriterio a mapas debidamente vectorizados de líneas de costa de diferentes épocas, mediante herramientas SIG desde un software especializado, en este caso desde ArcGis 9.0.

2.1.3 Modelo Físico

En este capítulo se describen las formas de acceso de los datos, para hacer más eficiente el trabajo sobre estructuras de datos matriciales y vectoriales teniendo en cuenta que la organización de la información constituye un factor definitivo en el éxito de un proyecto.

El directorio principal de la estructura recibe el nombre de SIG-SR_2006, este se encuentra dividido en dos subdirectorios, uno almacena información de tipo matricial y el otro de tipo vectorial.

Figura 5. Estructura de directorios del proyecto.



El primero es IMÁGENES, en el cual se almacena la información de tipo matricial, y a su vez posee tres carpetas, la primera, Fotografías aéreas, la cual almacena las aerofotografías escaneadas y georreferenciadas del área de estudio, la segunda SENSORES MULTIESPECTRALES, la cual guarda las imágenes de los sensores ASTER e Ikonos, y la tercera SENSORES ACTIVOS, que almacena la imagen del sensor activo RADARSAT.

El segundo subdirectorio es MAPAS VECTORIALES, el cual se divide en dos carpetas; la primera con el nombre de AREAS, donde van almacenados los mapas Geológicos, Geomorfológicos, de dinámica litoral y de Jurisdicción, en la segunda carpeta, la cual recibe el nombre de PUNTOS DE CONTROL están guardados los mapas de puntos correspondientes a Apiques y a Sedimentos Superficiales.

2.2 SENSORES REMOTOS

La dimensión temporal se subraya como una de las aplicaciones mas importantes en la teledetección, puesto que es pieza clave para evaluar una amplia variedad de fenómenos en el seguimiento de su dinámica u otras modificaciones que experimenta una región [Chuvienco, 1996]; Permite la observación de cambios fenológicos como respuesta a variaciones climáticas en general, o incluso a eventos importantes como el Niño – La Niña.

2.2.1 Selección De Las Imágenes

Las imágenes proporcionadas por el CCCP para el desarrollo del proyecto son: las aerofotografías, de gran utilidad en el análisis de dinámica litoral y la imagen Ikonos de alta resolución. Esta información se utiliza solo para la zona A.

Para la zona B, se trabaja con imágenes ASTER obtenidas gratuitamente desde la página de la nasa⁶ y con una imagen de Radarsat cedida por el ingeniero Franklin Bedoya de la CVC⁷ en Cali.

Los datos del sensor multispectral ASTER son de gran utilidad debido a la calidad de su información en cuanto a resolución espacial, la cual es de 15 y 30 metros por píxel suficiente para cubrir el estudio a escala regional (1:50.000) en la zona B y su resolución espectral, con bandas en el espectro óptico, lo cual lo hace idóneo en el análisis de la interacción agua-continente

Para el caso, los sensores satelitales usados para la fotointerpretación fueron:

Tabla 3. Datos generales de los sensores satelitales

SENSOR	Res. Espacial	Res. Radiométrica	Res. Temporal	Res. Espectral
IKONOS	1- 4 metros	11 bits	1- 3 días	5 bandas
ASTER	15 a 90 metros	8 bits	16 días	14 bandas
RADARSAT	12,5 metros		3-24 días	C - HH

⁶ <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>

⁷ Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

Resumen imagen Ikonos:

Nombre: 8301-ikonos_02.img

Ubicación: \SIG-TUMACO\IMAGENES\IKONOS

Fecha de adquisición: 5 de febrero de 2002

Resolución espacial: 1 metro por píxel

Resolución espectral: 4 bandas (azul, verde, rojo e infrarrojo cercano)

2.2.1.1 Resumen imágenes ASTER:

Nombre: 8201-AST_07_SWIR_2003-11-25.hdf

Ubicación: \SIG-TUMACO\IMAGENES\ASTER

Fecha de adquisición: 2003-11-25 T 15:44:10.8910000

Resolución espacial: 30 metros por píxel

Resolución espectral: subsistema SWIR (Short Wave Infrared) 6 bandas (1.6 a 2.5 micrones).

Observación: superficie de reflectancia

Nombre: 8201-AST_07_VNIR_2003-11-25.hdf

Ubicación: \SIG-TUMACO\IMAGENES\ASTER

Fecha de adquisición: 2003-11-25 T 15:44:10.8910000

Resolución espacial: 15 metros por píxel

Resolución espectral: subsistema VNIR (Visible and Near Infrared) 3 bandas (0.5 a 0.86 micrones).

Observación: superficie de reflectancia

Nombre: 8201-AST_09_SWIR_2003-04-06.hdf

Ubicación: \SIG-TUMACO\IMAGENES\ASTER

Fecha de adquisición: 2003-04-06 T 15:50:01.7290000

Resolución espacial: 30 metros por píxel

Resolución espectral: subsistema SWIR (Short Wave Infrared) 6 bandas (1.6 a 2.5 micrones).

Observación: superficie de radiancia

Nombre: 8201-AST_09_VNIR_2003-04-06.hdf

Ubicación: \SIG-TUMACO\IMAGENES\ASTER

Fecha de adquisición: 2003-04-06 T 15:50:01.7290000

Resolución espacial: 15 metros por píxel

Resolución espectral: subsistema VNIR (Visible and Near Infrared) 3 bandas (0.5 a 0.86 micrones).

Observación: superficie de radiancia

Nombre: 8201-AST_09_SWIR_2003-11-25.hdf

Ubicación: \SIG-TUMACO\IMAGENES\ASTER

Fecha de adquisición: 2003-04-06 T 15:50:01.7290000

Resolución espacial: 30 metros por píxel

Resolución espectral: subsistema SWIR (Short Wave Infrared) 6 bandas (1.6 a 2.5 micrones).

Observación: superficie de radiancia

Nombre: 8201-AST_09_VNIR_2003-11-25.hdf

Ubicación: \SIG-TUMACO\IMAGENES\ASTER

Fecha de adquisición: 2003-11-25 T 15:44:10.8910000

Resolución espacial: 15 metros por píxel

Resolución espectral: subsistema VNIR (Visible and Near Infrared) 3 bandas (0.5 a 0.86 micrones).

Observación: superficie de radiancia

2.2.1.2 Resumen imagen RADARSAT:

Nombre: 8401-m0114365.img

Ubicación: \SIG-TUMACO\IMAGENES\RADARSAT

Fecha de adquisición: 1997-05-15 T 23:32:4784

Resolución espacial: 12.5 metros por píxel

2.2.1.3 Fotografías aéreas

Nombre: 8101-1996-c-2626-(Número)

Ubicación: \SIG-TUMACO\IMAGENES\Fotografias Aereas

Vuelo: C-2626

Fecha: 1998

Ubicación geográfica: Tumaco

Escala: 1:10.100

Secuencia (No de la foto): 80-84,117-124

No de Fotos: 11

Faltantes: 83, 119.

Nombre: 8101-1958-c-836-(Número)

Ubicación: \SIG-TUMACO\IMAGENES\Fotografias Aereas

Vuelo: C-836

Fecha: 1958

Ubicación geográfica: Tumaco

Escala: 1:30.000

Secuencia (No de la foto): 126 y 128

No de Fotos: 2

Faltantes: 127

Nombre: 8101-RGB_tumaco2004.img

Ubicación: \SIG-TUMACO\IMAGENES\Fotografias Aereas

Fecha: 2004

Ubicación geográfica: Tumaco

Resolución espacial: 1 metro por píxel

Resolución espectral: 3 Bandas RGB

No de Fotos: 1

El CCCP, en su área de Sensores Remotos, posee el software calificado para la realización del procesamiento digital, el cual se desarrolla mediante ERDAS IMAGINE 8.7; mientras que para el manejo de la información SIG se emplea el programa ArcGis 9.0.

2.2.2 Procesamiento Digital para los Mapas Geológico y Geomorfológico

Gran número de aplicaciones posee la teledetección, entre ellas, el develar algunos rasgos geológicos mediante el uso de sensores multiespectrales.

Esta propuesta metodológica plantea nuevos aportes en la cartografía geológica y geomorfológica aplicando técnicas de teledetección muy difundidas en el ámbito y que posteriormente pueden ser aplicadas en otras zonas del pacifico Colombiano

2.2.2.1 Correcciones geométricas:

Considerando los errores en la posición relativa de los píxeles inducidos por la geometría de visión del sensor y por variaciones en el terreno, las imágenes ASTER y RADARSAT, son georreferenciadas mediante el método de vecino más próximo (Nearest Neighborhood) el cual transfiere los ND a las coordenadas corregidas en el software

ERDAS IMAGINE 8.7. La corrección se baso en puntos de control tomados en campo e información cartográfica suministrada por el CCCP.

El sistema de coordenadas propuesto por el centro es:

Tipo de Proyección: Transversa de Mercator

Datum: WGS 84

Factor de escala en el meridiano central: 1

Longitud del Meridiano Central: 80° 04' 51.3"

Latitud de Origen de proyección: 4° 35' 53.57"

Falso este: 1000000

Falso Norte: 1000000

2.2.2.2 Análisis visual

Mediante el análisis visual se intenta determinar y diferenciar las coberturas del terreno más importantes con base a su comportamiento espectral en cada una de las bandas del espectro óptico del sensor ASTER. Esto, con el fin de establecer las combinaciones de bandas apropiadas.

La literatura sobre teledetección muestra que el análisis de las propiedades físicas de algunos cuerpos y sus fenómenos pueden ser aprovechados para discernir que bandas pueden ser útiles y cuales no.

En el caso del agua marina, cuando un rayo de luz (en este caso luz solar) incide en ella, parte de sus radiaciones son absorbidas y transformadas en calor, la otra parte es dispersada por las propias moléculas del agua o por componentes en suspensión. En el espectro visible, mientras que radiaciones rojas y anaranjadas son absorbidas rápidamente, las verdes, azules y violeta se hacen más visibles. Esto indica que las bandas más útiles en la determinación de terrenos de bajamar (terrenos cubiertos la mayor parte del día por el mar) son las bandas del sensor ASTER ubicadas en la región del visible.

En el caso de los cuerpos con algún grado de humedad, como las llanuras de inundación, las bandas de que mejor delimitan sus rasgos son las bandas del ubicadas en el infrarrojo cercano.

Se observo además que la banda 4 (1.6560 μm) refleja cuerpos arenosos dado que este material tiene altos umbrales de reflectancia precisamente en esta longitud de onda (1.5 μm).

Por ende se crean las composiciones en color con las bandas R2, G3 y B4 en las imágenes 8204-AST_09_BANDAS_234_2003-11-25.img y 8204-AST_09_BANDAS_234_2003-04-06.img.

2.2.2.3 Estadísticas de las imágenes e histograma de la imagen

El conocimiento de las estadísticas básicas de la imagen ofrece una fuerte herramienta para realizar operaciones de procesamiento. La operación más elemental que se puede realizar a una imagen es describir su tendencia y dispersión, es decir, conocer cual es la tendencia general de la radiancia en cada banda y que nivel de homogeneidad existe entre los píxeles. Estos cálculos se basan principalmente en la estadística descriptiva [Chuvienco, 1996]. Para cada banda las principales variables calculadas son: Valores mínimos y máximos, el rango, la media y la desviación estándar.

Igualmente es necesario conocer la relación entre bandas por medio de estadística descriptiva multivariada, con el objetivo de analizar el grado de información que aporta cada una [Jensen 1996]. Este análisis se realizó obteniendo la matriz de covarianza y el coeficiente de correlación.

En el histograma, la localización de estas variables nos permite deducir la tonalidad dominante en cada banda, su anchura está relacionada con el contraste y la presencia de picos relativos puede significar determinadas clases de cobertura. Varios autores consideran la visualización del histograma como una primera valoración muy útil de la imagen [Jensen, 1996; Chuvienco, 1996].

2.2.2.4 Clasificación digital

El método no supervisado se puede aplicar sin tener ningún conocimiento del área en cuestión, por tanto, esta herramienta es útil en las primeras etapas de reconocimiento de la zona, ya que automáticamente clasifica grupos (clusters) a partir de firmas similares (valores del píxel), agrupando en forma temática zonas específicas, lo cual facilita la delimitación para la validación de campo.

La clasificación no supervisada es aplicada a la imagen ASTER 8202-AST_09_VNIR_2003-11-25.tif de la zona (Figura 10) usando el algoritmo ISODATA. Esta usa la fórmula de la distancia espectral mínima para formar cúmulos (cluster). El método comienza con el promedio de un conjunto de firmas espectrales existentes o con un cúmulo promedio arbitrario, como en este caso.

La clasificación supervisada es realizada posterior al reconocimiento de campo, donde se verifican rasgos geomorfológicos in situ y mediante el análisis de las muestras de campo se comprueba la clasificación temática de puntos estratégicos ubicados en la zona

usando el GPS geodésico. Teniendo ya los puntos de control analizados y clasificados a partir de su geología y geomorfología, se procede a registrar las firmas espectrales para las áreas en las imágenes ASTER 8202-AST_09_VNIR_2003-11-25.tif e Ikonos 8301-ikonos_02.img.

2.2.3 Procesamiento Digital Para Dinámica Litoral

Los Sensores Remotos, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), constituyen una fuente valiosa de información para la evaluación de los recursos ambientales [Pernia & López 2001].

Entre los aportes mas destacados de la teledetección espacial se encuentra el seguimiento de procesos dinámicos, dado que las imágenes de satélite constituyen una valiosísima fuente para observar los cambios que ocurren en la superficie terrestre debido a diferentes procesos como: los ciclos estacionales, catástrofes naturales y afectaciones antrópicas.

Para abordar estudios multitemporales con teledetección es preciso que el sistema sensor proporcione una cobertura periódica, en las mismas bandas espectrales, y con condiciones de observación similares (altura, hora, ángulo de adquisición) [Chuvieco, 1996] y se realiza comparando, píxel a píxel los ND de las distintas imágenes. En consecuencia, es necesario eliminar previamente cualquier cambio en los ND que no sea debido a cambios reales en la cubierta ocasionados por desajustes geométricos, los cuales fueron corregidos desde el principio mediante puntos de control obtenidos de mapas e imágenes ya referenciadas espacialmente.

Teniendo en cuenta estas observaciones, vemos que el sensor ASTER es idóneo para esta tarea, ya que la resolución temporal de este es de cada 16 días y las propiedades entre tomas de información se mantiene constante.

Otros factores a tener en cuenta es que la zona de estudio esta ubicada sobre el trópico, a 1° hacia el norte de la línea del ecuador, por tanto, las variaciones climáticas están solo ligadas a periodos de lluvias más no a variaciones de tipo estacional. Sin embargo un factor que afecta grandemente la adquisición de adecuada información es el alto porcentaje de nubosidad, el cual es constante en todo el año. Se trabajan las imágenes que contenían menor nubosidad, aun así, algunas zonas quedan incompletas debido a este factor.

2.2.3.1 Color Lookup Table CLUT

Este método permite modificar la relación entre el ND almacenado en la imagen y la intensidad de brillo con que se visualiza (NV) en la pantalla y su objetivo en este caso es

poder distinguir el dominio agua del dominio continente y así conseguir diferenciar y posteriormente vectorizar la línea de costa (línea de más alta marea).

