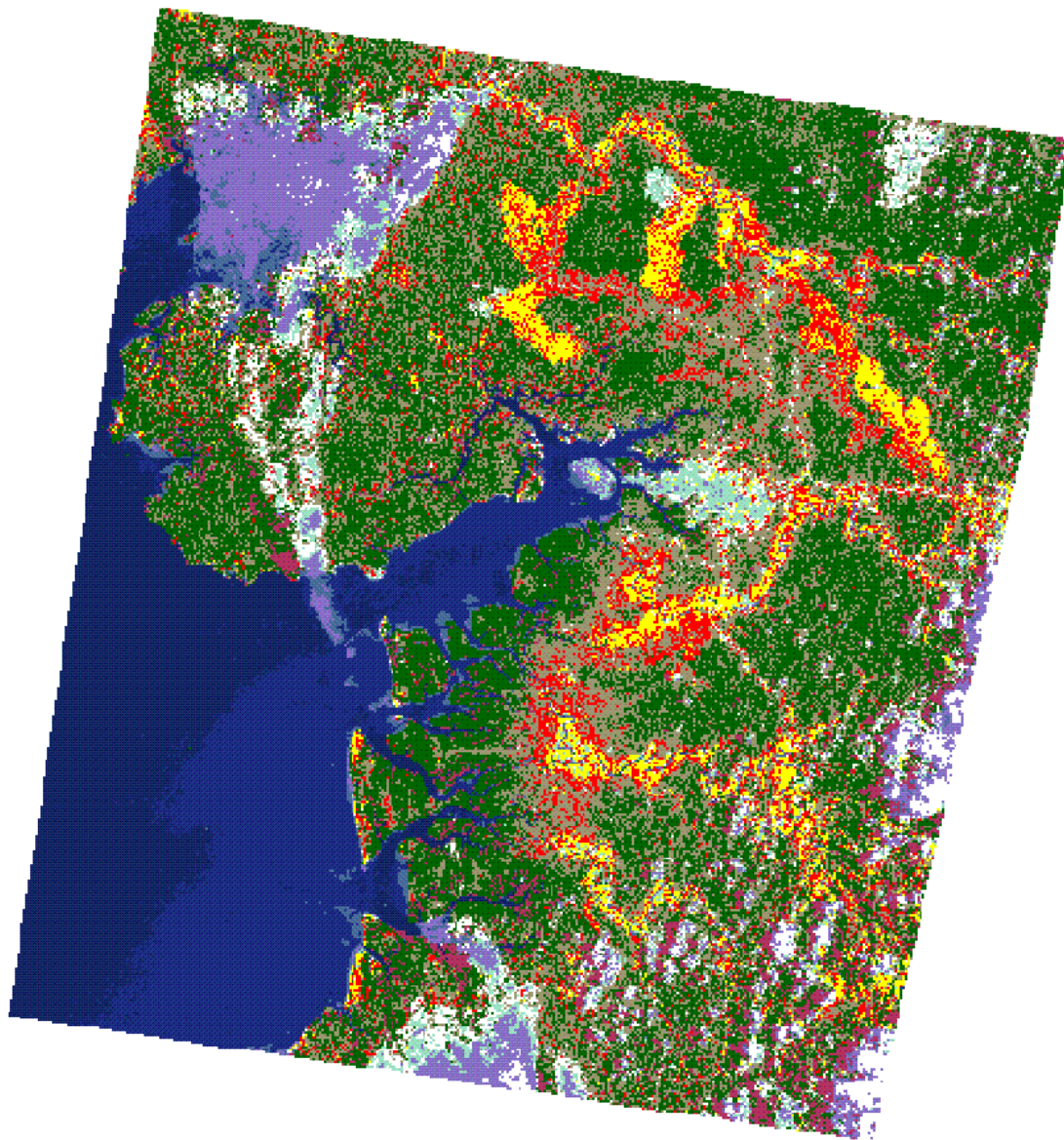


ESTUDIO DEMOSTRATIVO SOBRE COBERTURAS Y CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO EN LA REGIÓN DE BUENAVENTURA



Prosis

©
Cali, Noviembre de 1998
Observatorio Sismológico del Sur Occidente Colombiano
Empresa Prosis S.A.

CONTENIDO

ANEXOS	II
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....	III
RESUMEN	IV
INTRODUCCIÓN.....	1
1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	4
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 OPERACIONES DE RECTIFICACIÓN Y RESTAURACIÓN	7
2.2 OPERACIONES DE REALCE	9
2.2.1. <i>La Manipulación del Contraste</i>	9
2.2.2. <i>La Manipulación de las Características Espaciales</i>	9
2.2.3. <i>La Manipulación de las Características Espectrales</i>	9
2.3 CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES	10
2.3.1 <i>Clasificación No Supervisada:</i>	11
2.3.2 <i>Clasificación Supervisada:</i>	11
3 METODOLOGÍA.....	12
3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO	12
3.2 DESCRIPCIÓN DE ETAPAS.....	13
3.2.1 <i>Acopio de Información Espacial Disponible</i>	13
3.2.2 <i>Tratamiento Digital y Análisis de las Imágenes Landsat TM.</i>	14
4. PRODUCTOS CARTOGRÁFICOS	33
5. CONCLUSIONES Y RESULTADOS	34
6. BIBLIOGRAFIA	38

ANEXOS

- Anexo 1 Operaciones de Rectificación, Restauración y Realce Aplicadas a las
Imágenes Landsat TM 1986 y 1997**
- Anexo 2 Clases de Cobertura y Usos del Suelo Municipio de Buenaventura**
- Anexo 3 Productos Cartográficos**

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 Características De Las Imágenes LANDSAT TM 1986	14
Tabla 2 Características De Las Imágenes LANDSAT TM 1997	14
Figura 1 Localización del Área de Estudio	6
Figura 2 Histograma Original Banda 4.....	19
Figura 3 Histograma con Realce Espectral Banda 4	20
Figura 4 Histograma Original Banda 5.....	21
Figura 5 Histograma con Realce Espectral Banda 5	22
Figura 6 Histograma Original Banda 3.....	23
Figura 7 Histograma con Realce Espectral Banda 3	24

RESUMEN

El presente es un estudio piloto que tiene como objetivo identificar los tipos de cobertura y cambios en el uso del suelo de una porción del Pacífico colombiano (municipio de Buenaventura) mediante un análisis multitemporal de imágenes de satélite Landsat TM, a la vez que evaluar la utilidad de algunos productos de sensores remotos en una región con características físico - naturales difíciles para este tipo de tecnología.

El estudio comprendió, en primer lugar, el acopio, análisis y tratamiento de imágenes de sensores remotos, de fotografías aéreas y de cartografía tanto analógica como digital; se realizó una revisión del estado del arte y se consultaron expertos en el tema; luego con base en unos resultados preliminares se realizó un trabajo de campo para recolección y verificación de datos, y finalmente se generaron unos resultados.

Como fuente primaria para el tratamiento digital se utilizaron imágenes Landsat Thematic Mapper (TM) de 1986 y 1997, bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7, con la utilización de la herramienta de software ERDAS IMAGINE versión 8.3.1 de 1998 bajo sistema operativo Windows 95. También se utilizó cartografía urbana en formato digital del plan maestro de alcantarillado y del proyecto plan pacífico, ambas de 1994 a escala 1:5.000. Adicionalmente se utilizaron imágenes de radar Radarsat 1996 del proyecto Plan Pacífico para la generación de sinergismos.

Como fuente de información analógica se utilizó cartografía IGAC 1:25000 de 1969, fotografías aéreas IGAC de 1985 y 1998 - de la zona urbana de Buenaventura y sus alrededores - a escalas 1:20.000 y 1:5.000, respectivamente, y un mapa de coberturas y usos del suelo a escala 1:50.000 elaborado por La Fundación Herencia Verde en 1994, para una zona comprendida entre los Ríos Dagua y Raposo.

Las imágenes Landsat contienen información espacial y espectral de las coberturas del territorio de estudio; el software utilizado para el procesamiento de estas imágenes está diseñado para reconocer y realzar las diferencias espaciales y espectrales de las coberturas de una imagen, más allá de la capacidad de la visión humana. Adicionalmente, existen algoritmos para realizar un análisis multitemporal de imágenes con base en los cambios que se hubiesen dado en el territorio.

El tratamiento digital de las imágenes incluyó, en primer lugar, la extracción de las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7, de las cuales se seleccionaron las bandas 3, 4 y 5 para realizar la combinación 4 5 3 (RGB) a partir de la cual se hizo una interpretación inicial; esta imagen fue georreferenciada con base en cartografía IGAC y se le aplicaron realces espectrales y espaciales. Posteriormente las imágenes originales de 1986 y 1997 fueron usadas para hacer una clasificación de los usos y cobertura de la tierra en las respectivas fechas.

Estos procesos junto con el análisis multitemporal de las imágenes permitieron identificar fácilmente dinámicas de intervención de la cobertura vegetal y patrones de expansión urbana en la zona, en un lapso de 10 años. Las imágenes permitieron ver, por ejemplo, la aparición de nuevas madres viejas y la instalación de un nuevo tendido eléctrico, así como la aparición de trochas y parcelas junto con la desaparición de otras.

Los resultados de este estudio mostraron patrones de intervención y de cambios de la cobertura vegetal, principalmente en las áreas de influencia de los ríos, vías y esteros tanto en 1986 como en 1997; algunos de estos patrones sumados al promedio de lluvias de la zona y el régimen mareal, podrían aportar a la explicación de la presencia de sedimentos, transportados y depositados por los ríos en el mar, en las costas de la bahía y sus alrededores. Se observó además que los canales intermareales, los ríos, el bosque húmedo tropical y los manglares aledaños a Buenaventura son áreas en las cuales se está produciendo parte de la expansión urbana; esta última se desarrolla principalmente hacia el continente en dirección oeste - este. En la zona ubicada entre las coordenadas (3°55'00" – 4°05'00") N y (77°00'00" - 77°10'00")W, se observaron cambios notables en la cobertura

vegetal por tala del bosque; en esa zona, al momento de la elaboración de este documento, existen malezas, arbustos y palmeras.

