

DETERMINACIÓN DE COBERTURAS VEGETALES A PARTIR DEL ESTUDIO DE SU RESPUESTA RGB UTILIZANDO AEROFOTOGRAFÍAS DIGITALES

Jorge Eliécer Torres Angarita ¹
Milton Gabriel Puentes Galindo ²
Luis Jesús Otero Díaz ³

¹ Grupo de Óptica y Láser, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia
e-mail: torresto@unicauca.edu.co

² y ³ Grupo de Modelado Integral de Zona Costera con Énfasis en Riesgos Ambientales Marinos y Procesos,
Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP),
Vía El Morro, Capitanía de Puerto de Tumaco, San Andrés de Tumaco, Nariño, Colombia
e-mail: mpuentes@dimar.mil.co ², lotero@dimar.mil.co ³

Torres, J., M. Puentes y L. Otero. 2006. Determinación de coberturas vegetales a partir del estudio de su respuesta RGB utilizando aerofotografías digitales. Boletín Científico CCCP, (13): 115-128.

Recibido en abril de 2006; aceptado en diciembre de 2006

RESUMEN

La identificación y registro de coberturas vegetales a nivel de asociaciones realizadas con métodos convencionales requiere de largos periodos de tiempo y de una inversión de dinero elevada, por tanto es objeto de este trabajo contribuir y agilizar el proceso de identificación de coberturas vegetales, apoyándose en un proceso de teledetección a partir de aerofotografías digitales, debido a que es una técnica rápida, eficaz y con un costo de implementación bajo. Para determinar las coberturas vegetales utilizando un proceso de teledetección a partir de aerofotografías digitales, se analizó la reflectancia del espectro electromagnético que cada asociación vegetal emite, utilizando como fuente de información imágenes digitales. Dichas aerofotografías fueron sometidas a técnicas de procesamiento digital de imágenes que permitieron identificar los diferentes rasgos geomorfológicos de la zona de estudio, así como clasificar y catalogar las coberturas vegetales, utilizando algoritmos de reconocimiento de texturas basados en el análisis de su firma espectral. Finalmente, los resultados de la determinación de las coberturas vegetales obtenidas del procesamiento digital de las aerofotografías, fueron comparados con datos *in situ* para validar la precisión del método.

PALABRAS CLAVE: coberturas vegetales, teledetección, procesamiento digital, aerofotografías digitales, firma espectral.

ABSTRACT

The identification and registration of vegetation coverage by association performed with conventional methods requires large investments of both time and money. Therefore, the object of this study is to facilitate the identification of VC with the support of a remote sensing process based on aerial digital photography due to the agility, efficiency, and low cost involved in using this technique. In order to determine vegetation coverage using remote sensing based on aerial digital photography, the spectral irradiance emitted by each type of vegetation association was analyzed using aerial digital photography as the source of information. The aerial digital photography were submitted to digital processing techniques that allow for the identification of the different geomorphologic traits in the area that was studied as well as the classification and cataloging of the vegetation coverage using texture recognition algorithms based on the analysis of their spectral signature. Finally, the results that were obtained by the processing of the aerial digital photography in order to determine vegetation coverage were compared to *in situ* data in order to validate the precision of this method of analysis.

KEY WORDS: vegetation coverage, remote sensing, digital processing, aerial digital photography, spectral signature.

INTRODUCCIÓN

La Dirección General Marítima, DIMAR, tiene por objeto la dirección, coordinación y control de las actividades que promuevan y estimulen el desarrollo marítimo del país; por tanto, debe contribuir al conocimiento, desarrollo y conservación de sus recursos marinos (CCCP, 2003). Es por esta razón que DIMAR se ha interesado en el estudio de la vegetación y la conservación de la misma, ya que ésta es uno de los más importantes recursos naturales que predominan y albergan diversidad de ecosistemas en la bahía de Tumaco.

En consecuencia, se propuso desarrollar una metodología que permitiera determinar las coberturas vegetales, CV, existentes en la bahía de Tumaco haciendo uso de un método alternativo a los convencionalmente seguidos. Fue así entonces que se planteó la implementación de un proceso de teledetección a partir de aerofotografías digitales, AFD, para determinar este tipo de coberturas. La teledetección es una técnica que engloba no sólo los procesos que permiten obtener una imagen, sino también su posterior tratamiento, característica que se utilizó en este trabajo gracias a las bondades de la visión por computador (análisis de imágenes por medio de ordenadores)

El sistema de visión por computador utiliza como fuente información la imagen obtenida por medio de una AFD, la cual es una abstracción del terreno en la que los aspectos fisiográficos iluminados directamente por el sol y por la luz reflejada por las nubes aparecen diferenciados por tono, color, textura y patrón (González y Woods, 1996); de manera tal que estas características permiten clasificar las diferentes CV a nivel de asociaciones entre un conjunto de las mismas.

Para hacer la clasificación de CV aplicando un sistema de visión por computador es necesario diseñar e implantar algunas transformaciones matemáticas. Estos algoritmos favorecen alguna característica presente en la imagen original o eliminan alguna otra que esté ocultando lo que se busca en la imagen.