El procedimiento se realiza de forma empírica mediante prueba y error, teniendo en cuenta el comportamiento estadístico de la imagen y su histograma. Las imágenes resultantes en la aplicación de esta técnica son: 8203-AST_09_VNIR_2003-04-06.img y 8203-AST_09_VNIR_2003-11-25.img

2.2.3.2 Análisis de componentes principales (A.C.P.)

La implementación de este algoritmo tiene dos objetivos. Como primera medida, la diferenciación de línea de costa, y segundo, corroborar también de forma cualitativa zonas que han sufrido algún tipo de variación entre imágenes de diferentes fechas.

En el primero, se empleo de manera típica, condensando la información de las bandas del visible e infrarrojo cercano del sensor ASTER en dos componentes, y así delimitar con mayor precisión la línea de costa (línea de más alta marea).

Para el caso del análisis multitemporal se utiliza de forma particular, ya que no interesan los primeros componentes, que son los que almacenan la información común, que para este caso sería la información constante en las imágenes para ambas fechas, sino, aquellos componentes resultantes, ya que estos recogen la información no común, es decir, información sobre la variación entre una y otra fecha, y esto es precisamente lo que interesa.

Se ha comprobado que los últimos componentes, resultantes del A.C.P. de bandas del visible e infrarrojo cercano recogen habitualmente el cambio entre fechas [Bryrne et al, 1980 en Chuvieco, 1996]. La imagen resultante en la aplicación de este procedimiento es: 8208-AST_09_6COMPONENTES_2003-11-25_2003-04-06.img.

2.2.3.3 Composiciones Multitemporales

Esta técnica es aplicada para realizar un primer análisis visual, de forma cualitativa sobre la evolución multitemporal de la línea de costa sobre imágenes de diferentes fechas.

Es importante entender que en este análisis se deben considerar los errores en las posiciones relativas de los píxeles inducidos por la geometría de visión del sensor y por variaciones en el terreno. En el caso de la zona de estudio, estos defectos son descartados debido a que la topografía del área es suave y de poca o nula inclinación. Sin embargo, la georreferenciación de la imagen para transferir los niveles digitales (ND) originales a las coordenadas corregidas es muy importante ya que pueden incidir en valores erróneos a la hora de realizar el cálculo algebraico entre imágenes.

Otros factores que pueden incidir en una mala interacción entre los datos de imágenes de diferentes fechas son sus componentes espectrales y radiométricos. Con el fin de evitar este inconveniente se usan las imágenes ya realzadas mediante la tabla de color (CLUT), las cuales están clasificadas en solo dos zonas, dominio agua y dominio continental, por ende, la variación entre una zona u otra es visualizada claramente lo cual se refleja en una optimización de los resultados.

Un análisis inicial se realiza sobre las imágenes ASTER de 2003 y RADARSAT del 1997; posteriormente el análisis se realiza entre imágenes ASTER del mismo año (2003) de los meses abril y noviembre. La imagen resultante en la aplicación de este método es: 8207-AST_09_6BANDAS_2003-11-25_2003-04-06.img

2.3 TRABAJO DE CAMPO

La fase de campo es vital en el desarrollo del presente trabajo ya que mediante esta se realiza un muestreo en ambas zonas piloto para identificar los principales cuerpos presentes y se verifican los rasgos geomorfológicos vistos en las aerofotografías.

Las metodologías escogidas para los muestreos de campo son dos: apiques y muestreo de sedimentos superficiales, basadas en las necesidades específicas de las zonas y en la escala de trabajo.

Para la zona A concerniente a las Islas de Tumaco y El Morro se escoge trabajar usando el método de apiques, y recoger un muestreo del subsuelo, debido a que las islas se encuentran sobrepobladas, y el reconocimiento superficial es imposible.

Para la zona B, entre el Estero Aguaclara y el Estero Mejicano, el trabajo se desarrolla mediante muestreo de sedimentos superficiales en campo.

La caracterización de las muestras recolectadas se realiza mediante un análisis mineralógico macroscópico de los sedimentos con la ayuda de un estereomicroscopio de 60-100 aumentos marca Leyca, para el cálculo de porcentajes de cuarzo, feldespatos, minerales ferromagnesianos y micas, además del tamaño de grano basándose en la tabla de tamaño de grano de Wentworth tomada de Folk 1974.

2.3.1 Apiques

Los apiques son perforaciones de poca profundidad que se realizan con el fin de determinar el grado de consolidación del terreno y saber así si este fue sometido a relleno antrópico.

Los apiques se elaboran teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ Diámetro: mínimo 50 cm
- ✓ Profundidad: mínimo 1.50 m o hasta donde se observe la presencia del horizonte correspondiente a roca consolidada o hasta el nivel freático.

Para la realización de este trabajo se utilizan las siguientes herramientas:

- Pala-draga
- Pala plana
- Metro
- GPS Geodésico
- Cámara fotográfica digital
- Bolsas, cinta y marcador para almacenar la muestra in situ.
- Libreta de campo

El procedimiento de campo para el casco urbano (zona A), se realiza a partir de un pre-análisis de la información existente, como fotografías aéreas de la zona, imágenes de satélite de alta resolución (Ikonos 1m/pix) y mapas temáticos del área y teniendo en cuenta principalmente que la escogencia espacial de los puntos a muestrear esta ligado a las necesidades planteadas por el centro (CCCP) ya que la prioridad en esta zona es resolver y delimitar terrenos de jurisdicción. En la isla de Tumaco no se pudo utilizar técnicas basadas en teledetección debido a su densa cobertura urbana, sin embargo se aplicaron conceptos convencionales de geotecnia y geología principalmente, mientras que en las islas la Viciosa y del Morro, la utilidad de los sensores remotos fue fundamental ligado al análisis geomorfológico y morfodinámico.

2.3.2 Muestreo De Sedimentos Superficiales

El muestreo sedimentario se realizara de manera aleatoria, con base en fotografías aéreas de la zona y siguiendo los resultados obtenidos en la imagen clasificada no

supervisada del sensor ASTER el cual define diferentes áreas basadas en sus propiedades espectrales.

El objetivo de este procedimiento es recolectar dos o más muestras por cada zona demarcada en la imagen no supervisada para la zona B y así corroborar los resultados para realizar la clasificación supervisada.

3 RESULTADOS

Los resultados propuestos son producto de la aplicación de una propuesta metodológica basada en tecnologías informáticas de cartografía automatizada aplicando herramientas como los sensores remotos y los SIG. Es importante resaltar que la validación de los resultados se realiza con base en criterios geológicos y geomorfológicos aplicados a una necesidad específica, que para el caso es crear insumos para la delimitación de las áreas de jurisdicción de la DIMAR.

3.1 TRATAMIENTO DE IMÁGENES

Algunos rasgos geológicos y geomorfológicos pueden detectarse fácilmente a partir de imágenes espaciales mediante una interpretación visual a partir de la imagen original, o mejor aun, tras aplicar alguna técnica de realce.

3.1.1 Análisis visual

En las figuras 6 y 7 se observa la recolección de firmas espectrales en todas las bandas del espectro óptico, para una zona en la que interactúan los tres rasgos más generales, agua, terrenos de bajamar y terreno continental.

Figura 6. Recolección de firmas espectrales de agua, terrenos de bajamar y dominio continental en las bandas del visible e infrarrojo cercano de 15 m*pixel sensor ASTER.

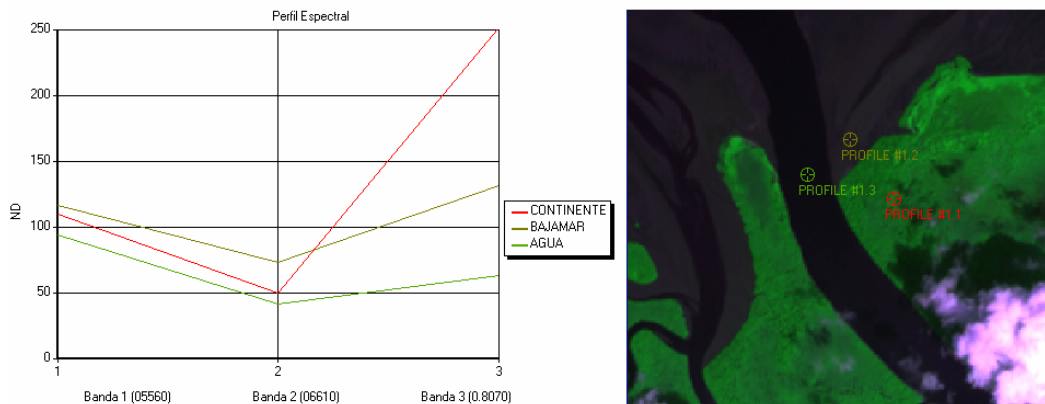
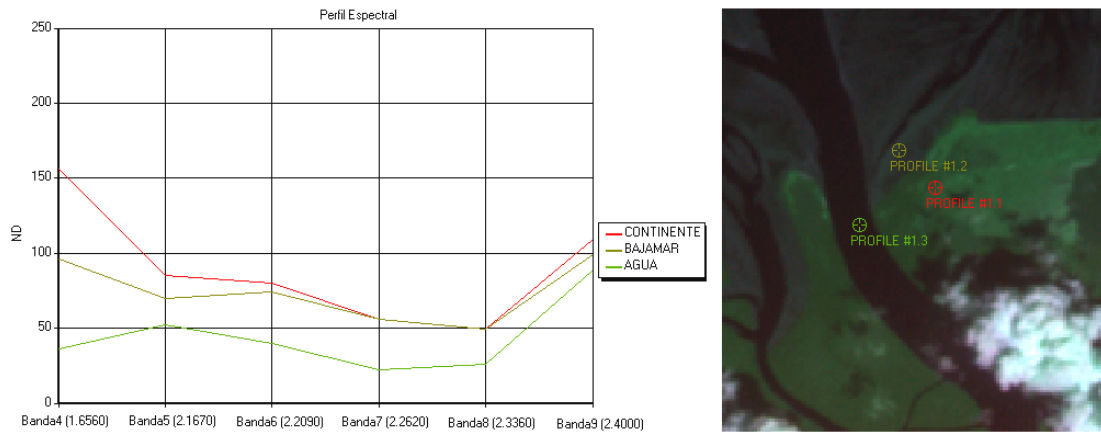
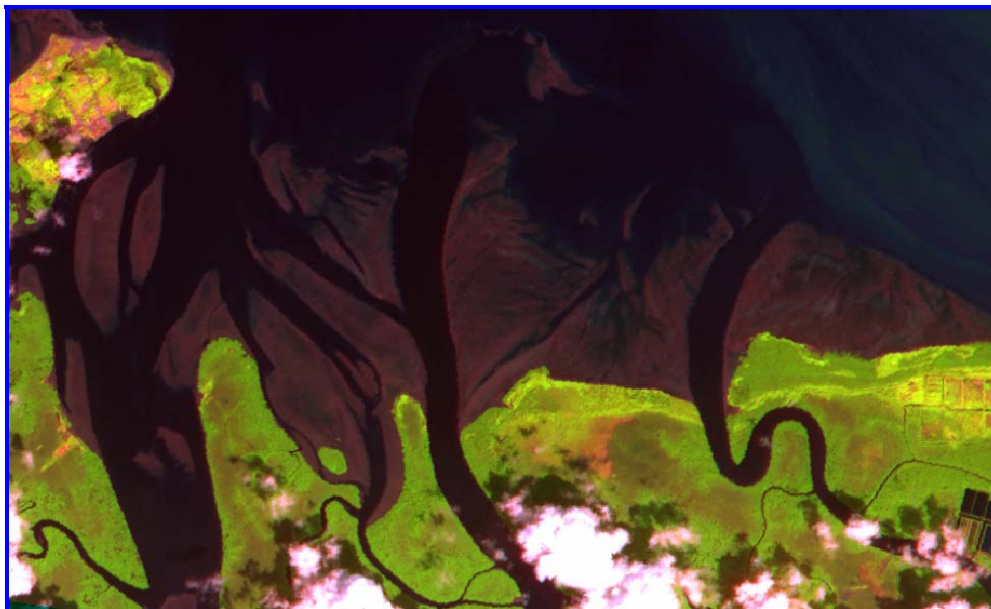


Figura 7. Recolección de firmas espectrales de agua, terrenos de bajamar y dominio continental en las bandas del infrarrojo de 30 m*pixel sensor ASTER.



La banda 3 (0.8070 μm) y la banda 4 (1.6560 μm), pertenecientes al infrarrojo cercano del sensor ASTER muestran en el perfil espectral una amplia diferenciación de los tres cuerpos, dado que los valores de radiación características del dominio continental para estas imágenes son mas altas en estas bandas, mientras que los cuerpos con agua (esteros y terrenos de bajamar) absorben mayor energía a medida que aumenta la longitud de onda, como se observa en ambas graficas. Teniendo en cuenta las propiedades de estas bandas se crea la composición de bandas 432 (Figura 8).

Figura 8. Combinación de bandas R: 4 (1.6 μm); G: 3 (0.8070 μm); B: 2 (0.6610 μm) para la imagen 8204-AST_09_BANDAS_234_2003-11-25.img.



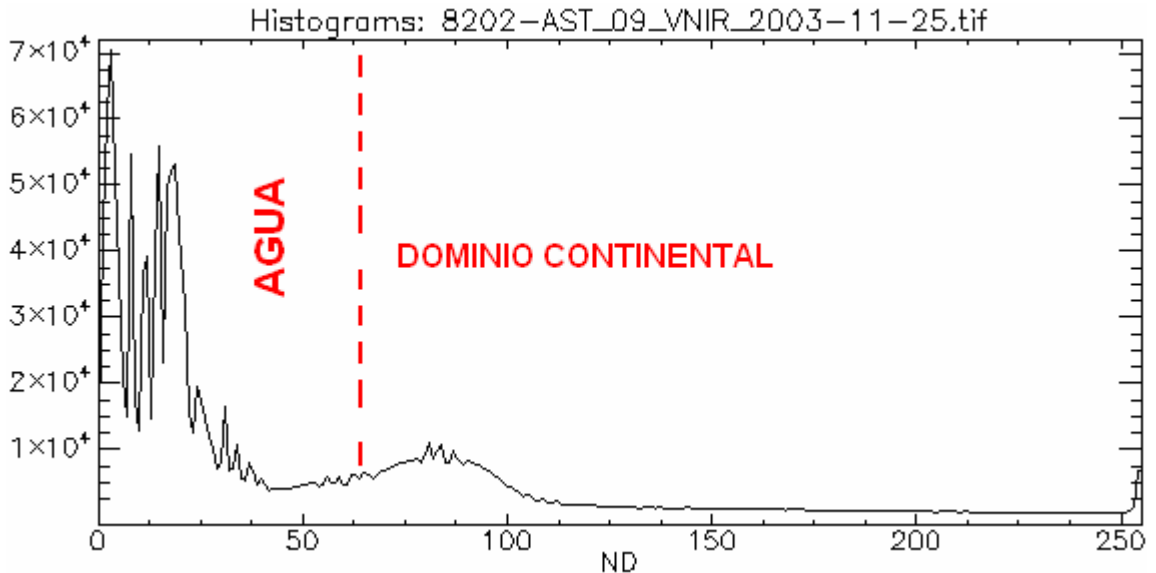
3.1.2 Estadísticas de las imágenes e histograma de la imagen

Las estadísticas básicas de las imágenes ASTER (ANEXO 1), muestran altas desviaciones para las bandas 1 y 2, dado por el efecto de dispersión atmosférica presentado por los altos porcentajes de humedad y nubosidad. En el histograma de la banda 3 (Figura 9) de la imagen 8202-AST_09_VNIR_2003-11-25.tif, perteneciente al infrarrojo cercano, se observa el comportamiento estadístico de los píxeles, la distribución de los ND en la imagen, medidas de tendencia central, dispersión, tonalidad dominante y presencia de picos.