Con este trabajo se espera motivar a los diversos actores sociales del desarrollo para que en el futuro próximo lideren proyectos de investigación más detallados sobre los elementos espaciales que interactúan en el área urbana y rural del municipio de Buenaventura; los proyectos que surjan podrían extraer información más detallada o diferente de las imágenes gracias a las posibilidades de procesamiento que ofrece la tecnología del sensoramiento remoto. Los patrones evolutivos o de desarrollo identificados en el análisis multitemporal y multiespectral de las imágenes de 1986 y 1997, servirán como insumo para este tipo de proyectos.

INTRODUCCIÓN

"Las regiones boscosas del trópico húmedo, y particularmente las del Pacífico colombiano, requieren de metodologías modernas, de amplio cubrimiento y de bajos costos comparativos para la realización de inventarios de recursos y para la evaluación de cambios producidos por dinámicas naturales y antrópicas. Imágenes de sensores remotos, la más moderna herramienta para estos fines, se encuentran disponibles para la región; sin embargo, para su aplicación éstas, deben ser calibradas y ajustadas mediante investigaciones que posibiliten su utilización tanto extensivamente como para fines específicos".

Rodríguez, E., 1997.

Gran parte de las regiones colombianas históricamente han sido de difícil acceso, por sus condiciones topográficas y climáticas; entre ellas se destaca el Pacífico sobre el cual no se dispone todavía de cartografía con total cubrimiento espacial y de renovación temporal. Las condiciones climáticas allí son excepcionales, con promedios de lluvia anuales entre 6,000 y más de 12,000 mm, con más de 200 días con lluvia al año y nubosidad casi permanente (CVC, registros hidrometeorológicos). Estas condiciones, aunadas a lo dispendioso y costoso de los accesos han limitado el cubrimiento de la región con fotografías aéreas y la consecuente cartografía.

La primera visión integral del Pacífico colombiano se logró en el año 1969, mediante la toma de imágenes de radar [WESTINGHOUSE, 1969], las cuales fueron utilizadas principalmente como una ayuda para la elaboración de cartografía geológica, [VAN ES, 1975; BARLOW, 1981] y ocasionalmente para estudios de bosques en la región de Tumaco. [SMIT, G., 1972].

Con la operación rutinaria de satélites dotados de sensores remotos, desde la década de 1970, se dispuso de capacidad para observar regiones como la del Pacífico, las cuales han sido utilizadas para fines específicos, por ejemplo:

- ♦ Acosta y Correa (1990), para la delimitación de las zonas aptas para el cultivo de camarón entre Buenaventura y el delta del río Mira, en la frontera con el Ecuador.
- ♦ Restrepo, et al. , (1995), en el marco del proyecto *Delta del Río San Juan Bahías de Málaga y Buenaventura, Pacífico Colombiano, Fase I*, para diferentes estudios sobre geomorfología costera y cartografía vegetal.
- ♦ Rodríguez et al. , (1995), para cartografiar la vegetación de Isla Soldado y,
- ♦ Rodríguez (1997), para el estudio de vegetación y geomorfología de la Isla Soldado.

En comparación, se dispone de muy pocos estudios conocidos y publicados para la evaluación de cambios espaciales y temporales en los usos del suelo, para la mitigación de riesgos por fenómenos naturales y como herramienta para la toma de decisiones y el apoyo a los planes de ordenamiento territorial. Ejemplos de esto se encuentran en el Plan de Acción forestal para Colombia [PAFC, 1994] y en OSSO para PNUD (1997), en este último caso en la temática Medio Ambiente - mitigación de riesgos.

El presente Estudio Demostrativo, es el resultado de aunar esfuerzos entre el sector académico - investigativo a través del OSSO, y el sector privado a través de la firma PROSIS S.A., como empresa promotora de instrumentos e información de tecnologías recientes.

El OSSO y PROSIS acordaron seleccionar la región de Buenaventura, y en ella dos imágenes multiespectrales Landsat TM de marzo de 1986 y de septiembre de 1997. Las fechas de toma coinciden con dos de los últimos fenómenos El Niño de mediana intensidad [Wolter and Timblin, 1997], durante los cuales en Colombia predomina el tiempo seco y es posible encontrar días con baja nubosidad y déficit de lluvias en la región centro y norte del Pacífico colombiano. [IDEAM, 1997, 1998].

Mediante este estudio demostrativo se buscan varios objetivos interrelacionados:

- ◆ Aplicar, documentar y difundir metodologías y procedimientos de análisis temporal y espacial del territorio, mediante la utilización de información digital de sensores remotos.
- ◆ Evaluar los cambios en el territorio, en un lapso de 10 años, en una zona del bosque muy húmedo tropical sometido a usos forestales, mineros, urbanos, turísticos y portuarios, con déficit de información.
- ◆ Poner a disposición del dominio público la metodología y los resultados del estudio, como una contribución a potenciales usuarios de los sectores académico, público y privado. Un primer beneficiario será el Municipio de Buenaventura en el marco de su Plan de Ordenamiento Territorial.
- ◆ Evaluar ventajas y desventajas con respecto a otras herramientas como cartografía convencional con o sin utilización de fotografías aéreas.

1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El municipio de Buenaventura está ubicado en el Departamento del Valle del Cauca, en la costa pacífica colombiana (figura No 1). Según datos preliminares del censo de 1993 la población de la cabecera municipal era de 186.933 habitantes y el sector rural tenía 14.416 habitantes. La ciudad está localizada en las coordenadas 3°53'36" de Latitud Norte y 77° 4'11" de Longitud Oeste. Tiene una altura promedio de 7 m sobre el nivel del mar, temperatura media de 27° C y precipitación media anual de 6.980 mm. Al noroeste de la isla Cascajal, llamada también de Buenaventura, se encuentra construido el puerto. Esta isla está conectada con la parte continental por un puente de 180 m llamado, el Puente del Piñal [IGAC, 1996].

La mayor parte de las actividades económicas giran en torno al movimiento portuario. El puerto mueve aproximadamente el 60% de la carga de importación y exportación del país. Las actividades comerciales más destacadas en el municipio guardan relación con los productos de origen agropecuario, minero y turístico. Tienen importancia la pesca y la explotación forestal para la cual existen permisos (a 1996) de extracción maderera en terrenos públicos y privados en un área de 3.726 ha, aproximadamente [IGAC, 1996].

El territorio municipal comprende 6788,000 km²; en él se distinguen de occidente a oriente tres conjuntos fisiográficos: primero la faja del litoral o andén pacífico, comprendido entre las desembocaduras de los ríos San Juan, al norte y Naya al sur; esta zona es de terrenos bajos y anegadizos con numerosos caños, esteros e islas, cubiertos por manglares formados por múltiples ríos que bajan de la Cordillera Occidental y desembocan en el océano. El segundo conjunto conforma la llanura del Pacífico con suaves ondulaciones y en parte cubierta por selva húmeda. El tercero es el flanco occidental de la Cordillera Occidental. [IGAC, 1996].

Sobre este territorio, en la imagen de 1986 se seleccionó la región comprendida entre las coordenadas (4°8'34.72" N - a la altura del río Calima -, 77°22'38.3988" W- colindando con el Océano Pacífico) y (3°32'3.6096" - a la altura del río Raposo -, 76°49'21.216" W - piedemonte de la Cordillera Occidental), la cual enmarca un área de 3182,64 km². En la imagen de 1997, se seleccionó aproximadamente la misma región, comprendida entre las coordenadas (4°8'15.684" N, 77°22'4.4868" W) y (3° 32'39.4332" N, 76°48'21.2688" W), la cual enmarca un área de 3223.35 km².

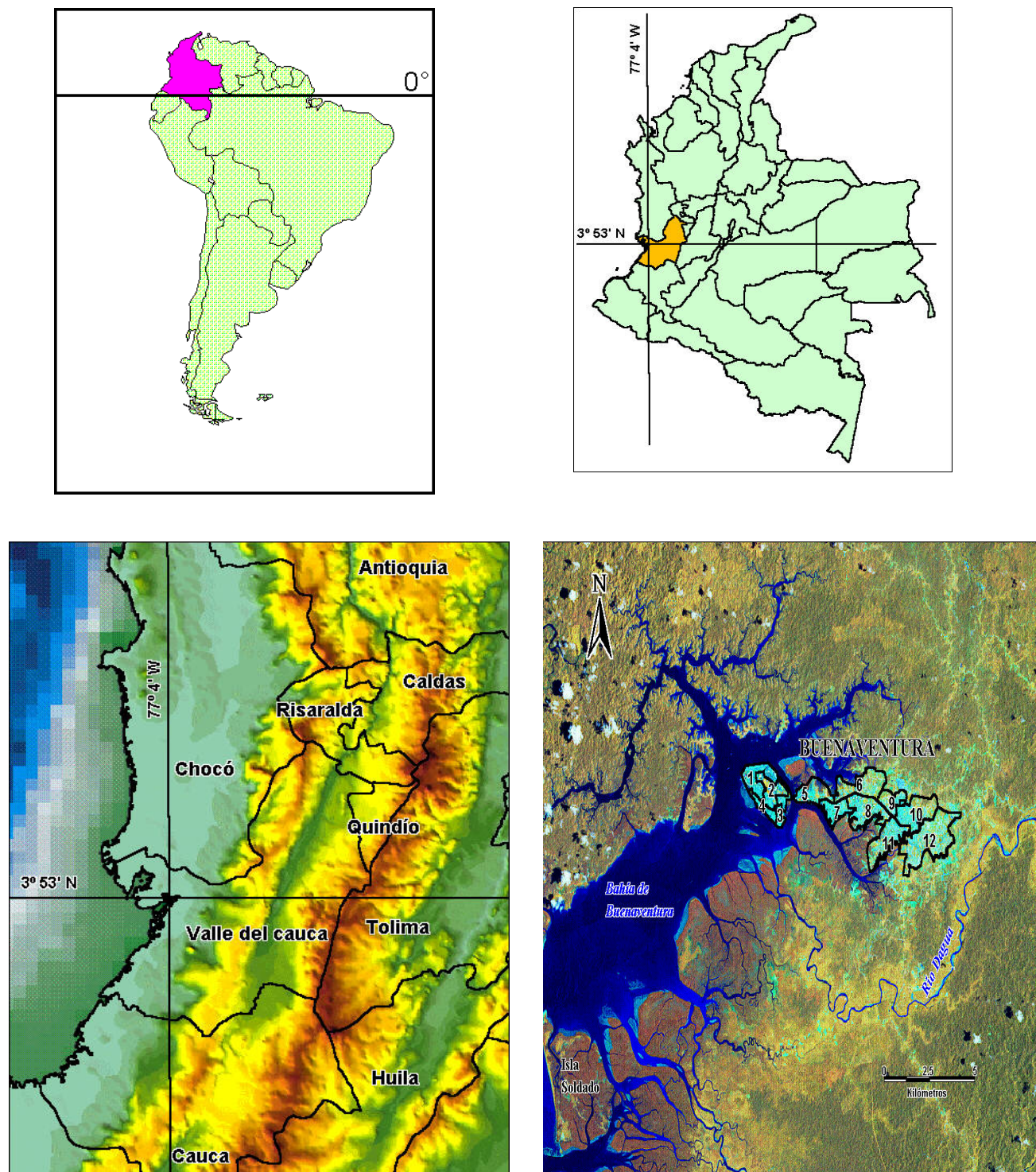


Figura 1 Localización del Área de Estudio

2. MARCO TEÓRICO

Desde sus inicios, los productos de la percepción remota han sido de gran utilidad para el reconocimiento y ubicación de objetos en el espacio geográfico; con su desarrollo y perfeccionamiento, la percepción remota sigue aportando una amplia gama de información de estos objetos y de su entorno, que, en el caso de los sensores multiespectrales, está asociada con su respuesta espectral.

El tratamiento digital de imágenes consiste en la manipulación e interpretación de los datos que éstas contienen con la ayuda de computadores. El proceso involucra la rectificación y restauración, realce y clasificación de la imagen. [Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., 1994]

2.1 OPERACIONES DE RECTIFICACIÓN Y RESTAURACIÓN

Estas son básicamente correcciones geométricas y radiométricas, lo cual se conoce con el nombre de **preprocesamiento**. **Las distorsiones geométricas** son sistemáticas y aleatorias; los errores sistemáticos, tales como el desplazamiento del relieve, rotación y curvatura de la tierra, son corregidos generalmente en las estaciones receptoras de las imágenes aplicando modelos matemáticos y, por lo tanto, el usuario se ahorra esta tarea; los errores aleatorios están relacionados con la ubicación geográfica de un punto en la imagen, estos son corregidos georreferenciando la imagen con ayuda de cartografía de la zona y aplicando algoritmos de remuestreo como Vecino Más Cercano (Nearest Neighbor), Interpolación Bilinear o Convolución Cúbica. [Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., 1994]

Por su parte, las distorsiones radiométricas son provocadas por condiciones atmosféricas, cambios en la iluminación de la escena (altura del sol), mal funcionamiento del sensor (ruidos), entre otros. **Las correcciones radiométricas** son técnicas mediante las cuales se

modifican los niveles digitales (ND) de la matriz original; estas correcciones son útiles para modular parámetros físicos dentro de la imagen o para abordar análisis espectrales detallados. [Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., 1994]. Para una adecuada corrección radiométrica se requiere disponer de un modelo de las condiciones atmosféricas de la región en el momento de la toma de las imágenes. Este tipo de trabajos aún no se desarrollan en Colombia (por razones tecnológicas y de costos). En este aspecto algunos autores recomiendan utilizar modelos aproximados para las correcciones atmosféricas, mientras que otros, prefieren obviar este tipo de insumos argumentando que no es necesario realizar este tipo de correcciones para obtener buenos resultados. En este Estudio no hemos incluido correcciones radiométricas.

Finalmente, **el ruido** es una interferencia en los datos de la imagen que puede deberse, entre otras causas, a un fallo momentáneo de un detector en la recepción o emisión de la señal, lo que provoca la pérdida o distorsión de una serie de líneas de píxeles en la imagen original. [CHUVIECO, E., 1990]. Esta información no es recuperable pero la imagen puede ser restaurada. La observación de que muchos fenómenos naturales muestran una correlación, es la base de que la estimación de los valores perdidos se puede hacer desde los valores adyacentes. Un método simple para la estimación de los valores perdidos de un píxel es tomar el valor de un píxel vecino de una línea anterior o posterior a la dañada. Otro método es reemplazar los valores perdidos por el promedio de los valores de píxeles vecinos de líneas arriba y abajo de la línea defectuosa. Un tercer método es un poco más complejo y consiste en tomar los valores perdidos de bandas altamente correlacionadas, es decir, que sus píxeles tengan ND muy similares [MATHER, P.M., 1994].

2.2 OPERACIONES DE REALCE

Son técnicas digitales para incrementar el contraste entre diferentes características de una escena, básicamente para mejorar la visualización de la imagen; estas técnicas son aplicadas después de las operaciones de restauración y rectificación de la imagen y pueden ser categorizadas como manipulación del contraste, manipulación de las características espaciales y manipulación de las características espectrales [Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., 1994].

2.2.1. La Manipulación del Contraste

Se refiere a la variación de los niveles de gris en una banda usando segmentos de la imagen que quieran ser opacados o realzados para su visualización; el Gray-Level Thresholding, Level Slicing y Contrast Stretching, son algoritmos de esta técnica. [Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., 1994]

2.2.2. La Manipulación de las Características Espaciales

Consiste en la aplicación de filtros que modifican los niveles digitales. Los filtros son matrices de coeficientes numéricos que permiten atenuar o acentuar las gradaciones radiométricas presentes en los datos originales. [CHUVIECO, E., 1990]

2.2.3. La Manipulación de las Características Espectrales

Son procesos digitales para aumentar el contraste interno de una imagen tal que se ilustre mejor sobre sus características originales. El Stretching y el Análisis de Componentes Principales (A.C.P.) son técnicas de realce espectral. El stretching toma los valores de los

ND o valores de intensidad radiométrica y los homologa con niveles de visualización (NV) o valores correspondientes a la capacidad de un monitor para visualización de la imagen. Los NV y sus correspondientes ND son almacenados en una matriz numérica llamada Look Up Table o CLUT [CHUVIECO, E., 1990], [Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., 1994].

Cada cobertura ofrece un comportamiento espectral típico, en función de sus características fisicoquímicas y biológicas denominada firma espectral. En los sensores Landsat TM la resolución espectral es de 7 bandas, las cuales abarcan regiones del espectro visible e infrarrojo cercano, medio y térmico. El área de aplicación de cada banda depende de la firma espectral del objeto de estudio en esa banda. Aplicando **A.C.P.** es posible determinar cuáles son las bandas que sintetizan la información espectral de un objeto y de esa manera obtener una composición en color sin información redundante [CHUVIECO, E., 1990].

2.3 CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES

Es un conjunto de técnicas de reconocimiento de patrones espaciales y espectrales de los píxeles de una imagen que constituyen la base para la clasificación de coberturas de la tierra. Los patrones de reconocimiento espacial se basan en las relaciones espaciales entre un píxel y su entorno y consideran aspectos de la imagen tales como textura, proximidad, tamaño, forma, direccionalidad, repetición y contexto. Los patrones de reconocimiento espectral se refieren a las características de radiancia, obtenida por el sensor y contenida en las matrices de ND de cada banda. [Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., 1994].

La clasificación digital se dirige a obtener una nueva imagen en la cual a cada uno de los píxeles de la imagen original se le asigna una clase o leyenda. Esta clasificación puede ser de dos tipos: no supervisada y supervisada. [Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., 1994].

Una diferencia fundamental entre los dos tipos de clasificación es que en la no supervisada el analista define el numero de clases y posteriormente las interpreta. En la supervisada el analista interpreta y selecciona las clases.

2.3.1 Clasificación No Supervisada:

Este tipo de clasificación no utiliza áreas de entrenamiento sino clases o *clusters* presentes en la imagen. Los algoritmos de clasificación examinan y reconocen los pixeles, y de acuerdo con sus valores, los agrega a diferentes clases con base a su ND. Las clases resultantes son llamadas clases espectrales. [Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., 1994].