Adicionalmente el histograma (figura 9) demuestra que los cuerpos que poseen un contenido de agua tendrán una alta absorción, con bajos valores de ND y por tanto un color más oscuro en la escala de grises, mientras que para el caso del dominio continental, los ND se acercan a tonos más claros y poseen un rango mas amplio.

En las matrices de covarianza y correlación, se observa que las bandas 1 y 2 mantienen valores similares entre si, mientras que para la banda 3 se observan valores mas bajos, siendo útil el uso de esta banda para la distinción de un mayor numero de coberturas.

Figura 9. Histograma de la banda 3 imagen 8202-AST_09_VNIR_2003-11-25.tif (infrarrojo cercano).



Las estadísticas básicas de la imagen Ikonos (ANEXO 1), muestran rangos amplios en los niveles digitales entre los valores máximos y mínimos, además valores cercanos entre la

media y la mediana en cada banda, lo que se traduce en una desviación estándar relativamente baja.

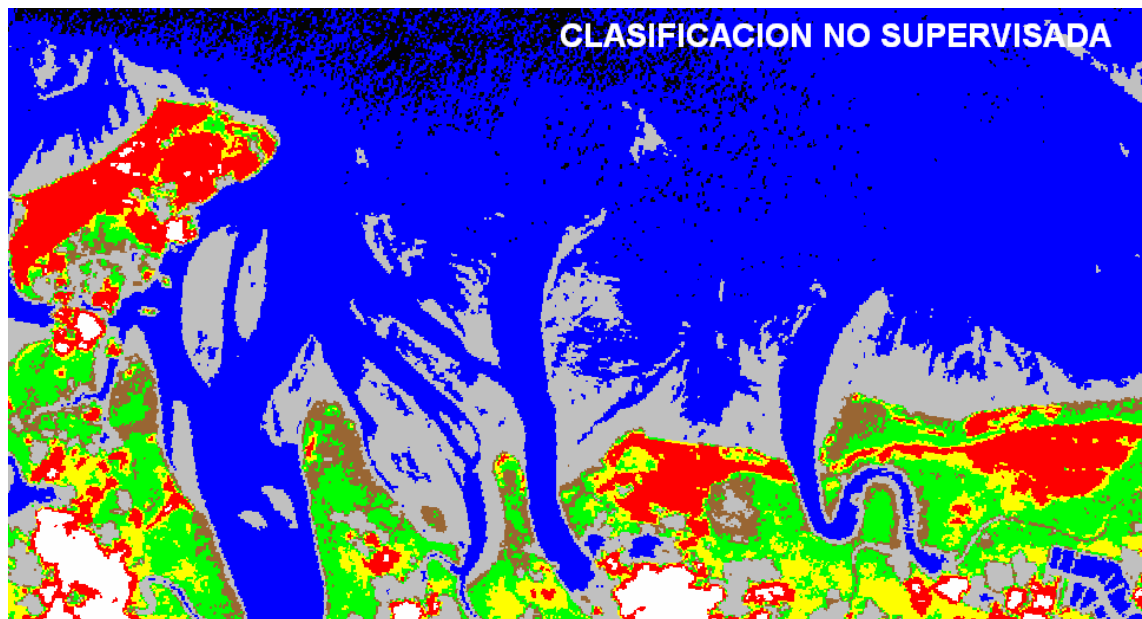
En la matriz de correlación se observan altos valores entre las bandas a excepción de la banda 3, representando los valores mas bajos por lo tanto esta presenta la información mas contrastada, por lo tanto esta banda se hace idónea para abordar la clasificación supervisada.

Los valores encontrados en la matriz de covarianza de la imagen Ikonos, (ANEXO 1) permiten observar la forma como las bandas varían conjuntamente, mostrando así una relación y dependencia alta entre las variables, factor que pudo generar la no diferenciación entre algunas cubiertas [Agudelo et al, 2004] como en el caso de Playa 1 y Agua

3.1.3 Clasificación digital.

Mediante la clasificación digital se obtiene una perspectiva mas clara para realizar la cartografía temática de la zona de estudio.

Figura 10. Clasificación no supervisada. 15 clases temáticas.



A través del método no supervisado se consiguieron 15 clases temáticas (figura 10) las cuales demarcaron zonas de interés para la fase de campo. Las áreas rojas aparecen

claramente delimitadas, siguiendo un patrón paralelo a la costa, las áreas amarillas están muy relacionadas con los afluentes fluviales de la zona y las áreas marrones parecen estar ligadas solo a un tipo de vegetación, de poca altura como pastos.

Aplicando el método supervisado para la imagen ASTER, nueve zonas de entrenamiento fueron escogidas (Figura 11), teniendo en cuenta los resultados en la fase de campo y valiéndose de las características espectrales propias de cada zona las clases temáticas son:

Veget1: vegetación de poca altura, típica de las barras de arena

T_bajamar: correspondiente a depósitos de aluviales y de estuarios.

Sombras de nubes 1 y 2 y nubes 1 y 2: interferencia en la atmósfera debido a nubosidad.

Manglar: zonas con vegetación espesa de tipo manglar.

Llanuras de inund: zona correspondiente a llanuras de inundación.

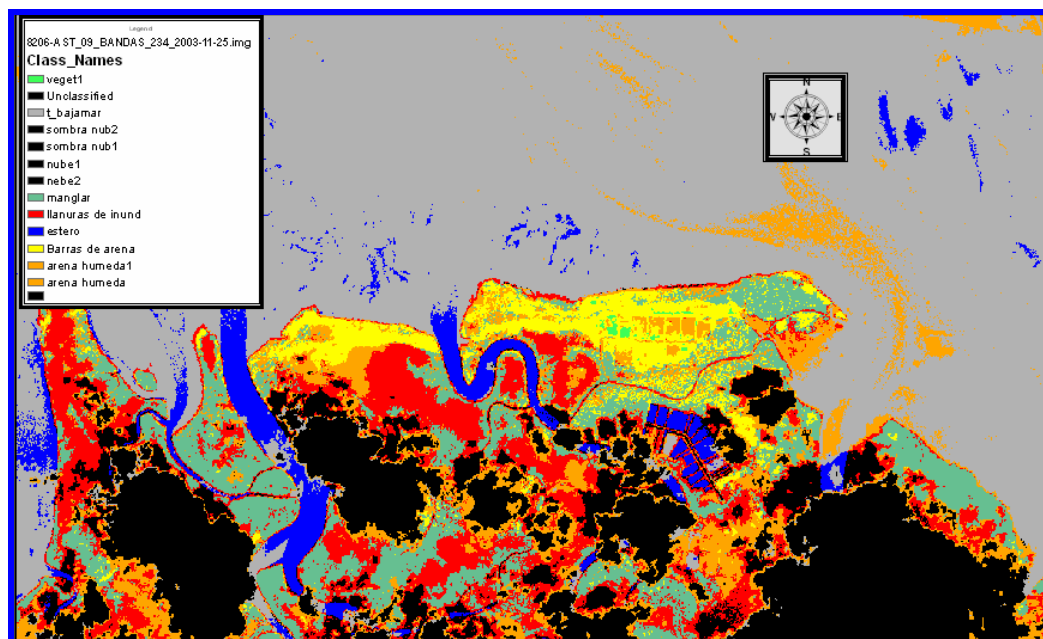
Estero: afluentes fluviales.

Barras de arena: concordante con Depósitos arenosos.

Arena húmeda1: depósitos arenosos con un grado de humedad.

Arena húmeda2: depósitos arenosos con un grado de humedad.

Figura 11. Mapa de clasificación supervisada para la imagen ASTER 8206-AST_09_BANDAS_234_2003-11-25.img en la zona B

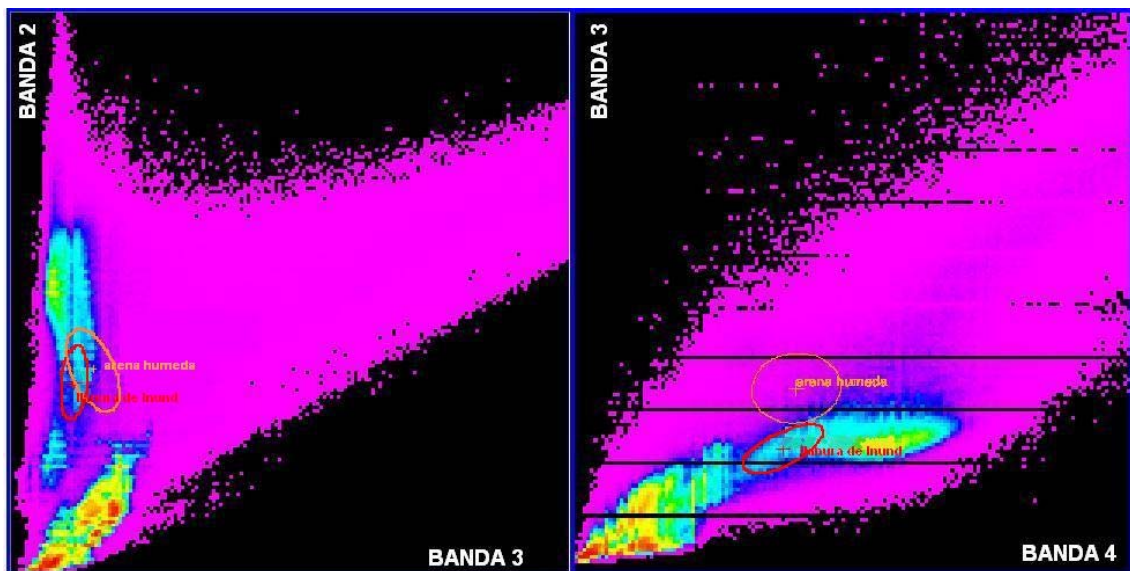


La evaluación del error de la imagen de clasificación supervisada ASTER se realizó mediante una matriz de contingencia (ANEXO 2).

La clasificación supervisada mostró ser efectiva dado que en la matriz de contingencia la superposición de clases (grupos de píxeles) es relativamente baja.

En el caso de arena húmeda y Llanuras de inundación se detectó un traslape de información del 0.8% por parte de los píxeles de la clase Llanuras de inundación, esto es factible debido a que ambos cuerpos poseen un alto grado de humedad. En el diagrama de dispersión entre las bandas 2 y 3 (figura 12 (a)) se observa el fenómeno de traslape, pero, dadas las propiedades espectrales de la arena en las bandas 3 y 4 del sensor ASTER (figura 12 (b)), es posible hacer una clara distinción entre ambas clases, lo que demuestra que si es posible la diferenciación total de estos rasgos aplicando una composición de bandas apropiada.

Figura 12. Rasgos característicos de las firmas arena húmeda (color naranja) y llanuras de inundación (color rojo) en el diagrama de correlación entre bandas del sensor ASTER. (a): banda 2 ($0.6610\mu\text{m}$) y banda 3 ($0.8070\mu\text{m}$). (b): banda 3 y banda 4 ($1.6\mu\text{m}$).



Caso similar sucede con las clasificaciones de esteros y terrenos de bajamar, aunque solo el 0.6 % de los píxeles sufrieron traslape.

Para la imagen Ikonos, seis zonas de entrenamiento fueron escogidas (Figura 13), las cuales fueron:

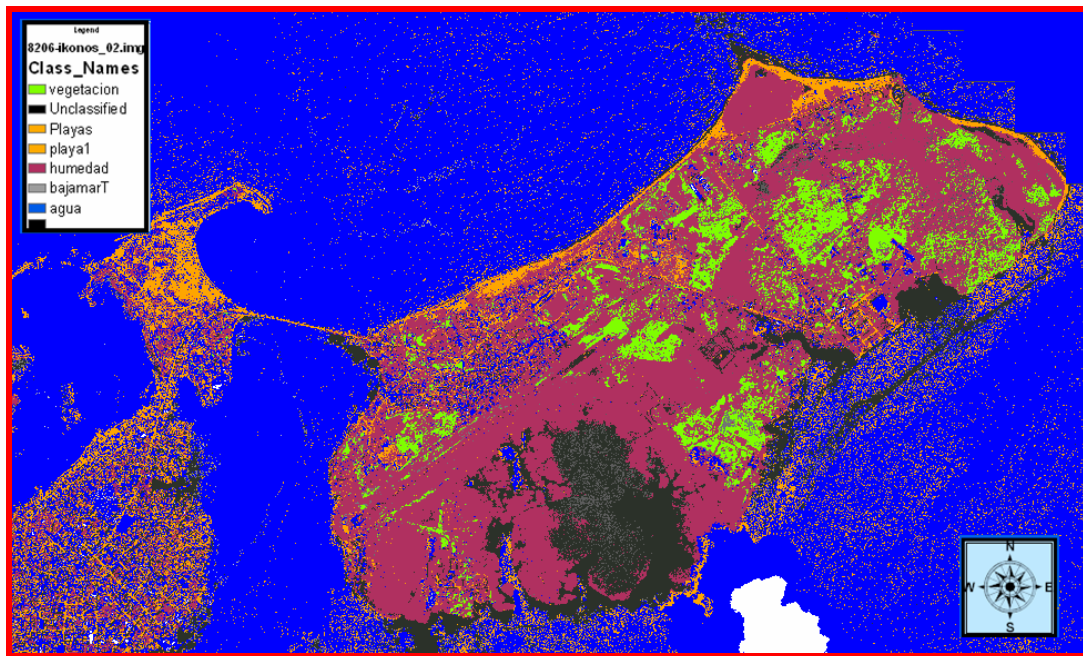
1. vegetación: son zonas correspondientes a arbustos y vegetación del tipo continente.
2. Playas: zonas de depósitos arenosos con un grado bajo de vegetación.

3. Playas1: zonas de depósitos arenosos con un grado de vegetación.
4. humedad: corresponde a zonas con un grado de humedad como llanuras de inundación, pantanos de manglar, lagoons y arena húmeda.
6. bajamarT: correspondiente a depósitos de aluviales y de estuarios.
7. Agua: área que cubierta por el mar.

La evaluación del error de la imagen de clasificación supervisada para la Ikonos, se realizó mediante una matriz de contingencia (ANEXO 2).

Como se observa en la tabla de matriz de contingencia, la clasificación supervisada logra diferenciar cada rasgo propuesto sin sobrelapar información con las demás firmas espectrales recolectadas.

Figura 13. Mapa de clasificación supervisada y puntos de muestreo para la imagen Ikonos en la zona A.