2.3.2 Clasificación Supervisada:

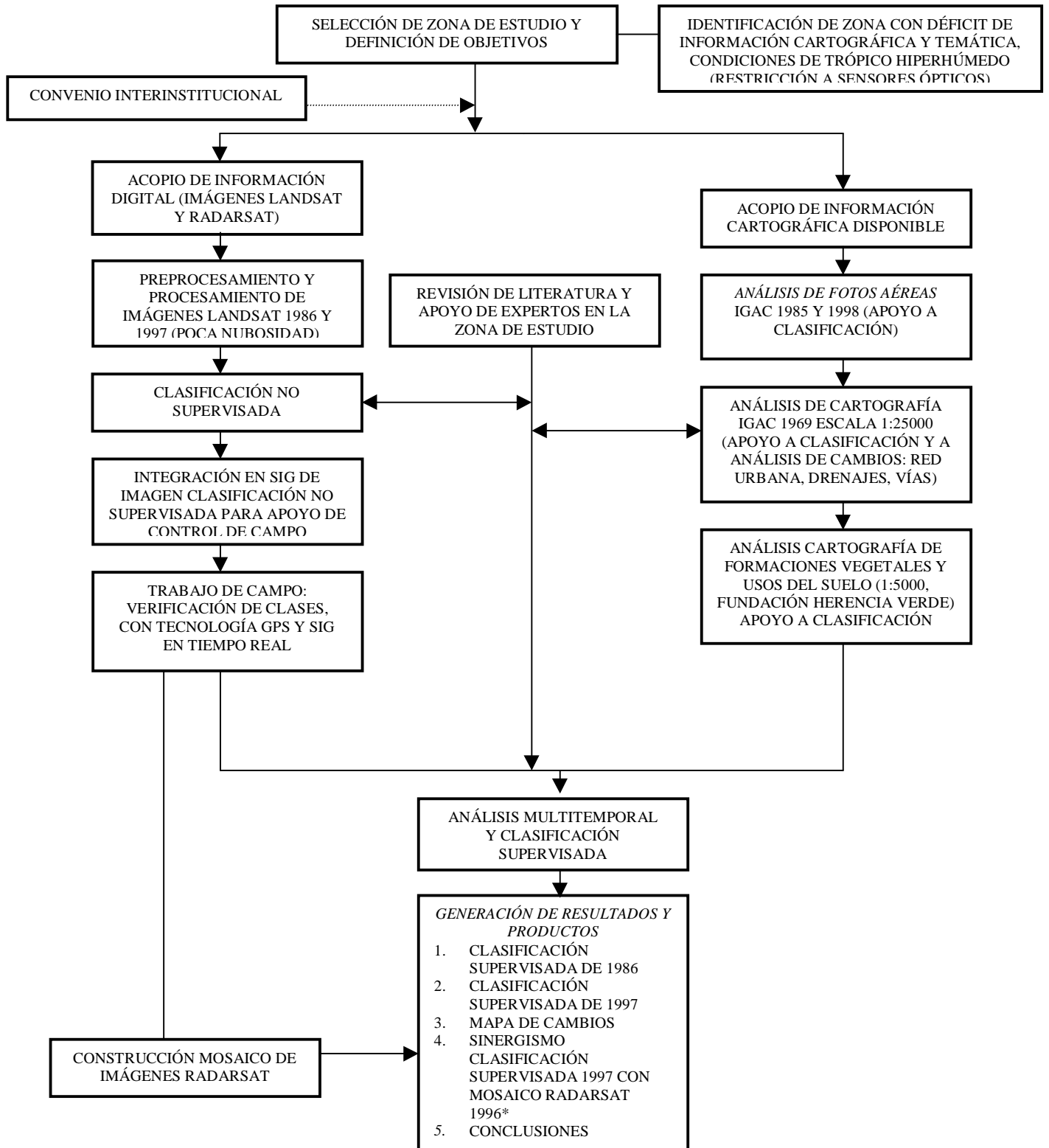
Es el tipo de clasificación en el que el analista supervisa y controla los procesos de categorización de pixeles mediante la especificación de muestras de entrenamiento, el algoritmo de clasificación agrupa los pixeles con base en las muestras seleccionadas. La clasificación supervisada involucra tres pasos:

- ◆ Entrenamiento: el analista define áreas representativas de entrenamiento.
- ◆ Clasificación: cada pixel de la imagen es categorizado dentro de una clase o cobertura.
- ◆ Salida : todos los resultados de la categorización son presentados para su análisis en un producto de salida que puede ser un mapa temático, tablas estadísticas de las varias clases de coberturas o una base de datos para integrar en un SIG.

[Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., 1994].

3. METODOLOGIA

3.1 Secuencia Metodológica para Análisis Multitemporal de Imágenes en Buenaventura (Pacífico Colombiano)



3.2 DESCRIPCIÓN DE ETAPAS

3.2.1 Acopio de Información Espacial Disponible

Para este trabajo se utilizó tanto información en formato analógico como digital. La información analógica está contenida en las planchas IGAC (cartografía de 1969) 259 – IV, 260 – III, 278 – II y 279 – I en sus componentes A, B, C y D respectivamente a escala 1:25.000, las cuales tienen un cubrimiento total de la zona de estudio; fotografías aéreas IGAC del 28 de Abril de 1985 vuelo C-2196 No. 041 – 54, 056 – 067, a escala 1:20.000 y fotografías aéreas IGAC del 21 de Febrero de 1998 vuelo C-2637 No. 0002-0070 a escala 1:5000. Las fotos aéreas abarcan el área urbana y una pequeña parte del área rural del municipio de Buenaventura. Adicionalmente, la Fundación Herencia Verde suministró un mapa de coberturas y usos del suelo a escala 1:50.000 con datos espaciales de 1994, para una zona comprendida entre los Ríos Dagua y Raposo.

La información digital se basó en cartografía del Plan Maestro de Alcantarillado para Buenaventura y del proyecto Plan Pacífico, ambas de 1994 a escala 1:5000, y dos subescenas Landsat TM, suministradas por la empresa PROSIS S.A. Las condiciones atmosféricas de la zona en los dos momentos de toma de las imágenes fueron favorables, por lo que la nubosidad presente en ellas es poca.

3.2.2 Tratamiento Digital y Análisis de las Imágenes Landsat TM.

Tabla 1 Características de las imágenes Landsat TM 1986

Entity Id:	LT5010057008608210
Acquisition Date:	1986/03/23
Northwest Latitude:	5.1986
Northwest Longitude:	-78.2653
Northeast Latitude:	4.9600
Northeast Longitude:	-76.6142
Southeast Latitude:	3.4672
Southeast Longitude:	-76.9364
Southwest Latitude:	3.7053
Southwest Longitude:	-78.5844
Satellite Number:	LANDSAT 4
Sun Elevation:	53°
Sun Azimut:	94°
Resolution	30 m
Sea fog	Low

Tabla 2 Características de las imágenes Landsat TM 1997

Entity Id:	119808120127000
Acquisition Date	1997/09/29
Northwest Latitude	4°8'16".44
Northwest Longitude	-77°17'40".56
Northeast Latitude	4°3'50".65
Northeast Longitude	-76°48'20".37
Southwest Latitude	3°32'38".72
Southwest Longitude	-76°53'9".024
Southeast Latitude	3°36'58".71
Southeast Longitude	-77°22'3".79
Satellite Number	LANDSAT 5
Sun Elevation	59.6°
Sun Azimut	101.77°
Resolution	34 m
Sea fog	Low

Para el tratamiento digital de las imágenes se desarrollaron las siguientes tareas:

♦ **Operaciones de Restauración y Rectificación (Preprocesamiento)**

Eliminación de ruido de las imágenes originales

Corrección geométrica

♦ **Operaciones de Realce (Procesamiento)**

Inicialmente se realizó una combinación de bandas 4, 5 y 3 (RGB) a la que se le aplicaron realces espaciales y espectrales; la imagen de esta combinación se georreferenció, con el propósito de obtener una imagen más fácil de interpretar y de mayor utilidad en el trabajo de campo.

♦ **Clasificación**

A las dos imágenes originales se les realizó clasificación no supervisada y supervisada y las imágenes resultantes fueron igualmente georreferenciadas.

3.2.2.1 Operaciones de Restauración y Rectificación (Preprocesamiento)

En los TM fueron incorporados múltiples cambios para mejorar la exactitud de la posición geodésica [Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., 1994]; los errores por curvatura de la tierra ya están corregidos desde las estaciones de recepción.

♦ **Eliminación del Ruido**

Se hizo un tratamiento del ruido a la banda 4 de la imagen del 29 de septiembre de 1997 utilizando la opción de copiar información de los píxeles adyacentes en buen estado para restaurar los píxeles dañados (ver anexo 1, figuras 1 y 2).

♦ **Georreferenciación**

La imagen del 29 de septiembre de 1997 fue georreferenciada con base en la cartografía IGAC 1:25.000, utilizando 20 puntos. Con este patrón se obtuvo un RMS de 0.68 píxeles.

La imagen del 23 de marzo de 1986 fue georreferenciada con base en la imagen del 29 de septiembre ya georreferenciada, utilizando 13 puntos. Con este patrón se obtuvo un RMS de 2.42 píxeles.

Para el ajuste geométrico de ambas imágenes se utilizaron las siguientes especificaciones:

- Ajuste polinomial de primer orden
- Proyección Transversa de Mercator
- Esferoide internacional 1909
- Origen de coordenadas Colombia Occidente con coordenadas geográficas Lat./Long. (4°35'56"57 N / 77°4'51"30 W), a las que se le asignaron las coordenadas falso origen (1.000.000 N, 1.000.000 E)
- Algoritmo de remuestreo Nearest Neighbor

Para corroborar la orientación de la imagen se montó sobre ella un archivo vector de cartografía digital IGAC escala 1:5000 (ver anexo 1 figuras 3 y 4).

3.2.2.2 Operaciones de Realce (Procesamiento)

♦ Combinación de Bandas

De las imágenes Landsat TM se tomaron seis bandas, excluyendo la banda 6 o térmica, porque para este estudio no fue necesario evaluar las propiedades térmicas de las coberturas.

Las imágenes fueron desplegadas asignando las bandas espectrales 4, 5 y 3 en el rojo, verde y azul respectivamente, combinación en la cual la vegetación es mostrada con los colores y tonos aproximados a los captados por la visión humana, ganando de esta manera una visualización más real de las coberturas presentes en la escena (ver anexo 1 figuras 5 y 6). Las bandas del infrarrojo (4 y 5) captan mayor información de la cobertura vegetal que las bandas del espectro visible; en el infrarrojo cercano (banda 4) la luz es casi completamente absorbida por el agua, por lo que esta banda permite visualizar muy bien el límite tierra – agua. La banda del espectro visible (3) capta buena información de las construcciones y en general de los usos del suelo para fines urbanos, de las bandas del visible ésta es la que más claramente muestra el contenido de humedad en las coberturas.

♦ Realce de Bandas

A las bandas 3 y 5 les fueron aplicados filtros digitales de Convolución y Edge Enhance para suavizar las diferencias de reflectancia y realzar los contrastes entre coberturas.

- Mejoramiento banda 3: algoritmo para realce espacial de *convolution summary* (Erdas 8.3.1, 1998) matriz 5x5.

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -2 & -2 & -2 & -1 \\ -1 & -2 & 70 & -2 & -1 \\ -1 & -2 & -2 & -2 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

- Mejoramiento banda 5: algoritmo para realce espacial de *convolution edge enhance* (Erdas 8.3.1, 1998) matriz 3x3.

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 17 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

Estos realces afectan permanentemente los datos de las bandas.

Los histogramas de las bandas 4, 5 y 3 fueron manipulados para aumentar el contraste de la imagen y mejorar su visualización; de este último proceso se obtuvo un archivo con nuevos histogramas, utilizado para realzar la imagen desplegada sin modificar permanentemente los datos de las bandas.

En la figura 6 del anexo 1 se observan los cambios de la imagen por efecto de los realces.

En las figuras 2 a 7 se observan las variaciones en los histogramas de las bandas de la combinación según tengan o no aplicado el realce espectral.

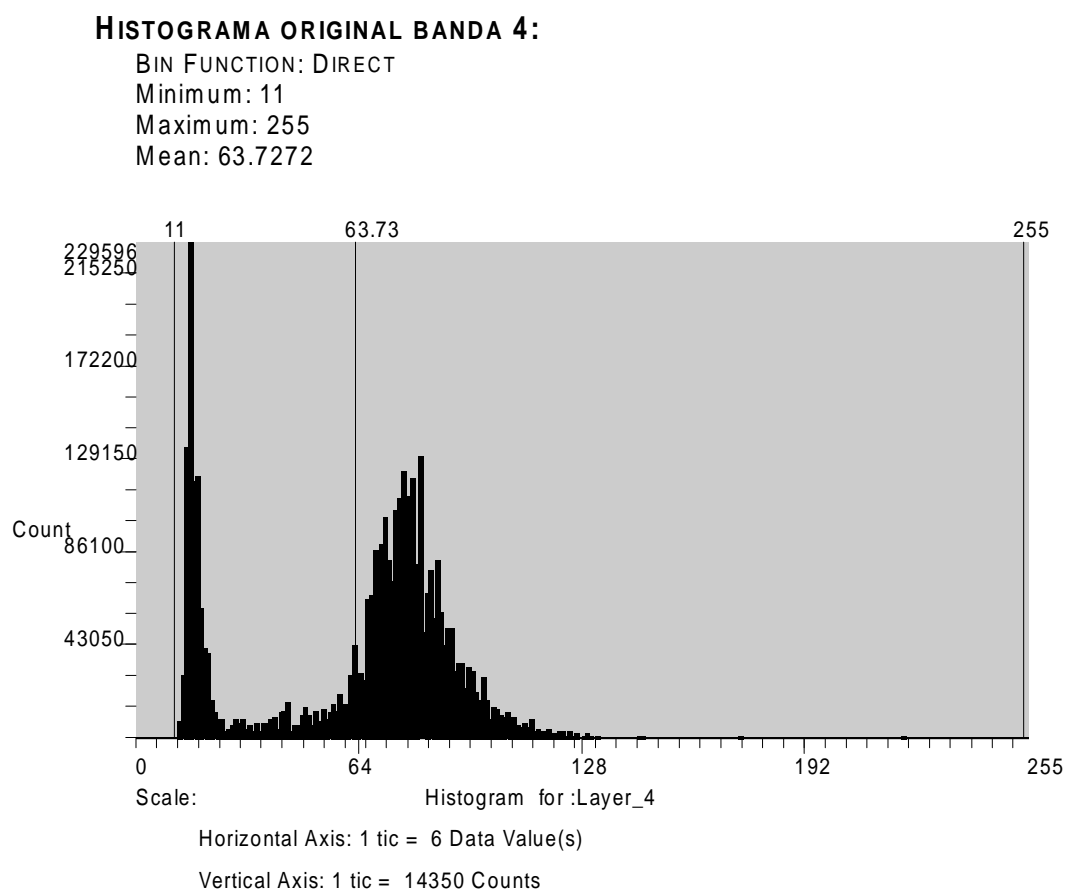


Figura 2 Histograma Original Banda 4

HISTOGRAMA CON REALCE ESPECTRAL BANDA 4:

BIN FUNCTION: DIRECT

Minimum: 4

Maximum: 205

Mean: 63.9686

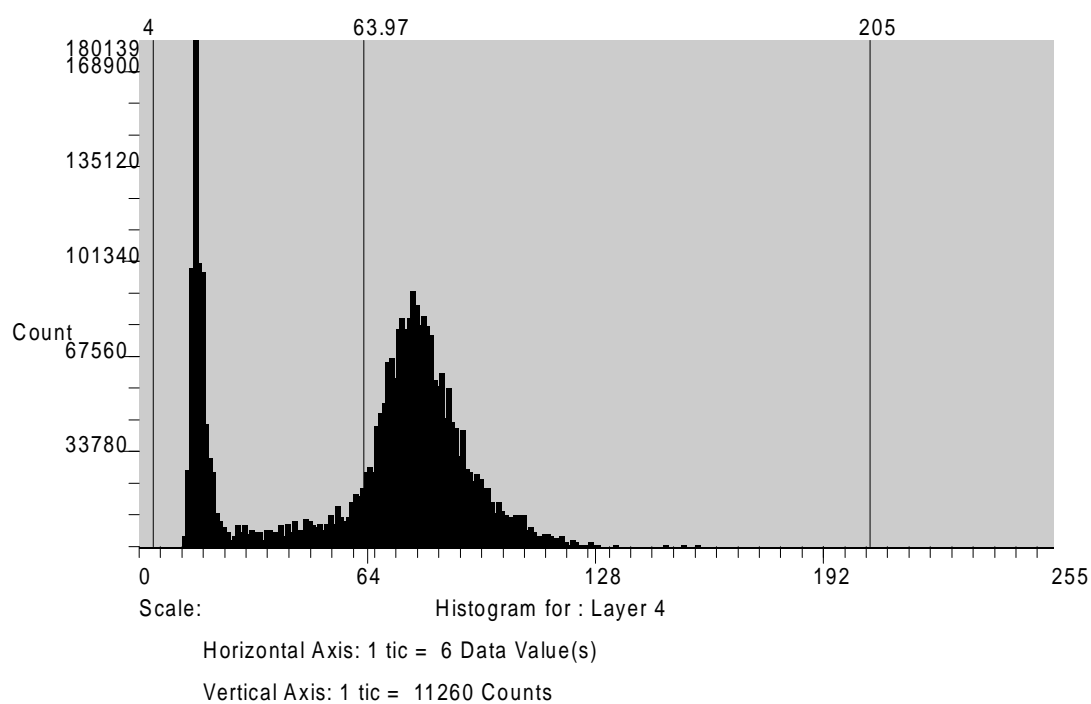


Figura 3 Histograma con Realce Espectral Banda 4

HISTOGRAMA ORIGINAL BANDA 5:

BIN FUNCTION: DIRECT

Minimum: 5

Maximum: 255

Mean: 47.2302

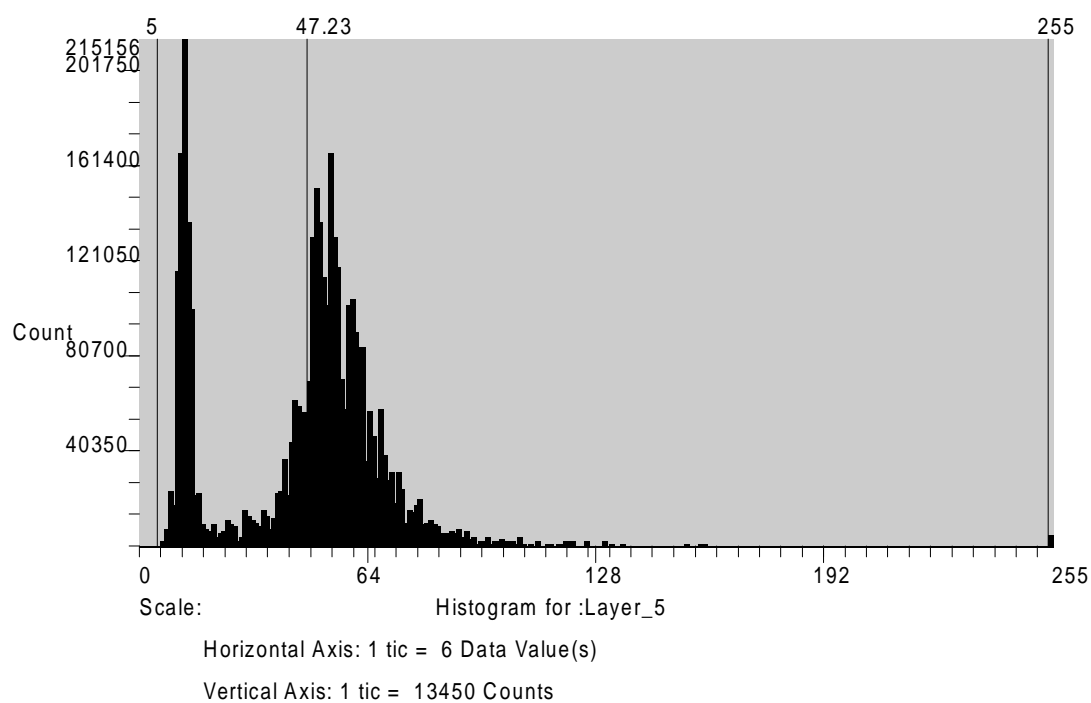


Figura 4 Histograma Original Banda 5

HISTOGRAMA CON REALCE ESPECTRAL BANDA 5:

BIN FUNCTION: DIRECT

Minimum: 1

Maximum: 255

Mean: 47.2847

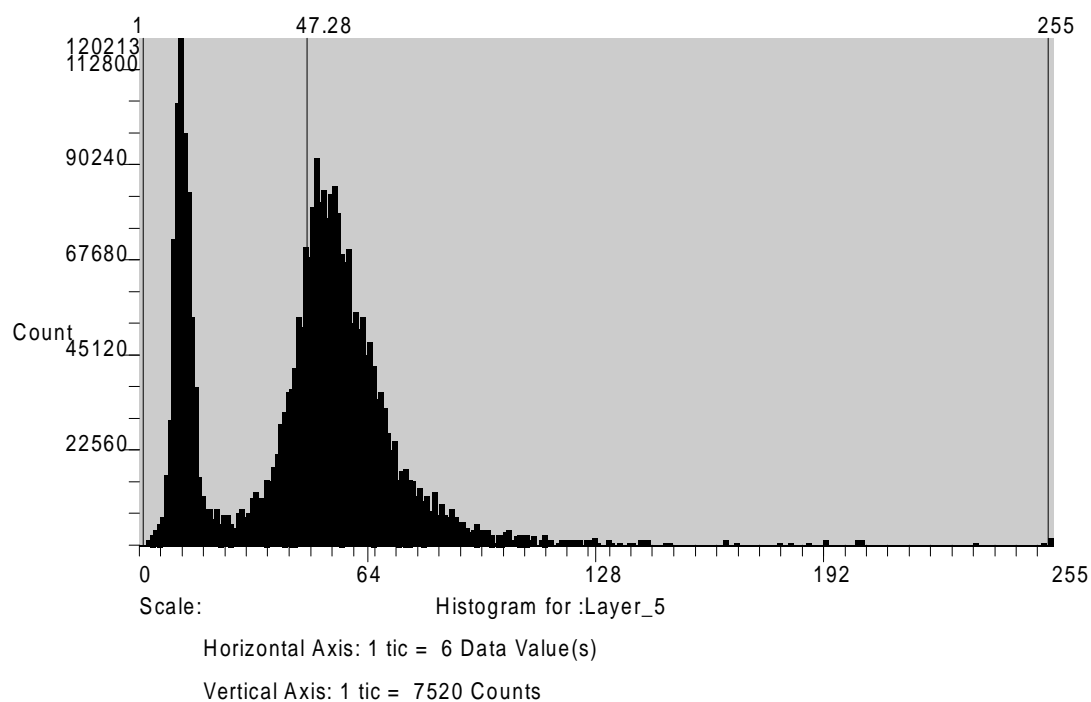


Figura 5 Histograma con Realce espectral Banda 5

HISTOGRAMA ORIGINAL BANDA 3:

BIN FUNCTION: DIRECT

Minimum: 22

Maximum: 255

Mean: 34.0071

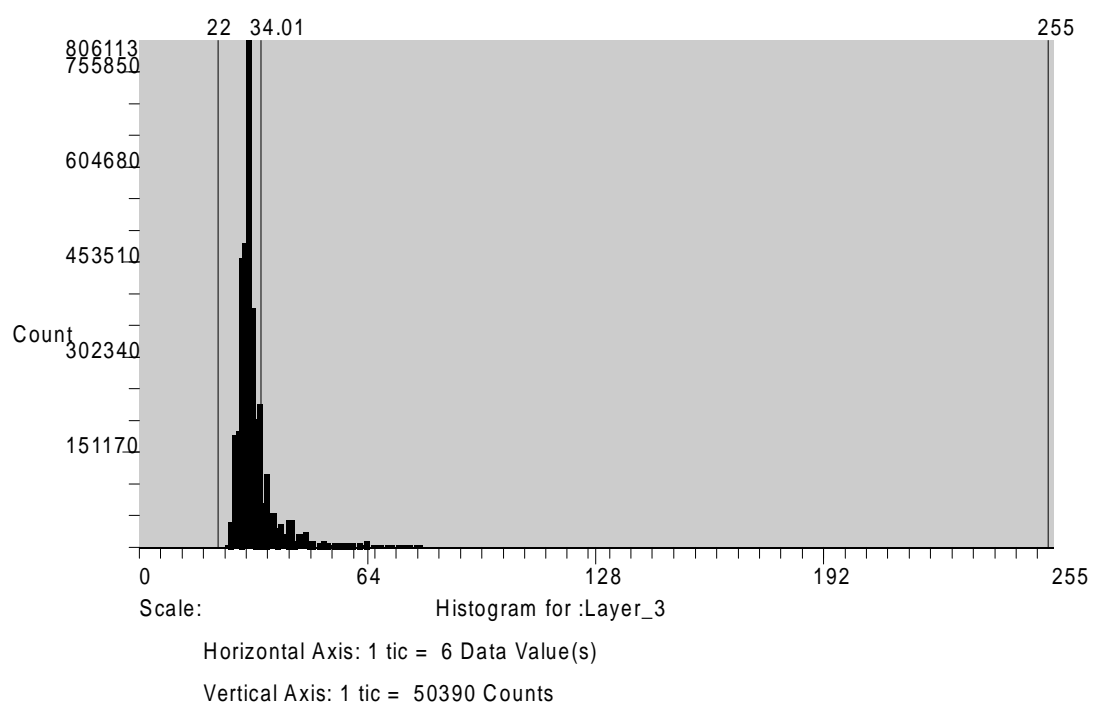


Figura 6 Histograma Original Banda 3

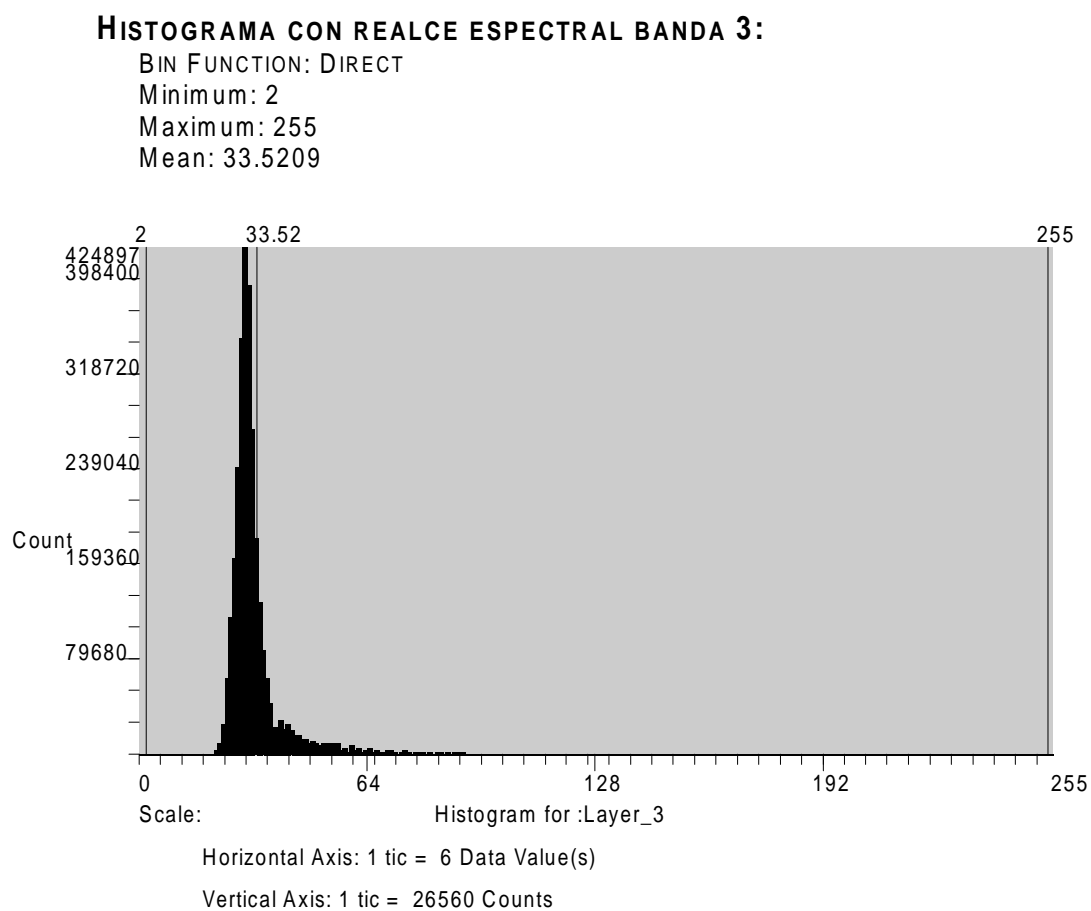


Figura 7 Histograma con Realce Espectral Banda 3

3.2.2.3 Clasificación

Al aplicar las operaciones restauración y realce de las imágenes hay variación en los valores de niveles digitales y reacomodamiento de píxeles, lo cual en conjunto asocia errores a la clasificación; por esta razón la clasificación se efectuó sobre las imágenes originales, una vez efectuadas las operaciones de restauración de la banda 4 y antes de cualquier otro tratamiento digital.

La imagen de la clasificación no supervisada fue utilizada para hacer una interpretación visual del territorio, reconocer las diferentes entidades presentes en la imagen con sus límites espaciales y planear la ruta de verificación de campo.