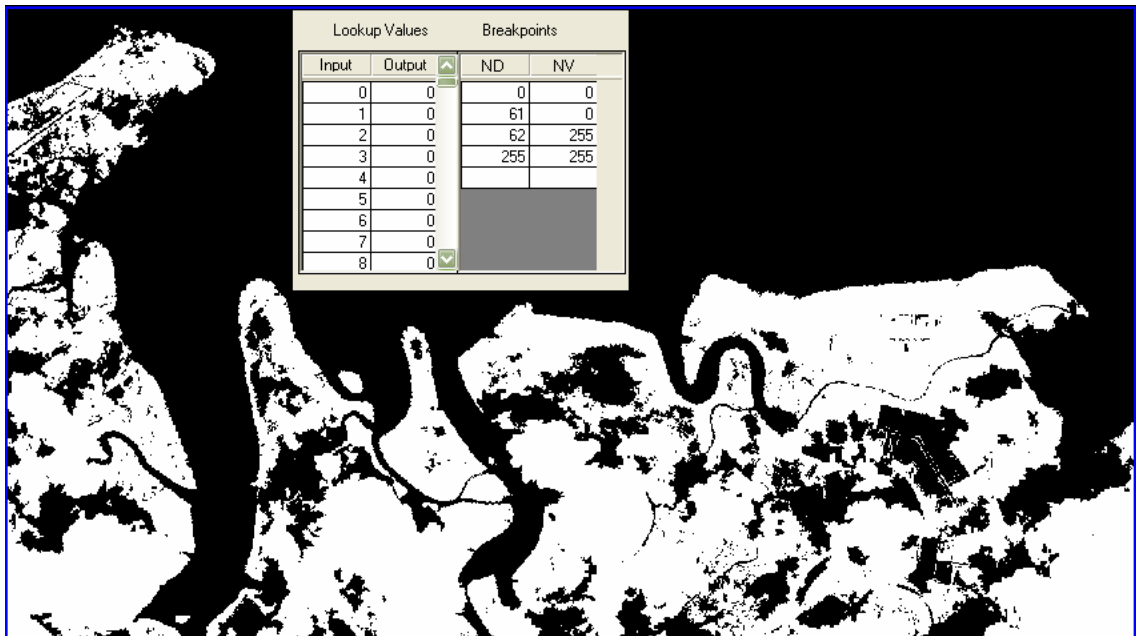
Teniendo las imágenes temáticas ya delimitadas, se procede a la definición de cada zona dentro del marco geológico y geomorfológico costero, basándose en el trabajo de campo y en los análisis de las muestras recolectadas en el mismo.

3.1.4 Color Look Up Table - CLUT

Este método permite modificar la relación entre el ND almacenado en la imagen y la intensidad de brillo con que se visualiza (NV) en la pantalla y su objetivo en este caso es poder distinguir el dominio agua del dominio continente y así conseguir diferenciar y posteriormente vectorizar la línea de costa.

Como se observa en la figura 9, el histograma se divide mediante una línea roja, la cual muestra el límite entre el dominio agua y el dominio continental justo en el ND 62. En ese caso, mediante la herramienta de Breakpoint Editor del programa ERDAS IMAGINE 8.7, se realiza la modificación dando valores de cero (NV = 0) a los ND entre 0 y 61, lo que corresponde al dominio agua y los valores de NV = 255 a los ND entre 62 y 255 (figura 14). El procedimiento se realiza de forma empírica mediante prueba y error, teniendo en cuenta el comportamiento estadístico de la imagen y su histograma

Figura 14. Transformación CLUT para la imagen aster 8203-AST_09_VNIR_2003-11-25.img.



El mismo procedimiento se realizó para las imágenes ASTER 8203-AST_09_VNIR_2003-04-06.img, RADARSAT 8402-M0114365.img e Ikonos 8302-ikonos_02.img

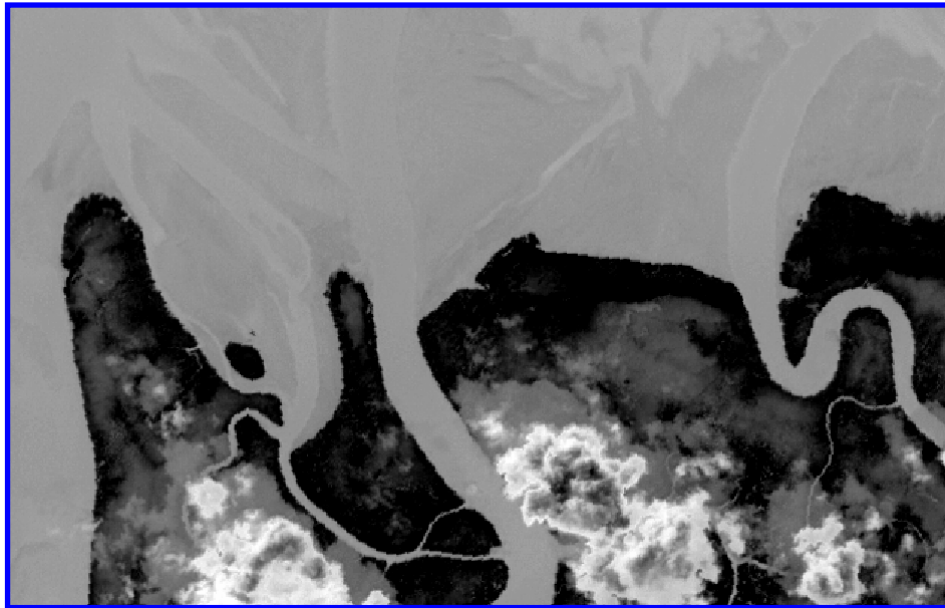
Después de tener dichas transformaciones, se procede a realizar la vectorización de los mapas de Línea de Costa, con los cuales se realizara el mapa de dinámica litoral mediante álgebra de mapas en ArcGis 9.0.

3.1.5 Análisis de Componentes Principales (A.C.P.)

Como se había mencionado en el capítulo de metodología en el apartado 2.2.3.3, el A.C.P. cumple con dos objetivos diferentes, el primero, el contribuir en la delimitación de la línea de costa y segundo, el diferenciar zonas que sufrieron algún cambio de tipo erosional o deposicional analizando imágenes de diferentes fechas.

Para el primero son utilizadas las bandas del espectro óptico de las imágenes del sensor ASTER. Se crearon 2 componentes principales, y los resultados demuestran en el componente 2 (Figura 15) una clara diferenciación entre el dominio continental y los cuerpos con agua (terrenos de bajamar y esteros).

Figura 15. Componente 2 del A.C.P. para las bandas 2, 3 y 4 del sensor ASTER.



En el segundo, se realiza el análisis multitemporal para la zona B aplicando el A.C.P. de dos imágenes adquiridas por el sensor ASTER entre las fechas 2003-11-25 y 2003-04-06.

Es interesante observar en la matriz de autovectores resultante del A.C.P. (ANEXO 3), que los tres primeros componentes poseen la información común entre ambas imágenes, es decir, la información estable. El cuarto componente es más dicotómico, en él se observan los cambios, evidenciados por el cambio de signos entre las bandas de ambas imágenes. Mientras que en la primera fecha las bandas 1 (Verde) y 2 (Rojo) tienen signos negativos, en la segunda estas mismas aparecen positivas y viceversa para la banda 3 (Infrarrojo cercano).

Figura 16. Imagen de Componentes Principales Multitemporales, componente 4.



En la figura 16, se pueden observar en las zonas que bordean la línea costera, unas zonas claras que corresponden a zonas de erosión, y las zonas oscuras que corresponden a zonas de depositación.

3.1.6 Composiciones Multitemporales

La comparación visual de dos o más imágenes de diferentes fechas mediante esta técnica es eficaz en una primera fase cualitativa del análisis multitemporal.

Un primer análisis se realiza para la zona B, entre las imágenes 8402-M0114365.img y AST_09_VNIR_2003-04-06.img quedando consignado sobre la imagen 8403-ASTER_2003-11-25-RADARSAT.img, entre las cuales existe una diferencia temporal de seis años (figura 17).

Las zonas verdes muestran los sitios que sufrieron procesos deposicionales, mientras que las áreas fucsias demuestran zonas erosionadas.

Igualmente se realizó el análisis visual entre imágenes ASTER, del mismo año, 2003, pero de diferentes meses, la primera de Noviembre y la segunda de Abril (figura 18).

Los procesos de erosión-depositación no son tan notorios visualmente entre estas fechas, sin embargo se alcanza a observar que los mismos procesos continúan ocurriendo precisamente en las mismas zonas.

Figura 17. Imagen 8403-ASTER_2003-11-25-RADARSAT.img

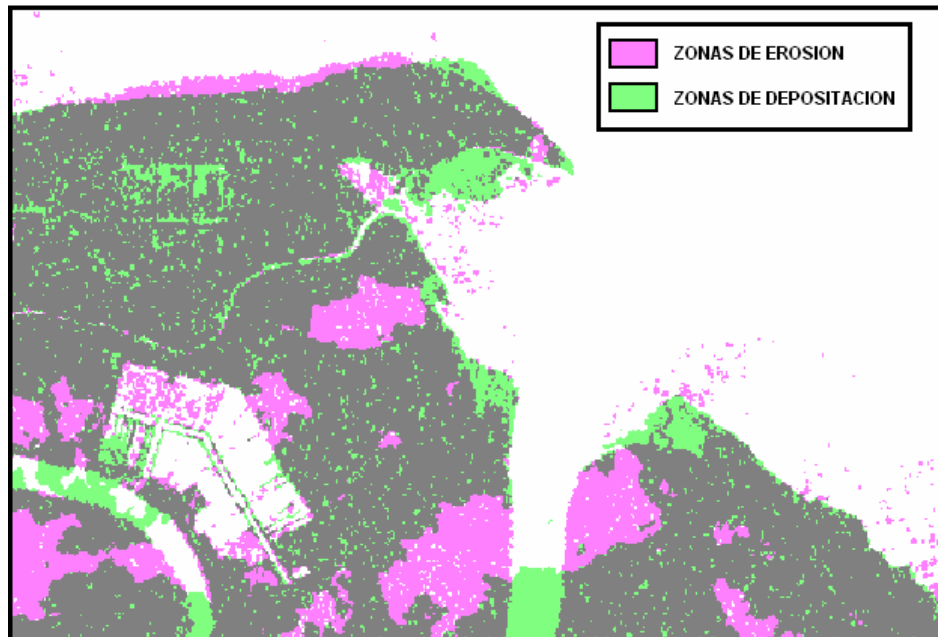
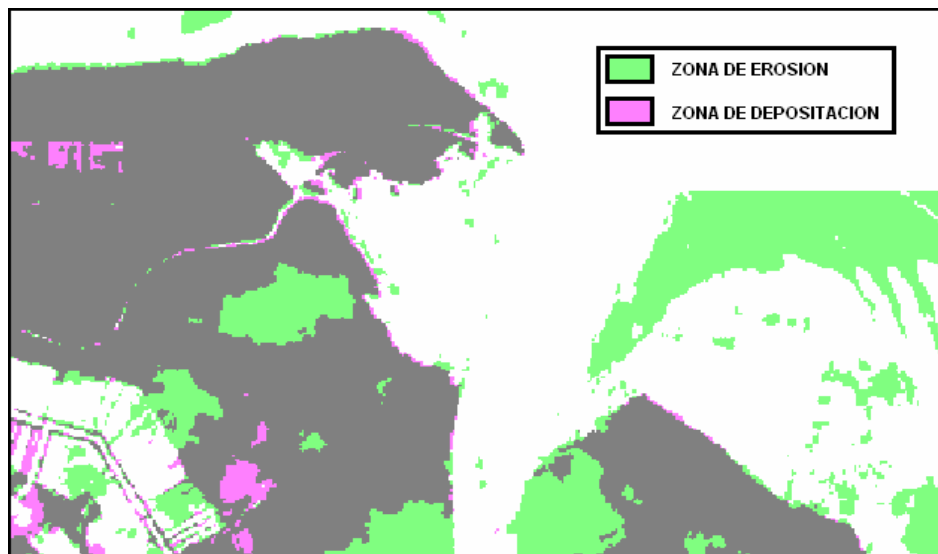


Figura 18. Imagen 8207-AST_09_6BANDAS_2003-11-25_2003-04-06.img

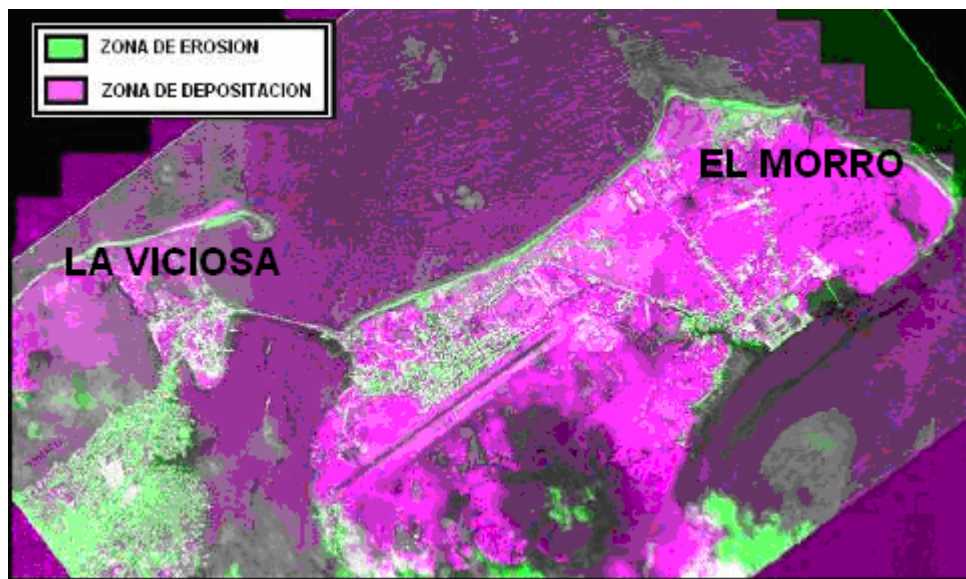


El último análisis visual se realiza para la zona A, entre la imagen Ikonos del 2002 y la Aerofotografía RGB del 2005, ambas de 1 metro por píxel.

Visualmente se observan determinadas ocupaciones en los márgenes de la isla de El Morro, principalmente en la playa turística y el frente de playa del acantilado, resultado de

una intensa dinámica deposicional (figura 19) mostrado por las áreas en tono verde, mientras que un proceso erosional mas evidente es visualizado en la Isla La Viciosa denotado con tonos fucsias.

FIGURA 19. Imagen 8304-ikonos_RGB.img



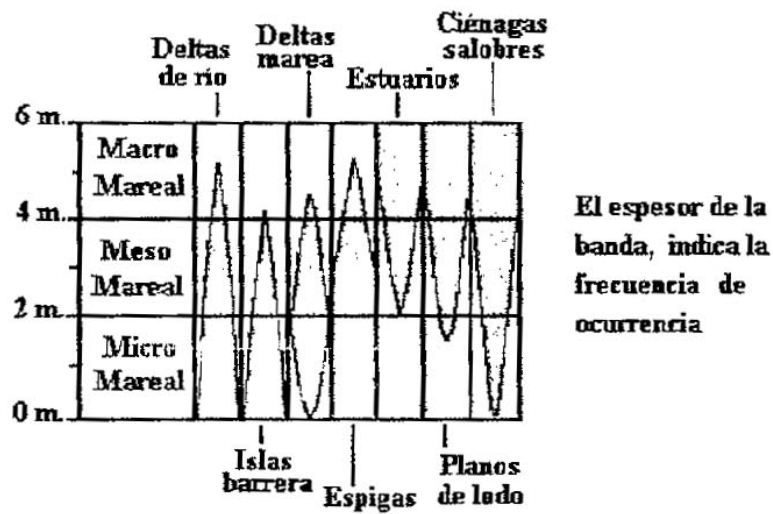
3.2 GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio muestra simultáneamente geoformas erosivas y deposicionales, distribuidas indistintamente a lo largo de la línea costera, evidentemente dependientes de la acción de agentes marinos, oceanográficos y de aportes terrinos por parte de los afluentes (ríos y esteros).

Hayes [1975. En: Tovar, 2002], relaciona las formas costeras con los cambios de mareas, así: Para un rango mareal menor de 2 metros (micromareal), predominan playas, espigas e islas barreras y el proceso costero, son olas producidas por el viento.