▪ Clasificación No Supervisada

En el trabajo de clasificación no supervisada de las imágenes de 1986 y 1997 se aplicó el algoritmo de clasificación ISODATA, determinando 18 clases informacionales para la imagen de 1986 y 16 para la de 1997; las primeras se agruparon en 12 clases más generales:

Clase 1	Mar, canales intermareales
Clase 2	Aporte sedimentario de los ríos al mar
Clase 3	Ríos, gravas, bancos de arena, nubosidad
Clase 4	Sombras, tipo de vegetación presente en línea costera de canales intermareales
Clase 5	Colinas vegetadas y mangle, vegetación poco intervenida
Clase 6	Claros del bosque o algún tipo de vegetación o de intervención, franja entre mangle y bosque
Clase 7	Cultivos asociados a cursos de los ríos, franja deforestada en zona de concesión

Clase 8	Trochas, áreas de expansión urbana y sombras de nubes
Clase 9	Playas, deforestación asociada a cursos de ríos y zona de concesión.
Clase 10	Área urbana de Buenaventura, nubosidad y núcleos poblados
Clase 11	Nubosidad y construcciones
Clase 12	Nubes

Las 16 clases de la imagen de 1997 se agruparon en 10 más generales:

Clase 1	Mar, canales intermareales
Clase 2	Aporte sedimentario de los ríos al mar
Clase 3	Ríos, gravas y bancos de arena
Clase 4	Sombras de nubes y vegetación presente en línea costera de canales intermareales
Clase 5	Colinas vegetadas y mangle, vegetación poco intervenida
Clase 6	Claros del bosque o algún tipo de vegetación o de intervención, franja entre bosque y mangle
Clase 7	Cultivos asociados a cursos de los ríos, franja deforestada en zona de concesión, trochas y áreas de expansión urbana
Clase 8	Playas, áreas de expansión urbana y deforestación asociada a cursos de ríos y zona de concesión.
Clase 9	Área urbana de Buenaventura, nubosidad y núcleos poblados
Clase 10	Nubes

▪ **Clasificación Supervisada**

La clasificación supervisada involucró el análisis de fotografías aéreas del IGAC 1985 y 1998 a escala 1:5000, a partir de las cuales se pudo observar el desarrollo y crecimiento de la zona urbana del municipio de Buenaventura; el análisis de cartografía IGAC escala 1:25000 de 1969, la cual contiene los vectores urbanos principales como el amanzanamiento, las vías, las redes de energía y otros que en conjunto con otras variables aportaron también al entendimiento del desarrollo y el crecimiento del municipio; el análisis de un mapa temático a escala 1:50000, elaborado a partir de un levantamiento de campo desarrollado por la Fundación Herencia Verde en una zona comprendida entre los Ríos Dagua y Raposo; finalmente el trabajo de campo para la verificación de las clases de la imagen del 29 de Septiembre de 1997 se realizó los días 15 y 16 de Agosto de 1998 utilizando un SIG sobre el que se montaron las imágenes raster (Landsat) y los vectores (cartografía digital), y un GPS para la toma de muestras con su correspondiente localización geográfica en tiempo real. La verificación de clases para 1986 se basó en la correspondencia de éstas con las clases definidas para 1997, revisión de literatura, consulta con expertos y estudio de fotografías aéreas. Las clases resultantes se compararon con el mapa suministrado por la Fundación Herencia Verde.

La mezcla de clases, debida a semejanzas de la respuesta espectral de los objetos que las conforman, fue corregida para la clasificación supervisada, utilizando una técnica de “depuración de clases” aplicable con el software Erdas; ésta consiste en recodificar los valores de los píxeles contaminados con una clase que no les corresponde, para asignarles el valor de la clase a la que realmente pertenecen. Las principales correcciones de este tipo se aplicaron a los píxeles afectados por nubosidad. Es de anotar que se debe tener mucho cuidado al aplicar esta técnica; puesto que la depuración se hace visualmente, el observador debe saber con precisión a que corresponde la clase del píxel que se está corrigiendo, de lo contrario se corre el riesgo de introducir errores en los resultados.

Con la información obtenida a partir de los anteriores análisis y correcciones y la aplicación del algoritmo de máxima probabilidad (maxim likelihood) a las dos imágenes se obtuvieron 13 clases que corresponden a las siguientes entidades espaciales:

Clase 1 Bosque poco Intervenido (en términos de su estructura fisonómica)

Esta unidad, establecida sobre colinas onduladas del Bajo Calima y en el pie de monte de la cordillera Occidental, es un bosque en forma de franja irregular que en el norte llega casi hasta la costa y en el sur se presenta detrás de los manglares y del bosque pantanoso. (Ver anexo 2, figura 1).

Clase 2 Bosque con Mayor Grado de Intervención

En la región del Bajo Calima se observa abundancia de palmas (figura No 2) y a lo largo de los ríos Raposo y Anchicayá se observa Guandal, que en 1994 se cultivaba en estas zonas. Se tomaron muestras en las veredas El Crucero (3°56'15"7N, 76°58'55"7 W) y Villa Estrella (3°55'4"5 N, 76°58'0"1 W). En las coordenadas (3°59'59"1 N, 76°58'10"9 W) hay una antigua factoría procesadora de palma africana; actualmente está abandonada e invadida por helechos, palmas, guaduas y vegetación arbustiva (ver anexo 2, figura 3)

Clase 3 Bosque de Mangle

Esta es una zona rica en Mangle. En la imagen se destaca una franja de aproximadamente 10 k en su parte más ancha, que viene desde la isla Islalba al oriente y el estero Gamboa al norte de la isla Cascajal, hasta la Bocana de Raposo al sur de la Isla Santa Bárbara (ver anexo 2, figuras 4, 5 y 6)

Clase 4 Parcelas en Zonas de Bosque de Mangle.

La madera del mangle es muy apetecida comercialmente por su resistencia a condiciones de humedad y de acidez. En Colombia se utiliza para dar estabilidad a las paredes de las minas subterráneas. En varios lugares talan el mangle del interior, uno de estos lugares está ubicado en las coordenadas (3°51'52"48 N, 77°3'26"59 W), donde hay actualmente un área de cultivos de palma africana y varios drenajes para desecación de suelos pantanosos (ver anexo 2, figuras 6 y 7).

Clase 5 Vegetación de Porte Bajo

En esta clase predominan pastos, asociaciones de helechos, vegetación arbustiva y franjas delgadas o áreas pequeñas de cultivos limpios o descubiertos (fincas típicas), asentada en forma paralela a las vías, trochas y en las vegas de los ríos (ver anexo 2, figuras 1, 8 y 10).

Se tomaron varias muestras de esta clase, una de ellas corresponde a las coordenadas (3°52'57"1 N, 76°56'31"5 W), donde se encontraron plantas aisladas de árbol del pan, plátano y yuca sobre suelos descubiertos y permanentemente lavados. En la vereda San Joaquín (3°55'38"4 N, 76°58'32"9 W) se encontró una parcela con quema reciente (que en septiembre de 1997 debió ser "rastrojo").

En las coordenadas (3°48'46"2 N, 77°0'40"2 W) se encuentra una factoría abandonada, en una zona de cultivo enrastrado de palma africana, con intercalaciones de palma de chontaduro (ver anexo 2, figura 9).

Clase 6 Vegetación de Suelos Pantanosos (o de inundación frecuente)

Detrás de la zona de manglar se extienden suelos frecuentemente inundados en una franja de 2 a 3 Km. de ancho que en su forma natural están colonizados por Naidizales, Guandales y palmeras. Esta puede considerarse como una vegetación de transición entre los Manglares y el bosque interior; son, tal vez, remanentes de antiguos litorales (ver anexo 2, figura 7).

Clase 7 Parcelas y Potreros Sobre Terreno Ondulado en Zona de Bosque Intervenido

Esta clase corresponde a parcelas aisladas localizadas sobre terrenos ondulados de poca altura, en donde el bosque natural ha sido destruido parcialmente por acción antrópica. Se tomaron dos muestras de esta clase, la primera corresponde a las coordenadas (3°52'58"7 N, 76°56'59"4 W) donde se encuentra un potrero ralo con áreas pantanosas, muy pocos árboles y agrupaciones menores de plátano y de árbol del pan (ver anexo 2, figura 12). La segunda muestra corresponde a las coordenadas (3°58'43"9 N, 76°58'59"1 W), vereda Savacal; allí existen cultivos de piña bordeados por platanales (ver anexo 2, figuras 11 y 13).

Clase 8 Áreas Construidas

Agrupar la mayor parte de la infraestructura en el perímetro urbano del municipio de Buenaventura incluyendo las áreas de expansión (ver anexo 2, figuras 14 y 15), pequeños núcleos poblados y construcciones del área rural. En las coordenadas (3°53'1"3 N, 76°57'57"1 W) se encontró un terreno de suelo completamente descubierto, tratado para construcción de infraestructura (ver anexo 2, figura 16).

Clase 9 Barras de Arena y Cursos de los Ríos

Las barras son cordones litorales de arena fina que se extienden encima de la marea promedia (ver anexo 2, figura 4); también los cursos de los ríos hacen parte de esta clase debido a la presencia de playas y gravas en sus riberas (ver anexo 2, figura 10). Dado que las características reflectivas del concreto lo hacen semejante a las barras de arena, los patios del puerto, el puente del Piñal, la Avenida Simón Bolívar y la pista del aeropuerto de Buenaventura (3°49'22"N, 76°59'47"W) están incluidos en este grupo.

El sensor obtuvo esta misma respuesta espectral para los espejos de agua como las piscinas de cultivos de peces, y para zonas de minería donde han dejado en la superficie cárcavas que se inundan con las lluvias.

Clase 10 Plumas de Sedimentos.

Se destacan como manchas que se difuminan desde los bordes litorales (bocanas, deltas, playas y esteros) hacia el Océano (ver anexo 2, figura 5).

Clase 11 Cuerpos de Agua con pocos Sedimentos.

Esta clase corresponde a las zonas del Océano que no son alcanzadas por los sedimentos traídos del continente. Algunos canales intermareales y ríos se agrupan aquí cuando sus aguas se encuentran limpias o muy poco cargadas con sedimentos.

Clase 12 Nubes

Las dimensiones y reflectancia de las nubes presentes en la imagen las hacen diferenciables de las otras clases.

Clase 13 Sombras

La nubosidad y algunas colinas presentes en la imagen proyectan una sombra sobre la superficie del territorio que por sus dimensiones es captada por el sensor como una clase diferenciable.