Si el rango mareal es mayor a 4 metros (macromareal), como es el caso de la zona de estudio, predominan ciénagas, estuarios y llanuras de inundacion, que pueden estar colonizadas por manglar. La figura 20, muestra una relación entre las geoformas ocurentes y su control por parte del rango mareal.

Figura 20. Relación entre el rango mareal y las geoformas.



Tomado de Pethick, 1984.

3.2.1 Geoformas costeras deposicionales

El área de estudio presenta las siguientes geoformas costeras deposicionales:

3.2.1.1 Llanura costera

Nombre dado a las planicies generalmente bajas y extensas, su margen va hasta la línea de costa y sus estratos pueden ser o horizontales o con una suave inclinación hacia el agua.

Representado generalmente por cordones litorales que progradan o emergen suelo marino.

Fotografías aéreas de la Isla El Morro entre 1958 y 1996 mostraron la formación de cordones litorales en la parte posterior al acantilado del Morro. Esto confirma la constitución de una llanura costera en esta zona.

3.2.1.2 Playas

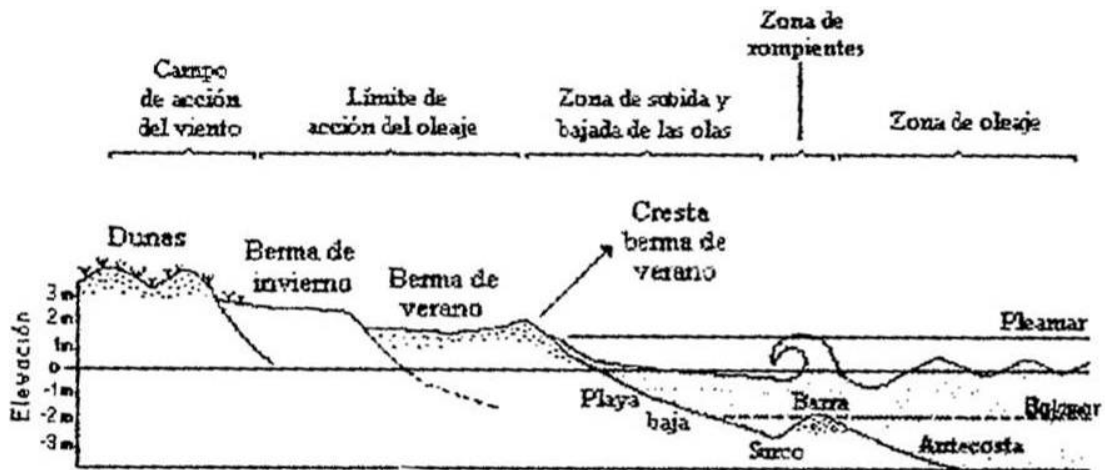
Material no consolidado que cubre zonas de baja pendiente, con acumulaciones de arena en forma lenticular. Puede dividirse enfrente de playa (foreshore) y playa trasera (backshore). [Davis 1996].

La playa es la zona comprendida entre la línea de baja marea normal y el límite tierra adentro a partir del cual no hay acción efectiva de las olas. La figura 21, muestra el perfil ideal de una playa y sus elementos constituyentes.

El material que compone las playas depende de la geología de las áreas cercanas, así como de la distancia, característica del área fuente y el tiempo transcurrido a partir del momento de la erosión.

Generalmente están constituidas de arenas finas a medias y están bien seleccionadas (el material limoso y arcilloso es removido y llevado mar adentro en suspensión).

Figura 21. Perfil ideal de una playa y sus elementos.



Tomado de Strahler, 1987.

En la mayoría de los casos, se encontró que la playa trasera estaba cubierta por vegetación (gramíneas y mangle) (Figura22).

Las playas en la zona de estudio, se pueden catalogar como playas naturales, al presentarse una mínima a nula intervención antrópica. Estas playas naturales, pueden subdividirse en: playas amplias, playas moderadas y playas angostas.

Figura 22. Vegetación en la playa de Cocalito



Las playas amplias, son playas cuyo ancho supera los 20 metros, en ellas se observa claramente su playa trasera, muchas veces colonizada por vegetación, y en las que pueden verse grupos de dunas longitudinales y cordones litorales que no exceden los 70 centímetros de altura, como ocurre en el sector Norte y Noreste de la isla del Morro.

En algunas de estas playas se pueden observar dos bermas y cordones litorales que corresponden a la migración de la línea de costa.

Las playas moderadas, son playas cuya amplitud oscila entre los 5 y 20 metros. En este tipo de playas, también puede diferenciarse la playa trasera vegetada, pero las dunas son incipientes cuando están presentes, generalmente presentan una sola berma. Un ejemplo de estas, se encuentran en la isla La Viciosa.

Las playas angostas, son playas con amplitud inferior a 5 metros, algunas de ellas presentan bermas y puede observarse en muchas de ellas que la acción del oleaje es mas directa, evidenciada por la presencia de árboles inclinados y raíces destapadas, esto, también es indicador de la inestabilidad de las playas.

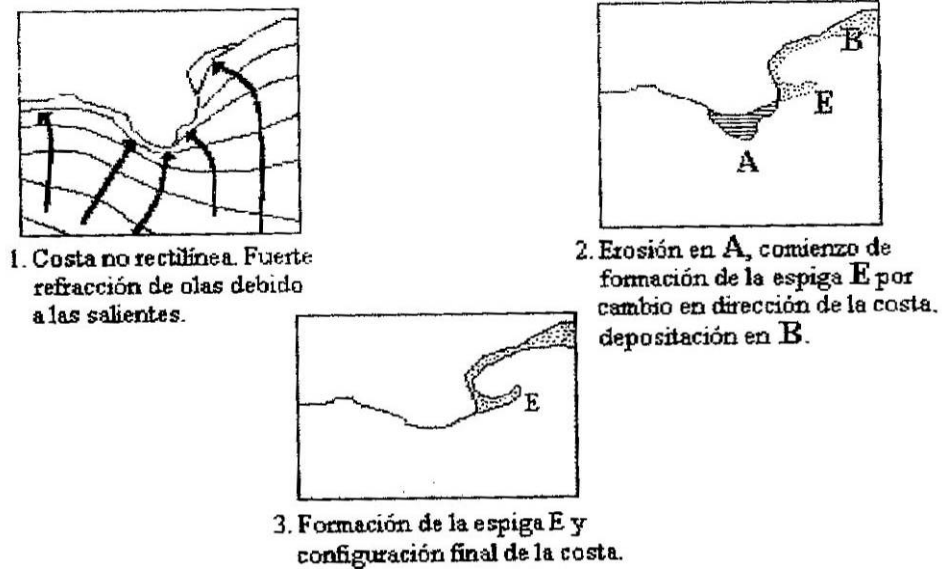
La imagen clasificada para la zona A fue fundamental en la detección de esta geoforma litoral, identificado los temas Playas y Playa1.

En la zona B no se distinguen geoformas tipo playa, debido principalmente a la resolución espacial de la imagen clasificada (15m x píxel) sin dejar de lado que las playas varían entre angostas y moderadas en este sector.

3.2.1.3 Espigas y flechas

Son barras de arena unidas a tierra por uno de sus extremos, y que se proyectan a lo largo de la dirección de la deriva litoral. Se forman por una disminución de la capacidad de carga de las corrientes en zonas donde cambia substancialmente la dirección de la línea de costa.

Figura 23. Formación de espigas.



Tomado de Franco. 1996.

Su tamaño y estabilidad son variables, dependiendo del aporte del material y de factores oceanográficos tales como el rango mareal y la dirección del oleaje. Ejemplos de espigas en el área de estudio se pueden encontrar en Isla la Viciosa y en la desembocadura del estero Rosario.

3.2.1.4 Cordones litorales

Se tratan de acumulaciones de arena en forma de crestas de baja altura que son paralelas a la costa o hacen un pequeño ángulo con esta. Cada una de estas acumulaciones constituyen una antigua línea de costa y el conjunto de dichas crestas, si estas están bien preservadas, permite conocer el desarrollo histórico de las playas. Son muy comunes en costas constructivas o en las que predominan los procesos de acreción.

Johnson [1919, En: Franco et. al. 1996], atribuye la ocurrencia de estos cordones a un aumento en el suministro de sedimentos, aunque también puede deberse a descensos del nivel del mar [Snead, 1980. En: Franco et. al. 1996].

En la zona, estos cordones son frecuentes en las playas de las islas La Viciosa, El Morro, y de forma general en la parte sur de la Bahía de Tumaco, desde el Estero Aguaclara hasta el Estero Mejicano. El reconocimiento de estas geoformas se facilita con el análisis de las fotografías aéreas e imágenes de satélite, cuando se observan las secuencias de líneas claras (crestas) y valles, oscuros debido a la mayor acumulación de agua, esto hace que la vegetación sea característica y su identificación menos dificultosa. La observación de campo de estos cordones es menos sencilla, debido a los enmascaramientos que estos sufren por la presencia de vegetación.

3.2.1.5 Estuarios

Es un cuerpo de agua costero semi-encerrado, el cual tiene una conexión libre con el mar abierto, y dentro del cual es medible la dilución del agua del mar con el agua dulce, derivada del drenaje desde el continente. Estas zonas son de difícil definición debido a la diversa combinación de entornos geomorfológicos y movimientos de aguas.

El sistema estuarino, puede ser subdividido en tres regiones:

1. Tidal river zone, es una zona fluvial caracterizada por la escasez de salinidad, pero sujeto a la elevación y caída del nivel de la marea.
2. Mixing zone, (el estuario propiamente dicho), caracterizado por una masa mezclado de agua y con la existencia de fuertes gradientes físicos, químicos y bióticos, llegando desde la zona anterior hacia el frente marino (seaward) de la desembocadura o el lóbulo deltaico mareal.
3. Nearshore turbid zone, en el mar abierto entre la zona de mezcla (mixing zone) y el limite del frente marino de la pluma mareal en el lóbulo deltaico”.

Los ríos y los estuarios son la principal fuente de aporte en la mayoría de las zonas costeras. El volumen de sedimentos se relaciona con el gradiente de la corriente, el tipo de roca, el área de drenaje de la cuenca, la densidad de la vegetación, el promedio de precipitaciones, la presencia de estuarios y construcciones hechas por el hombre las cuales atrapan sedimentos, tales como presas, piscinas (camaroneras) y sistemas de riego.

En el caso de la Bahía de Tumaco, el principal aporte de sedimentos se hace por vía fluvial [Tovar 2002] siendo los diferentes ríos y esteros los encargados de ello. Las amplias áreas de barras de arena, espigas y bajos en la zona se debe a que muchos de estos sedimentos no sobrepasan la barrera natural desembocadura – mar [Lisitzin 1986]. Las muestras recolectadas en campo confirman para la zona B, el aporte sedimentario de

los tres principales esteros (estuarios): Aguaclara, Resurrección y Rosario, dado por sus altos contenidos en FeMg. (ANEXO 4).

3.2.1.6 Tómbolos

Geoforma deposicional caracterizada por la presencia de una espiga o barra que conecta el continente a un pilar de erosión.

Figura 24. Tómbolo del Quesillo.



Un ejemplo de este rasgo es la conexión que existe entre la isla El Morro y el pilar del Quesillo.

3.2.1.7 Lagoons (Lagunas interiores)

Son cuerpos de agua, separados del mar u otro cuerpo de agua por barras de arena, pero con los que puede haber una comunicación intermitente o constante. La característica principal del agua de esta, es la salinidad o condición salobre.

En la zona, se observan este tipo de lagunas en las playas de El Morro y en la Isla La Viciosa, en los cuales la característica común es que los cuerpos de aguas van siendo atrapados por el crecimiento progresivo de las barras de arena y espigas.

3.2.1.8 Llanuras de inundación

Son áreas llanas y bajas cerca a la costa de extensión variable, se caracterizan por ser vulnerables a inundarse en épocas de invierno o por las crecientes de los ríos.

Los esteros y los ríos de la zona de estudio crean áreas extensas de inundación.

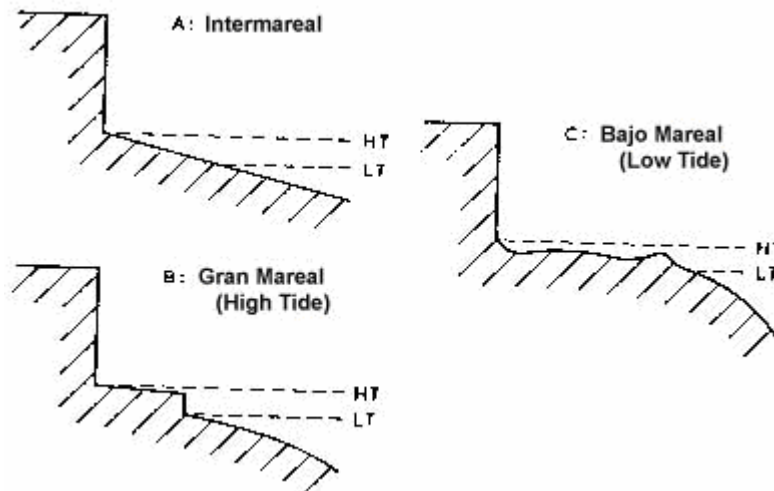
3.2.2 Geformas costeras erosivas

Estas geformas están compuestas por acantilados, paleoacantilados y pilares de erosión. A continuación se realiza una descripción de cada una de ellas.

3.2.2.1 Acantilados y paleoacantilados

Son escarpes que demarcan abruptos cambios de pendientes, formados por la acción erosiva marina, constituidos generalmente (aunque no necesariamente) por un sustrato rocoso, y los cuales pueden tener alturas variables.

Figura 25. Clasificación de acantilados, según rango mareal.



Tomado de Easterbrook, 1994.

Cuando existe un escarpe que se origina como consecuencia de la acción del mar sobre el, aunque ya no recibe su acción directa, y se encuentra en la actualidad desplazado de la línea de costa actual hacia el continente, es llamado paleoacantilado.

En el área de estudio, las zonas de acantilados, se pueden diferenciar en dos partes: la primera son los acantilados continuos a lo largo de la línea de costa, y el segundo, como islotes.

En general, los acantilados son considerados la segunda fuente en importancia de aporte de sedimentos. A pesar de esto su aporte no sobrepasa el 10% del material total depositado. El material originario de los acantilados en comparación del proveniente de los ríos es de mayor tamaño.

Komar (1976) presenta casos extremos de 1.75 m/a y 0.3 m/a, mientras Correa (1990), estima para acantilados constituidos por areniscas, una tasa de erosión de 1.5 m/año.

Los acantilados tipo islotes se encuentran en la isla de El Morro y en su litología se encuentran arcillolitas, areniscas y conglomerados, de edad Terciaria superior, agrupados en la formación Naya - Guapi.

3.2.2.2 Pilares

Son remanentes de roca, que por ser más resistentes, quedan a manera de pequeñas islas, como resultado de los procesos erosivos que realiza el mar sobre un acantilado o una plataforma de abrasión. Como antes se menciona, se caracteriza por constituirse de un material consolidado.

Por esto, se puede hablar de dos tipos de orígenes para los pilares: aquellos que quedan como remanentes de acantilados y los que haciendo parte de una plataforma de abrasión, sufren un desgaste menos severo que el resto de la plataforma. Estos últimos, se reconocen porque solo alcanzan a sobresalir unos pocos centímetros sobre el nivel del mar.

A lo largo de la zona de estudio, solo se encontró frente a la isla de El Morro (El Quesillo), lo cual es un indicador del proceso transgresivo que ha sufrido este sector en particular.

3.2.3 Geofomas de Transición.

Estas geofomas están compuestas por Llanuras de inundación, terrenos de bajamar e isla barrera. A continuación se realiza una descripción de cada una de ellas.

3.2.3.1 Terrenos de Bajamar (Plataformas intermareales)

Son sedimentos no consolidados que se agrupan en los bordes interiores de la bahía, rodeando el perímetro de las islas de Tumaco y el Morro.

En dirección al mar, estos depósitos continúan constituyendo los fondos someros de la bahía, mientras que hacia la tierra pasan a ser terrenos de playa o a conformar la base de la acumulación de sedimentos – materia orgánica de los pantanos de manglar.

La constitución granulométrica de los sedimentos superficiales de esta unidad van desde arenas finas muy finas, hasta limos arenosos y lodos, mezcla de limos y arcillas; dependiendo del momento en el ciclo mareal y de la intensidad del oleaje incidente en un sector particular. Parte de estos sedimentos, junto con los finos en suspensión aportados por los ríos y esteros, son transportados hacia el interior de la bahía confiriéndole turbidez a sus aguas.

En mareas altas estos terrenos constituyen un cinturón de bajos y zonas someras que dificultan la navegación de botes y aun de canoas ligeras.

3.2.3.2 Isla barrera

Isla costera de forma alargada y angosta, que representa una amplia barrera de playa. Esta por encima de marea alta y es paralela a la costa, comúnmente se encuentran dunas, zonas vegetadas y terrenos pantanosos. Las islas de Tumaco y La Viciosa son una clara evidencia de este fenómeno.

3.2.3.3 Terrazas

Son geoformas aluviales que se hallan en un nivel más alto respecto al nivel del mar, ya sea por cambios eustáticos o por eventos tectónicos.

Son capas de sedimentos aluviales que conforman terrazas y que se observan sobre el río Caunapí y al Sureste y Noroeste de la confluencia con el río Rosario. Una terraza aparece en un trayecto de alrededor 5 Km sobre el río Caunapí y aguas arriba de la confluencia de los dos ríos nombrados anteriormente. El espesor de dicha terraza, disminuye hacia el Sur del río Rosario, donde afloran unas rocas volcánicas (aglomerados) infrayaciendo las terrazas.

Las terrazas se componen, hacia la base, de sedimento de tamaño grava redondeado y esféricos, dentro de una matriz arenosa de media a gruesa. La composición de los cantos es heterogénea. La parte superior, esta compuesta por material más fino, con capas delgadas de arenas, arcillas y limos.

En el río Caunapí alcanza una altura de 8 metros. En algunos sitios se aprecia unas capas de carbón (?), demostrando la acumulación de materia orgánica (vegetales), con un espesor variable de 30 a 40 cm [Tovar, 2002].

Morfológicamente presentan una topografía plana con grados variables de disección, que va desde poco entallados a muy profundamente entallados en las terrazas más altas. Los sedimentos superficiales corresponden a las facies fluvio - deltaicas, que incluyen desde arenas y gravas con estratificación cruzada de dominio fluvial hasta sedimentos arenosos bien seleccionados depositados en playas.

Estas acumulaciones superficiales que localmente alcanzan espesores de hasta 10 MT, descansan discordantemente sobre las rocas sedimentarias suavemente plegadas del Mio - Plioceno [IDEAM - MINAMBIENTE, 1997].

Según la clasificación anteriormente propuesta, y aplicando los resultados obtenidos en la clasificación supervisada, los mapas geomorfológicos son:

Figura 26. Mapa Geomorfológicos Zona A.

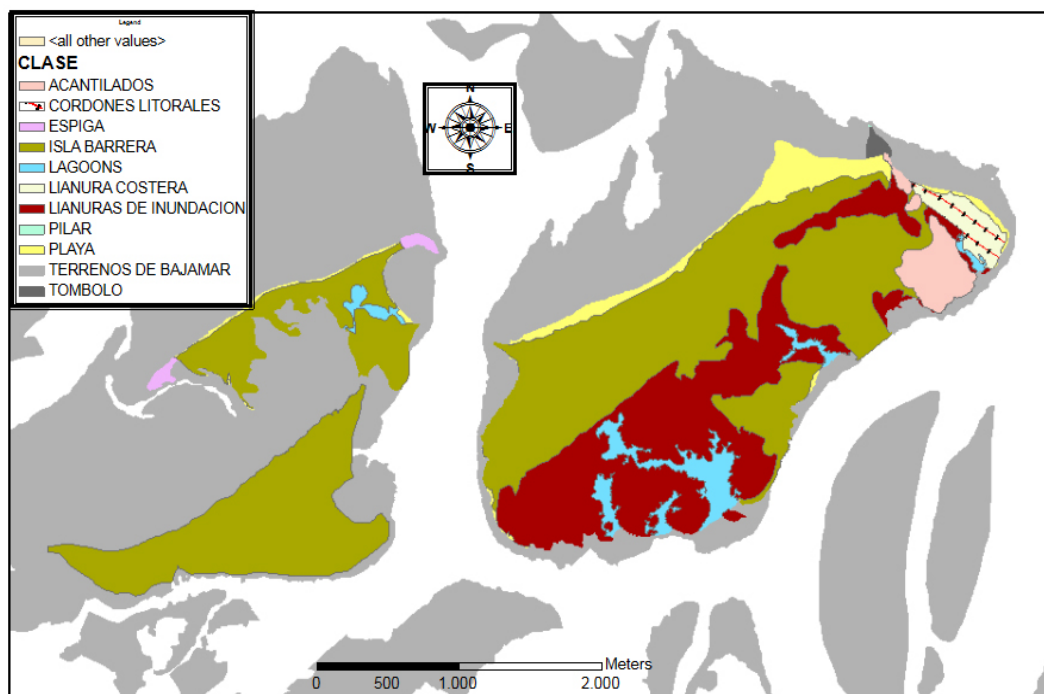
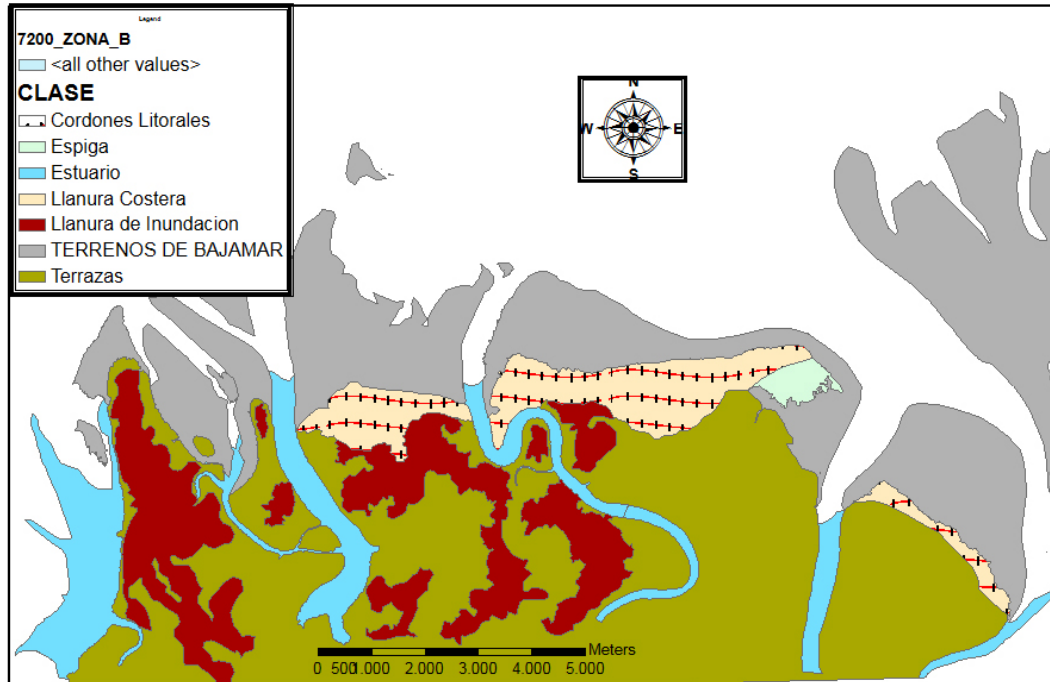


Figura 27. Mapa Geomorfológico Zona B.



3.3 GEOLOGIA

El litoral Sur - Pacífico Colombiano, hace parte del terreno suprayacente Atrato - San Juan - Tumaco, definido por Etayo et. al. 1986 [En: Correa et. al., 1989], y es el resultado de la colmatación, desde el Eoceno superior hasta el Plioceno, de la cuenca formada durante la colisión, entre el continente y la placa oceánica al Occidente de Colombia. La litología del terreno, esta constituida principalmente por lutitas, areniscas, conglomerados y calizas en menor proporción. La siguiente clasificación es modificada de la realizada por Correa y González en 1989.

Qt: Depósitos de Playa.

Qal: Depósitos Aluviales y de Estuario; Sedimentos recientes, compuestos de grava, arena, limo, arcilla en los valles y llanuras aluviales, terrazas, abanicos aluviales, costas y manglares.

Qam: Depósitos de Pantanos de Manglar.

TQs: Sedimentos Plioceno-Pleistoceno; Terrazas y abanicos de origen fluvio volcánico; alternancia de capas conglomeraticas con cantos de rocas volcánicas, capas de pumita y ceniza, y capas de arena, limo y arcilla con alto contenido de material carbonaceo.

Tmgn: Formación Naya-Guapi: Arenisca y limonita tobacea, arcillosita; algunos conglomerados; faunas de lamelibranquios y gasterópodos; niveles con alto contenido de materia orgánica. Mioceno superior.

Mediante la clasificación anterior, los mapas geológicos generados para las zonas son:

Figura 28. Mapa Geológico Zona A.

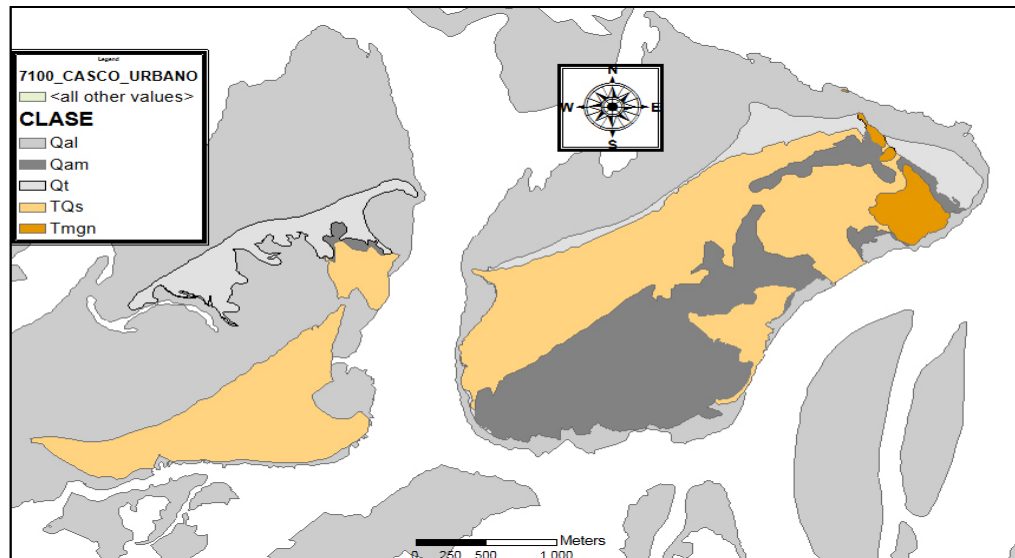
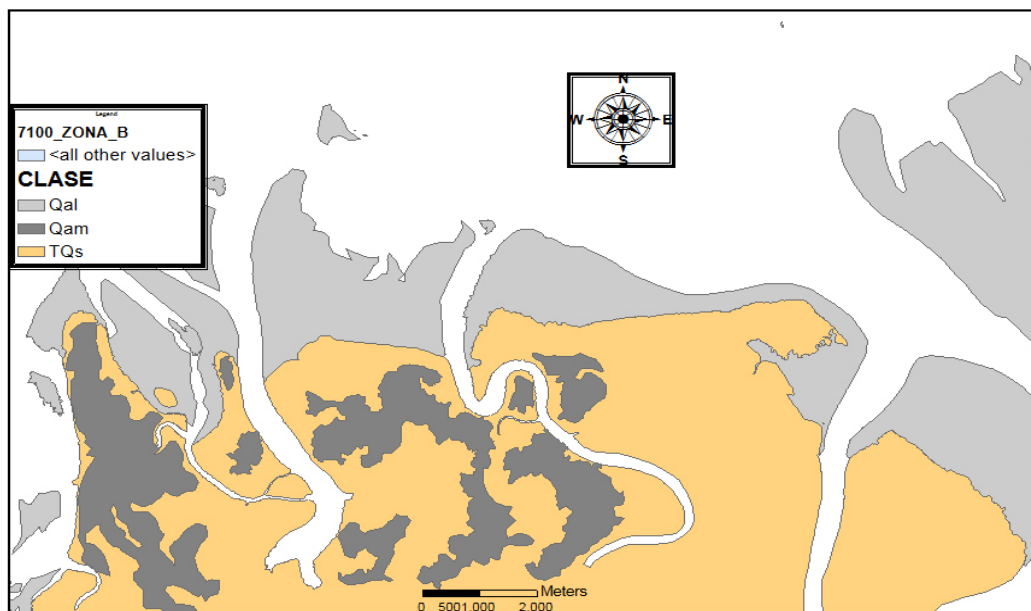


Figura 29. Mapa Geológico Zona B.



3.4 TRABAJO DE CAMPO

Con base a las necesidades específicas de las zonas y en la escala de trabajo se realizan dos fases de campo, la primera, para la zona A concerniente a las Islas de Tumaco y El Morro desarrollando el método de apiques; la segunda fase, en la zona B, entre el Estero Aguaclara y el Estero Mejicano, mediante muestreo de sedimentos superficiales.

3.4.1 Apiques De La Zona A

Los perfiles reflejaron distintas características del subsuelo, como, rellenos antrópicos, niveles freáticos, niveles de materia orgánica, entre otros.

En la figura 30 se observa el perfil de la estación 7, el cual esta ubicado en la Isla de Tumaco en una zona altamente poblada. Muestra un alto contenido de material antrópico en toda la longitud del perfil hasta su nivel freático a solo 83 cm de la superficie, lo que indica que es un relleno no natural que viene siendo colmatado por basura desde los primeros residentes.

En la figura 31 se observa un apique realizado en la Isla de El Morro en una zona que no presenta ninguna influencia antrópica. A 1.5 metros de profundidad se observa humedad en las paredes y su nivel freático se encuentra a 2 metros de la superficie, comprobándose la continuidad de los depósitos inconsolidados en todo el perfil, por ende, las muestras recolectadas a profundidad corroboran el grado de no consolidación del terreno.

En la mayoría de las muestras recolectadas en las fechas 29 y 30 septiembre es común hallar pruebas de relleno antrópico y material no típico de las zonas como cantos redondeados, bolsas plásticas, telas y basura en general.

Figura 30. Imagen de relleno antrópico en el perfil del apique en la estación 7.



Figura 31. Imagen del perfil del apique en la estación 12.



Para las muestras recolectadas en el fondo de los apiques se realiza el análisis macroscópico y de tamaño de grano (ANEXO 4).