4. PRODUCTOS CARTOGRÁFICOS

- Combinación de bandas 4 5 3 de Landsat TM 1986
- Combinación de bandas 4 5 3 de Landsat TM 1997
- Clasificación supervisada 1986
- Clasificación supervisada 1997
- Mapa de cambios 1986 – 1997
- Sinergismo entre la imagen Landsat TM 1997 y el mosaico de Radarsat 1996
- Póster del Estudio Demostrativo

(Ver anexo 3)

5.CONCLUSIONES Y RESULTADOS

- Los mejores resultados de la clasificación para este estudio se obtuvieron con el trabajo de campo y la clasificación supervisada, puesto que la clasificación no supervisada mezcla objetos que tienen la misma respuesta espectral y por su parte el trabajo de campo no está supeditado a los errores que implica contar solamente con información bibliográfica y estudios anteriores.
- Las clases que finalmente se obtuvieron en este estudio aun pueden mejorarse, puesto que las imágenes abarcan un área muy amplia; una forma de obtener resultados más precisos y detallados es considerar aspectos como la división del territorio en zonas más pequeñas y estudiarlas por separado; otro factor a tener en cuenta es la delimitación de la cobertura a estudiar, por ejemplo, hacer estudios de cobertura vegetal y de infraestructura urbana o rural por separado.
- Debido a los cambios acelerados que experimenta el municipio de Buenaventura y a la lógica de los procesos de desarrollo, las variables del territorio presentan un comportamiento dinámico y heterogéneo. Es así como en un lapso de pocos años el paisaje que hoy se observa puede rápidamente cambiar a otro inimaginado, a no ser que este desarrollo se conciba de manera conciliadora entre las realidades físico-naturales y culturales de la región.
- Como en condiciones atmosféricas normales el municipio de Buenaventura permanece cubierto de nubes, las limitaciones que éstas representan para el desarrollo de un buen trabajo de tratamiento de imágenes de sensores multiespectrales es suficiente para afirmar que son poco útiles. Por esta razón, las imágenes de períodos como el Niño deben ser consideradas de alto valor.

Como resultado del análisis multitemporal, se encontraron los siguientes cambios de cobertura y usos del suelo en el Municipio de Buenaventura entre 1986 y 1997

- **Pérdidas en la Cobertura Vegetal**

En áreas donde en 1986 había una presencia más notoria de la clase *Bosque poco intervenido*, en 1997 se observa otra respuesta espectral correspondiente a *Bosque con mayor grado de intervención*. Estas áreas sobresalen entre las quebradas Agua Dulce y San Joaquín y el Río Calima. En cuanto al *Bosque de Mangle*, en la imagen de 1997 se observa una aparente revegetación de los Manglares, sin embargo, al editar el mapa de cambios se observa pérdida de Mangle sobre la línea costera y en los esteros; es posible que la desecación de suelos pantanosos en Manglares se deba al interés de ganar terreno para cultivos como palma africana. La expansión de Buenaventura también ha desplazado el Mangle con asentamiento humanos en esteros aledaños al perímetro urbano.

- **Nuevas Parcelas**

Aunque muchas parcelas que existían en 1986 desaparecieron, en 1997 se observa mayor cantidad de éstas localizadas en zonas de *Bosque Poco Intervenido* y en zonas de *Bosque de Mangle*.

- **Nuevas Trochas**

Aumentó el número de vías y trochas y por consiguiente aumentó la población de la clase *Vegetación de Porte Bajo*; permanece la cultura de colonización a lo largo de vías, ríos y trochas.

▪ **Expansión Urbana**

El área urbana del municipio de Buenaventura crece principalmente en dirección oeste – este ocupando las orillas de las carreteras y los bordes de los esteros aledaños; el costado norte del estero San Antonio está ocupado casi en un 90% y los esteros Gamboa y Aguacate también están siendo poblados; el área construida en la isla Cascajal da la apariencia de haber crecido. Por su parte, las construcciones en núcleos poblados como San Isidro y Zacarías permanecen aparentemente invariables, en tanto se observan algunos nuevos asentamientos en terrenos de Bosque húmedo.

▪ **Sedimentos**

La presencia de la clase Plumas de Sedimentos es indicadora, por un lado, de los aportes de sedimentos generados por los procesos de deforestación en el continente y, por el otro, de la movilización de éstos y otros sedimentos por las corrientes litorales.

▪ **Nubosidad**

Tanto las nubes como las sombras que proyectan tapan la información de la superficie y por consiguiente no se puede identificar claramente la clase presente en esa porción de territorio ni el área que realmente ocupa una clase en la imagen. Adicionalmente, las tonalidades que presentan las nubes según su estado de condensación pueden ser identificadas como clases diferentes o pueden mezclarse con otras clases lo cual dificulta la tarea de depuración de clases o recodificación de píxeles, por cuanto se puede perder o confundir información importante.

▪ Limitaciones de la Clasificación

La *Nubosidad* es una de las principales limitantes físicas para el análisis de una imagen de un sensor pasivo, sin embargo el trabajo de clasificación de un área tan extensa se dificulta mayormente por efectos de tiempo y de recursos.

Una limitación más se presenta porque hay respuestas espectrales idénticas para diferentes entidades u objetos territoriales, tal es el caso de la respuesta de parte de la vegetación emplazada en el territorio del Bajo Calima (abundancia de palmas y bosque secundario) y parte de la vegetación emplazada detrás de los manglares del sur de Buenaventura (vegetación de suelo pantanoso e inundable) lo cual puede deberse a factores tan variables como la temperatura, la humedad tanto atmosférica como del suelo o las propiedades reflectivas de las entidades territoriales; en este caso particular de respuesta espectral idéntica el algoritmo de clasificación agrupó ambas entidades vegetales en una sola clase (clase 6), definida como *Vegetación de Suelos Pantanosos (o de inundación frecuente)*; otro caso muy similar al anterior ocurrió con la clase 2, *Bosque con Mayor Grado de Intervención*, puesto que en el bajo Calima es un bosque que ha sido intervenido con diferente intensidad en distintas épocas y entre los ríos Anchicayá y Raposo es Bosque de Guandal.

Para el caso de la clasificación supervisada de la imagen de 1986 se presentó la limitante de no poseer datos de campo para la fecha de la toma de la imagen o de fechas próximas; por tal motivo fue necesario asumir algunas variables con base a los datos bibliográficos, la consulta a habitantes tradicionales de algunos sitios durante el trabajo de campo y a las similitudes entre la imagen de 1986 y la de 1997.

Otra limitante muy importante fue el hecho de no contar con un modelo de la atmósfera de la hora y fecha de la toma de las imágenes, sin el cual no es posible hacer las correcciones radiométricas necesarias para obtener mayor precisión en los resultados del estudio.

6. BIBLIOGRAFIA

ACOSTA, S. y I. D. CORREA, (1990). *Proyecto de Evaluación Global del Potencial para Acuicultura de la franja costera del Pacífico Colombiano: Resultados preliminares*. En: Memorias del VII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. Cali, CCO.

BARLOW, CHARLES A. (1981). *Radar geology and tectonic implications of the Chocó Basin, Colombia, South América*. MSc. Thesis. U. of Arkanzas. 102 p., Addendum (15p), 5 plates.

CORREA, I. , J. RESTREPO, y O. ARISTIZABAL, (1995). *Geomorfología General y Tipos de Vegetación de la Isla el Choncho, Litoral Pacífico Colombiano*. En: Delta del Río San Juan Bahías de Málaga y Buenaventura, Tomo I. Medellín. p 72-101

CHUVIECO Emilio, (1990). *Fundamentos De Teledetección Espacial*. Cap.6.

DYMOND J. R., PAGE M. J. And BROWN L. J., (1995). *Large Area Vegetation Mapping In The Gisborne District, New Zeland, from Landsat TM*. International Journal of Remote Sensing 1996, vol.17, No. 2, p.263 - 275

ERDAS IMAGINE, (1997). *Manual Guía de Usuario*, V 8.3.1.

IDEAM (1997). *Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en el periodo 1997-1998 en Colombia*. Ideam, Bogotá, julio de 1997, 15 p., más mapas y gráficos insertos y anexo. (Disponible en <http://www.ideam.gov.co>, Septiembre de 1998).

IDEAM (1998). *Proyecciones ambientales en Colombia, Enero de 1998, proyecciones a corto, mediano y largo plazo*. Ideam, Bogotá, enero de 1998, 39 p., más mapas y gráficos insertos y anexos. (Disponible en <http://www.ideam.gov.co>, Septiembre de 1998).

IGAC. , (1996). *Diccionario Geográfico De Colombia*. Tercera edición, tomo 1, p.310.

IGAC. , (1983). *Atlas Regional Pacífico*. Primera edición, p.19, 20, 24 y 25.

IGAC. , INDERENA. , CONIF. , (1984). *Bosques De Colombia*. Memoria explicativa. p.16 – 22, 46 – 49.

LILLESAND THOMAS M. And RALPH W. KIEFER. , (1994). *Remote Sensing And Image Interpretation*. Tercera edición. Cap. 6 y 7.

MATHER PAUL M., (1993). *Computer Processing Of Remotely Sensed Images*. Cap.4.

PAFC, (1994). *Plan de Acción Forestal para Colombia*. Departamento Nacional de Planeación. Colombia, p 60.

PRAHL, H. V. et al. , (1990). *Manglares y Hombres del Pacífico Colombiano*. Fondo FEN Colombia, p 1-184.

RODRIGUEZ, Efrain y CANTERA Jaime, (1995). *Estudio preliminar de las unidades vegetacionales de la Isla Soldado, Bahía de Buenaventura, mediante la utilización del Índice Normalizado de Vegetación (INV)*. En: *Delta del Río San Juan Bahías de Málaga y Buenaventura, Pacífico Colombiano*, Tomo 2. 1995, p 59-74.

RODRÍGUEZ, Efrain. (1997). *Cartografía de unidades vegetales y geomorfología costera mediante la aplicación de sensores remotos en la Isla Soldado, Pacífico colombiano*. Tesis Biología, Univ. del Valle. 83 p., Anexos.

SMIT, G., (1972). *Aplicación de las imágenes de Radar en la fotointerpretación de los Bosques Húmedos Tropicales. Región de Tumaco - Barbacoas - Guapi* (Departamento de Nariño, Colombia). Revista CIAF. p 17-25.

VAN ES, D., (1975). *Análisis Geológico - Geomorfológico de las imágenes de Radar de la Llanura Pacífica de Nariño, Colombia, América del Sur*. Rev. CIAF, Bogotá.

WOLTER, K., and M.S. Timblin (1997). *Multivariate ENSO Index (MEI)*. (Disponible en <http://www.cdc.noaa.gov/~kew/MEI/mei.html>).