3.4.2 Sedimentos Superficiales De La Zona B

Las muestras recolectadas de sedimentos superficiales corroboraron la interpretación inicial mediante fotointerpretación, adicionalmente se realizó la observación de rasgos geomorfológicos que fueron registrados en fotografías (Figura 32).

Figura 32. Rasgos geomorfológicos. Llanuras de inundación Punta la Florida.

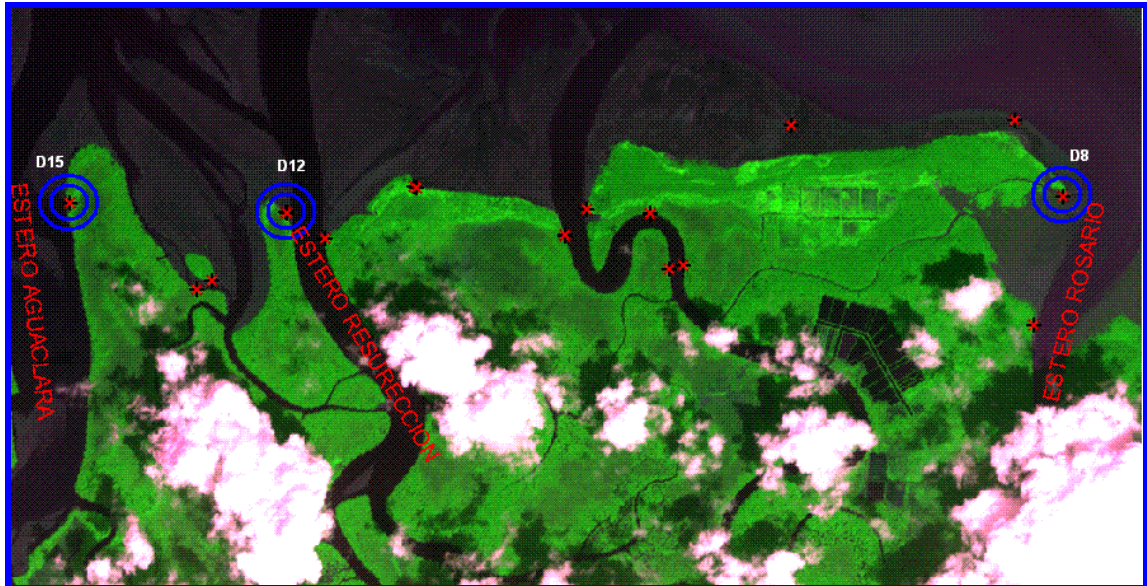


La composición de los sedimentos en las zonas litorales indica las fuentes de proveniencia de estos, y el tamaño y la selección de los granos reflejan las fuerzas y cantidad de transporte que han sufrido.

Las condiciones climáticas son preponderantes en la granulometría y contenido mineralógico, preservando en zonas tropicales de alta meteorización solo los minerales más resistentes como el cuarzo, micas, feldespatos y proporciones variables de minerales pesados, como sucede en las playas de origen terrígeno.

En la figura 33 se observan tres estaciones (D8, D12 Y D15) con altos porcentajes en minerales pesados (FeMg). Estas zonas poseen un alto dinamismo litoral y se encuentran en las áreas de depositación de los tres principales afluentes fluviales.

Figura 33. Estaciones con mayor porcentaje de minerales pesados



El continente aporta una carga sedimentaria mediante estos estuarios de altas composiciones ferromagnesianas (ANEXO 4) debido a que los ríos erodan capas de lavas básicas consideradas en la zona por Van Es, 1975 En Correa et al, 1989.

3.5 DINAMICA LITORAL

La dinámica litoral depende en gran manera de los procesos sedimentarios, los cuales son fenómenos que ocurren en la superficie terrestre y en el agua y dependen de una serie de factores como el material fuente, la meteorización, procesos de erosión y transporte, depositación-precipitación y diagénesis.

El balance de sedimentos es establecido por las pérdidas y ganancias en cada una de sus costas, lo cual se refleja con fenómenos de erosión y sedimentación. La siguiente tabla presenta las entradas y salidas de arena en un sistema.

Los sedimentos más finos son llevados de la costa al mar adentro en suspensión. Caso contrario es cuando los sedimentos son erodados en la plataforma continental y son arrastrados hasta la costa. Esta forma de transporte es considerada como una fuente de menor importancia.

La fuerza que mueve los sedimentos, es proporcionada por un fluido, como pueden ser el agua o el viento. En caso del agua, esta fuerza depende principalmente de dos factores: su velocidad y viscosidad [Pethick, 1984]. Los dos factores determinantes del transporte

de los sedimentos, son la velocidad de la corriente y el tamaño de las partículas. La velocidad del fluido o corriente necesaria para erodar y llevar en suspensión depósitos no cohesivos (como la arena), es menor para partículas más pequeñas. Hasta las corrientes más débiles, pueden erodar y transportar los granos finos de sedimentos no cohesivos (tamaño arena), sin embargo, son estas partículas que normalmente son no cohesivas y por lo tanto la fuerza necesaria para erodadas incrementa [Collingan, 1987. En: Tovar, 2002]. Es así, como las arcillas y limos por un lado, y las arenas y gravas por otro, pueden requerir fuerzas similares del fluido en movimiento sobre el suelo para poder ser removidas, pero fuerzas distintas para ser erosionadas.

Tabla 4. Inventario De Sedimentos Litorales.

ENTRADAS	SALIDAS	BALANCE
<ul style="list-style-type: none"> • Transporte desde los ríos. • Transporte por la deriva litoral dentro del área. • Transporte hacia la costa (desde la plataforma). • Depositación biogénica. • Depositación hidrogénica. • Transporte eólico hacia la playa. • Erosión de los acantilados. • Playas artificiales (Ilenos). 	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte por la deriva fuera del área. • Transporte eólico fuera de la costa. • Transporte fuera de la costa (hacia la plataforma). • Disolución y abrasión de arena. • Extracción de los sedimentos de la playa. • Depositación en cañones submarinos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Depositación - erosión de línea de costa.

Modificado De Komar (1976) Por Tovar 2002.

Existen dos movimientos de partículas, uno superficial visualizado con las plumas de turbidez de sedimentos, y el otro al fondo, el cual es responsable de la formación de flechas, espigas, islas barreras y deltas. Esta dirección en la bahía de Tumaco es en sentido Sur – Norte, además de las influencia de la marea que la da una tendencia Oeste – Este.

El transporte de sedimentos, esta directamente relacionado con las corrientes existentes dentro de la bahía. La interferencia antrópica en el transporte de sedimentos a lo largo del litoral, es una de las causas más importantes de erosión [Montaño y Peraza, 1986].

La determinación de estos factores típicos de la dinámica litoral pueden ser visualizados y cuantificados a través del análisis multicriterio, en el cual, asignado valores en peso para solo dos zonas en cuestión (para la zona correspondiente a mar y para las zonas propias a terrenos por encima de la línea de más alta marea) y mediante una operación

matemática entre mapas de líneas de costa de diferentes fechas, automáticamente se delimitan las zonas que poseen procesos de acresión o depositación, las zonas de equilibrio y de igual forma las zonas de erosión.

Figura 34. Dinámica Litoral entre las fechas 1996 y 2005 para la zona A.



En la figura 34 se observa el resultado de la aplicación del análisis multicriterio en la zona A. En esta imagen temática se definen tres zonas, con un valor numérico que las representa.

Tabla 5. Valores numéricos del análisis multicriterio zona A

	VALOR
EROSIÓN	0
EQUILIBRIO	1
DEPOSITACIÓN	2

A simple vista se puede observar que los procesos deposicionales (color marrón oscuro) son mayores que los erosionales (color verde). El estudio geomorfológico para esta zona determina una fuerte dinámica litoral demostrada por la presencia de espigas y cordones litorales.

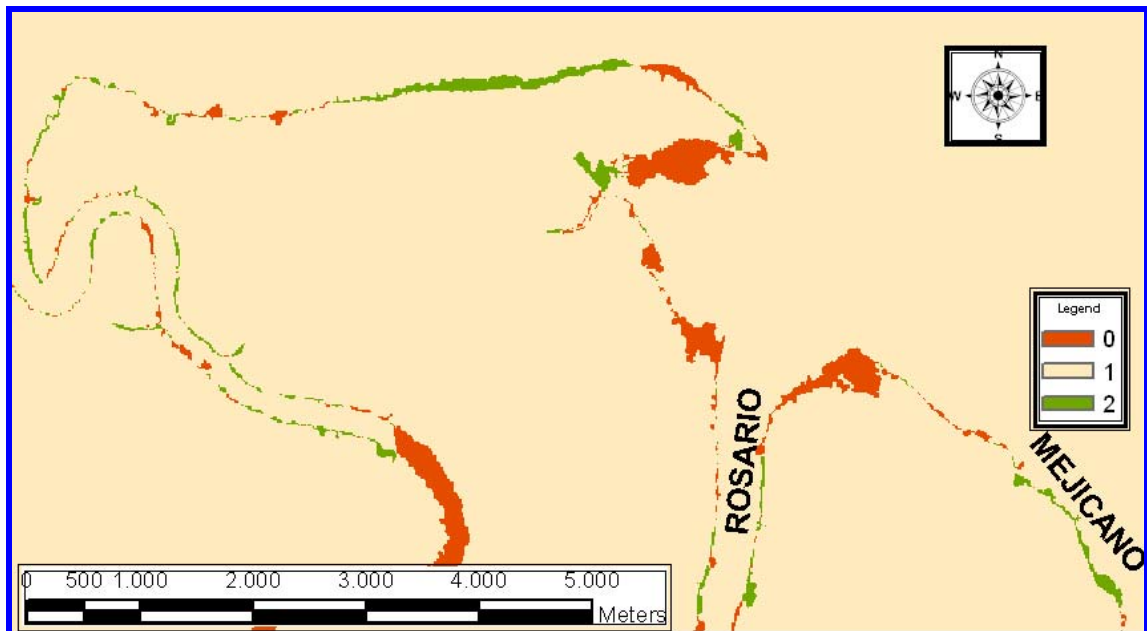
Con el fin de cuantificar la erosión-depositación, las imágenes temáticas son vectorizadas. Los resultados son:

Tabla 6. Cuantificación erosión – depositación Zona A.

Proceso	Área m ² /año
EROSION	11137
DEPOSITACION	34872

Los resultados de los procesos de erosión-depositación para la zona A, corroboran la aparición de cordones litorales en la parte Nor-Este de la Isla El Morro.

Figura 35. Dinámica Litoral entre las fechas 1997 y 2003 para la zona B.



En la figura 35 se observa el resultado de la aplicación del análisis multicriterio en la zona A. En esta imagen temática se definen tres zonas, con un valor numérico que las representa.

Tabla 7. Valores numéricos del análisis multicriterio zona B

	VALOR
DEPOSITACIÓN	0
EQUILIBRIO	1
EROSIÓN	2

En la zona B la cuantificación de la erosión depositación es:

Tabla 8. Cuantificación erosión – depositación Zona B.

Proceso	Área m ² /año
EROSION	164670
DEPOSITACIÓN	157255

La cuantificación de os procesos de erosión-depositación muestran valores muy similares entre si en un promedio generalizado de toda la zona B, pero en las imágenes temáticas se observa que existen zonas con mayor grado de depositación como en el caso de la desembocadura de los Esteros Rosario y Mexicano, y otras que presenta mayor grado de erosión como Punta la Florida.

3.6 MAPA DE JURISDICCION

La consecución del mapa de jurisdicción para la zona A se realiza a partir de información geológica y geomorfológica dispuesta en mapas temáticos ubicados en un entorno SIG, mediante una propuesta metodológica la cual aplica algebra de mapas a través de la herramienta de análisis multicriterio.

Para los cuerpos delimitados en cada uno mapa es asignado un valor o peso. En el caso del mapa geomorfológico, la asignación de pesos se realiza de manera cualitativa, teniendo en cuenta básicamente el tipo de geoforma (erosiva, transicional o deposicional) mientras que para los rasgos litológicos se asigna un criterio cuantitativo determinado por el orden cronológico, la génesis y composición de los cuerpos.

El análisis multicriterio tiene la ventaja que permite manejar simultáneamente información cualitativa y cuantitativa.

Tabla 9. Asignación de Pesos a geoformas y litologías para el análisis multicriterio.

Geoforma	Peso	Litología	Peso
Terrenos de bajamar	1	Qal	1
Tómbolo	2	Qam	2
Lagoons	3	Qt	3
Llanuras de Inundación	4	TQs	4
Espiga	5	Tmgn	5
Playa	6		
Llanura Costera	7		
Isla Barrera	8		
Pilar	9		
Acantilado	10		

Se observa que el resultado del cruce entre la información Geológica y la Geomorfológica mediante la aplicación del análisis multicriterio es el mapa de Jurisdicción, el cual posee tres valores representativos:

Figura 36. Mapa de jurisdicción Zona A.

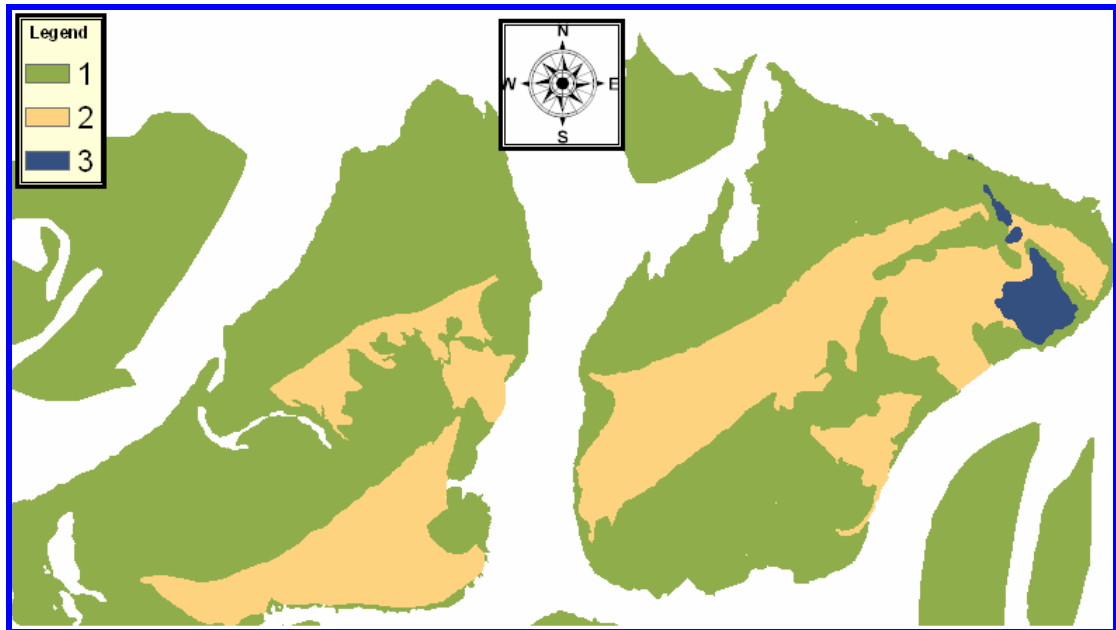


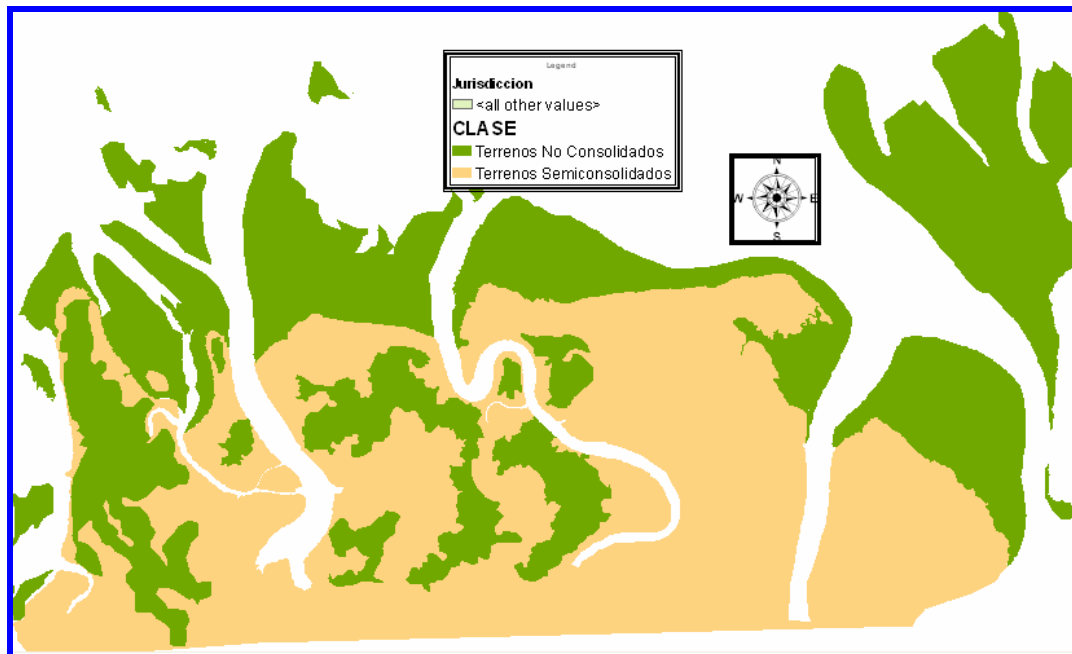
Tabla 10. Valores mapa de jurisdicción zona A

	VALOR
TERRENOS NO CONSOLIDADOS	1
TERRENOS SEMICONSOLIDADOS	2
TERRENOS CONSOLIDADOS	3

Los valores en peso del análisis multicriterio para geoformas y litologías en la determinación de terrenos consolidados y no consolidados tienen la ventaja de que pueden ser actualizados y de igual manera, puede ser sometidos a modificaciones si los usuarios lo ven necesario.

Para la zona B, dado que sus depósitos son recientes (Plioceno – Cuaternario) el análisis multicriterio se hace innecesario. En este caso, la aplicación de criterios geológicos, geomorfológicos y geodinámicos se hace indispensable a la luz de definir el grado de consolidación de los terrenos.

Figura 37. Mapa de Jurisdicción Zona B.



Los terrenos ocupados por zonas de bajamar y llanuras de inundación tienen el menor grado de consolidación, mientras que para las zonas pertenecientes a terrazas y llanuras costeras se considera un grado de consolidación mayor, sin dejar de lado que son terrenos relativamente nuevos que posiblemente han sido acrecionados o que han sufrido levantamiento tectónico en el pasado reciente y que actualmente se siguen creando.

CONCLUSIONES

La banda cuatro (1.6 μ m) del sensor ASTER, gracias a su rango espectral, permite visualizar con mayor facilidad los depósitos arenosos típicos en las zonas costeras.

La banda tres (0.8070 μ m) del sensor ASTER permite dilucidar con precisión el límite entre el continente y el mar en la aplicación del realce de color (CLUT) y en el análisis multitemporal mediante componentes principales, lo cual es básico para la diferenciación de la línea de costa.

La combinación de bandas 2, 3 y 4 del sensor ASTER presento el mejor desempeño para realizar la clasificación supervisada de terrenos morfológicos en la Bahía de Tumaco.

La comparación entre el mapa de dinámica litoral y las muestras recolectadas en campo demostraron que: las zonas estables poseen bajos porcentajes en ferromagnesianos y altos en cuarzo, mientras que zonas con fuerte dinámica litoral poseen altos porcentajes en ferromagnesianos y además están ligadas a las desembocaduras de esteros lo cual explicaría el factor composicional.

La Bahía de Tumaco presenta una compleja dinámica litoral establecida por la cuantificación de la erosión-depositación inconstantes y fluctuantes encontradas en ambas zonas piloto; En la zona A, la depositación es el triple de la erosión; mientras que para la zona B, ocurre que la cuantificación promedio anual determinada mediante dos imágenes con seis años de diferencia es cuatro veces menor que la resultante para dos imágenes de la misma zona con solo seis meses de diferencia

Se comprobó exitosamente la aplicación de la propuesta metodológica en dos zonas piloto en la Bahía de Tumaco la cual usa mapas de tipo geológico y geomorfológico para delimitar terrenos consolidados y no consolidados de manera automática mediante análisis multicriterio desde un SIG.

RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar esta propuesta metodológica a otras zonas del Pacífico Colombiano que presenten características diferentes a las encontradas en la Bahía de Tumaco

Se recomienda la adquisición de imágenes ASTER para realizar estudios que sirvan como insumos en la determinación de áreas de jurisdicción en otras zonas de Pacífico Colombiano dada la calidad de sus datos y sus bajos costos.

Se recomienda la adquisición de modelos de elevación digital MED para hacer más preciso el análisis geomorfológico.

Dada la compleja dinámica litoral presente en la Bahía de Tumaco, se recomienda hacer el seguimiento multitemporal de la zona usando imágenes satelitales cada tres meses, con el fin de determinar los diferentes ciclos erosionales y deposicionales.

Se recomienda un estudio que se centre en definir las fuentes de aporte sedimentario por parte del continente y las tasas de erosión-depositación mediante métodos tradicionales.

Se recomienda la aplicación de un espectrofotómetro con el fin de realizar una librería espectral propia del Pacífico Colombiano y así poder calibrar los datos de los sensores.

Se recomienda continuar con los esfuerzos por parte de la DIMAR en el desarrollo de estudios científicos orientados a investigar la estrecha relación entre mar y el continente

BIBLIOGRAFIA

AGUDELO, E., RESTREPO J. Análisis Multitemporal De Coberturas Vegetales En Un Bosque Húmedo Tropical (Río Porce, Colombia). Trabajo de Grado Ingeniería Forestal Departamento de Ciencias Forestales - Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 2004

ARANGO, J. Y PONCE, A. Reseña explicativa del mapa geológico del departamento de Nariño. INGEOMINAS. Informe 1818. Bogota. 1980.

CHUVIECO S. E. Fundamentos de Teledetección espacial. Madrid. Ediciones RIALP. 568 p. 1996

CORREA, I. D., GONZÁLEZ, J. L. Geomorfología General y Sedimentología de la Bahía de Tumaco. INGEOMINAS, PROGOC. 1989.

DAVIS, R. Jr. Coasts. Ed. Prentice - Hall. New Jersey. 1996.

FRANCO, E. Y GÓMEZ, J. F. Evolución de la Línea de Costa del Litoral Antioqueño. Aspectos Geomorfológicos. Tesis de grado. Universidad Nacional de Medellín. 1996.

HAYES, M. O. Morphology of sand accumulation in estuaries. En: Estuarine Research. Vol. II. Academyc Press. New York. 1975.

IDEAM - MINAMBIENTE y UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Morfodinámica, Población y Amenazas Naturales en la Costa Pacifica Colombiana. Tumaco. Pp. 70. 1997.

JENSEN, J.R. Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective, (2nd ed), Prentice Hall, Upper Saddle river N.J. 315p. 1996.

LILLESAND, T. y KIEFER, R. Remote Sensing and Image Interpretation. Madison, Ediciones WILEY 724 p. 2000.

LISITZIN, A. P. Principles of Geological Mapping of Marine Sediment. Francia: Unesco reports in marine science. Pp. 101. 1986.

MONTAÑO, Y., y PERAZA, R. Aplicación de un modelo de tipo predictivo para cuantificar el transporte litoral de arenas en dos playas de la costa Sur de Sinaloa. En: An. Inst. Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Autónoma de México. No. 1. Pp. 305 -314. 1986.

PERNIA, J. & LÓPEZ, J. Rectificación de una imagen Spot con puntos de control obtenidos por GPS diferencial. Revista Forestal de Venezuela, 45 (15): 65-77. 2001

PETHICK, J. An Introduction to Coastal Geomorphology. Ed. Edward Arnold. Baltimore. 1984.

TOVAR, A. Variación De La Línea De Costa Entre Los Años 1958 Y 2000 En La Ensenada De Tumaco Departamento De Nariño. Trabajo de Grado. Departamento de Geología. Universidad EAFIT. 2002.

ANEXOS

ANEXO 1

Estadísticas básicas de las imágenes ASTER

	8202-AST_09_VNIR_2003-11-25.tif			8202-AST_09_VNIR_2003-04-06.img		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3
Media	50,304	40,975	44,313	64,042	48,132	45,933
Mediana	28	22	20	41	29	29
Desv. Estándar	66,305	60,511	50,92	61,698	54,983	45,204

Matriz de covarianza para la imagen ASTER 8202-AST_09_VNIR_2003-11-25

Covarianza	Banda 1	Banda 2	Banda 3
Banda 1	2.929.173.730	2.159.332.541	1.189.253.376
Banda 2	2.159.332.541	2.233.374.817	1.051.572.765
Banda 3	1.189.253.376	1.051.572.765	1.574.294.884

Matriz de correlación para la imagen ASTER 8202-AST_09_VNIR_2003-11-25

Correlación	Banda 1	Banda 2	Banda 3
Banda 1	1.000.000	0.844240	0.553807
Banda 2	0.844240	1.000.000	0.560810
Banda 3	0.553807	0.560810	1.000.000

Estadísticas básicas de la imagen Ikonos

	1(Azul)	2(Verde)	3(InfRed)	4(Rojo)
Mínimo	99	1	1	1
Máximo	2047	2047	2047	2047
Media	503,255	525,99	376,508	367,413
Mediana	504	521	325	351
Moda	533	544	300	338
Desv. Estándar	123,267	153,116	198,757	142,486

Matriz de covarianza para la imagen Ikonos 8201-ikonos_02.img

Covarianza	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Banda 1	63.698.164.119	68.550.583.474	42.635.597.785	50.385.909.698
Banda 2	68.550.583.474	74.385.329.000	46.953.583.131	55.337.914.668
Banda 3	42.635.597.785	46.953.583.131	57.400.761.205	36.786.056.790
Banda 4	50.385.909.698	55.337.914.668	36.786.056.790	42.512.679.167

Matriz de correlación para la imagen Ikonos 8201-ikonos_02.img

Correlación	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Banda 1	1.000.000	0.995873	0.705099	0.968248
Banda 2	0.995873	1.000.000	0.718565	0.984056
Banda 3	0.705099	0.718565	1.000.000	0.744672
Banda 4	0.968248	0.984056	0.744672	1.000.000

ANEXO 2

Matriz de contingencia imagen ASTER 8206-AST_09_BANDAS_234_2003-11-25.img

Firmas Clasif	arena hume	llanuras de Inund	Barras de are	veget 1	arena hume	manglar	sombra nub	sombra nub	nube 1	nube 2	estero	t_bajamar
arena hume	1030	39	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0
llanuras de Inund	44	5065	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Barras de arena	0	0	1765	0	0	0	0	0	0	0	0	0
veget1	0	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	0
arena hume	65	0	0	0	165	0	0	0	0	0	0	0
manglar	0	0	8	0	0	724	0	0	0	0	0	0
sombra nub	0	0	0	0	0	0	698	0	0	0	0	0
sombra nub	0	1	0	0	0	0	0	493	0	0	0	0
nube1	0	0	0	0	0	0	0	0	5813	0	0	0
nube2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	0	0
estero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3664	0
t_bajamar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	2463
Column Total	1139	5105	1773	83	177	724	698	495	5813	76	3686	2463

Matriz de contingencia imagen lkonos 8301-ikonos_02.img

Firma	vegetación	bajamarT	humedad	Playas	playa1	agua	Row Total
vegetación	1610	0	0	0	0	0	1610
bajamarT	0	1488	0	0	0	0	1488
humedad	0	0	8122	0	0	0	8122
Playas	0	0	0	388	0	0	388
playa1	0	0	0	0	339	0	339
agua	0	0	0	0	0	464	464
Columna Total	1610	1488	8122	388	339	464	12411

ANEXO 3

Matriz de Autovectores del A.C.P. para la imagen 8208-AST_09_6COMPONENTES_2003-11-25_2003-04-06.img

	BANDAS	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
25/11/2003	1 Verde	0,30643	-0,61660	0,27281	-0,27324	-0,44810	-0,41955
	2 Rojo	0,27752	-0,54976	0,16487	-0,00658	0,51012	0,57732
	3 Inf Red	0,28583	-0,28078	-0,71343	0,54391	-0,01017	-0,18585
06/04/2003	1 Verde	0,56430	0,32581	0,24275	0,32107	-0,49482	0,41055
	2 Rojo	0,50823	0,29754	0,28363	0,09099	0,54222	-0,52004
	3 Inf Red	0,41309	0,20987	-0,50004	-0,71979	0,00558	0,13094

ANEXO 4

Tablas composicionales y de tamaño de grano 8 y 9 de Noviembre. Zona B.

Δ	Muestra	Qz	Feld	FeMg	Micas	Arena	Lodo	OBSERV
3	M08-11-01	65%	30%	4%	1%	Medio a Fino		Restos de M.O
4	M08-11-02					10% Fina a muy fina	90% Limo fino	Restos de M.O
4	M08-11-03	55%	35%	6%	4%	Medio a fino		Restos de conchillas
8	M08-11-04	45%	20%	30%	5%	Fino a muy fino		
10	M09-11-01	65%	28%	3%	4%	Medio a fino		Conchillas
10	M09-11-02	65%	25%	6%	4%	70% Medio a Fino	30%	Restos de M.O
12	M09-11-03	55%	20%	20%	5%	Fino a muy fino		
12	M09-11-04					10% Medio Feld y Qz	90% Limo medio	Restos de M.O
15	M09-11-05	60%	20%	18%	2%	Media a fina		

Tabla Composicional y de tamaño de grano 29 y 30 de septiembre. Zona A

Δ	Muestra	Qz	Feld	FeMg	Micas	Arena	OBSERVACIONES
4	M29-09-01	60%	30%	5%	5%	Media a fina	
5	M29-09-02	70%	20%	5%	5%	Fina a muy fina	
6	M29-09-03	60%	30%	7%	3%	Medio a muy fino	Material antrópico
7	M29-09-04	65%	25%	6%	4%	Medio a fino	Material antrópico, óxidos.
9	M29-09-05	62%	30%	3%	5%	Medio a fino	Carretera vía la playa
13	M30-09-06	65%	25%	6%	4%	Fino a muy fino	
14	M30-09-07	60%	30%	7%	3%	Medio a fino	Material antrópico. Línea de costa
15	M30-09-08	60%	32%	5%	3%	fino a muy fino	

Tabla Composicional y de tamaño de grano 17 de noviembre. Zona A

Δ	Muestra	Qz	Feld	FeMg	Micas	Arena	OBSERVACIONES
10	M17-11-01	70%	23%	4%	3%	Fina a muy fina	Matriz Lodosa. Terreno compacto
11							Lodo con M.O
12	M17-11-02	70%	20%	5%	5%	Fina a muy fina	
13	M17-11-03	60%	20%	15%	5%	Medio a fino	