Por otra parte, es necesario saber que al trabajar sobre aplicaciones basadas en imágenes procedentes de entornos naturales, resulta útil distinguir entre los diferentes tipos de texturas contenidas en AFD (Meisener, 1986). Dada la naturaleza aleatoria e irregular de este tipo de texturas, el primer paso en el análisis de imágenes

consiste en segmentar la imagen; dicho de otro modo, subdividir la imagen en sus partes constituyentes u objetos (rasgos geomorfológicos y CV). El nivel al que se lleva a cabo esta subdivisión está determinado por las asociaciones vegetales, es decir, la segmentación se detiene cuando todas las asociaciones vegetales presentes en las imágenes se aíslan. Esto se hace a través patrones de entrenamiento utilizando redes neuronales.

Los patrones de entrenamiento de una determinada clase se utilizan de forma directa para calcular los parámetros de la función de decisión de dicha clase. Después de realizar la estimación de los parámetros en cuestión, se concreta la estructura del clasificador y su rendimiento depende del ajuste de las distribuciones de los patrones reales a las suposiciones estadísticas realizadas en la obtención del método de clasificación utilizado (De la Escalera, 2001). De esta manera se establecen los tipos de CV presentes en las AFD.

ÁREA DE ESTUDIO

Todas las experiencias realizadas en el marco del presente trabajo de investigación se han desarrollado en la franja de la bahía de Tumaco (Figura 1), ubicada en el departamento de Nariño, al Sur de la costa Pacífica colombiana; dentro del sector comprendido entre las latitudes 1°45' y 2°00' N y las longitudes 78°30' y 78°50'O.

METODOLOGÍA

El primer paso para determinar CV implementando un sistema de teledetección a partir de AFD fue la adquisición de la información, es decir, la consecución de las AFD, las cuales fueron obtenidas como resultado de la aplicación de un sistema de sensoramiento remoto automatizado.

Una vez obtenidas las aerofotografías, se procedió al procesamiento digital de las mismas aplicando las siguientes fases:

Interpretación y clasificación

La fotointerpretación de las AFD permitió determinar los rasgos geomorfológicos que interesaba identificar y delimitar digitalmente, gracias a que las imágenes accedían a una clasificación visual directa de rasgos tales como: mar, terrenos de bajamar,

playa y línea de vegetación permanente. Del mismo modo, dentro de la clasificación de vegetación permanente se realizó la primera identificación de las coberturas vegetales a nivel de asociación que podían clasificarse como costeras.

Delimitación de los rasgos geomorfológicos

Para identificar y delimitar digitalmente los rasgos geomorfológicos contenidos en las imágenes, se implementaron algoritmos de clasificación supervisada que permitieran etiquetar cada rasgo con un color determinado. Para ello se siguieron los siguientes pasos:

- Análisis de componentes principales para resumir la información contenida en las bandas e incluso eliminar alguna del análisis.
- Generación de clases y firmas espectrales: que consistió en la caracterización de las clases informacionales de acuerdo con patrones de reconocimiento del terreno. Esto se hizo delimitando polígonos de muestreo, en donde los píxeles que los componían eran representativos de cada una de las categorías de información que se deseaban identificar, es decir, de los diferentes rasgos geomorfológicos.
- Asignación: definidas las clases y sus respectivos polígonos de muestreo, fue necesario encontrar una función matemática dentro de los métodos supervisados para proceder a la asignación de los píxeles de la imagen a cada una de los rasgos geomorfológicos. El método elegido corresponde a un método de estadística clásica conocido como máxima probabilidad.
- Evaluación de la precisión de la clasificación: para terminar la primera parte del procesamiento digital se efectuó una evaluación de los errores, a través de un muestreo de píxeles para los cuales se conocía su verdadera clase.

Obtención de la línea de vegetación permanente

Terminada la clasificación de los rasgos geomorfológicos se centró la atención sobre las áreas vegetadas para identificar y vectorizar la línea de vegetación permanente; para ello se utilizaron los resultados conseguidos por la clasificación supervisada realizada en la sección anterior, debido a que se delimitó acertadamente estas zonas.

De acuerdo con esto se procedió a generar

una máscara para las áreas que contenían rasgos geomorfológicos, exceptuando el de cobertura vegetal y posteriormente se realizó una delimitación de las diferentes texturas aplicando un operador de varianza (operador de segundo orden), de esta manera se obtuvo la línea de vegetación permanente totalmente vectorizada.

Clasificación de las asociaciones vegetales

La clasificación de las diferentes asociaciones vegetales se realizó a partir de la extracción y clasificación de texturas, las cuales utilizan dos pasos: uno que se encarga de entrenar el conjunto de texturas y otro que se encarga de la clasificación de éstas.

El conjunto de entrenamiento descompuso las imágenes de texturas conocidas, obtuvo la media y la desviación estándar de la aproximación y detalle de la imagen, creando una librería de características que fue utilizada para la clasificación. En el paso de clasificación se descompusieron las imágenes de textura desconocida, se extrajeron de igual manera las estadísticas Wavelet y la matriz de concurrencia; por último, se compararon con las características almacenadas en la librería mediante vectores. La textura es clasificada correctamente como un tipo de textura encontrada en los patrones, si la distancia es mínima entre todas las texturas disponibles.

Una forma de discernir entre diferentes texturas es comparar sus estadísticas del nivel de gris de primer orden. Por primer orden se entienden las estadísticas en las que se ven involucrados píxeles simples en contraposición a las estadísticas de más de un píxel (pares, tripletes, etcétera). En las estadísticas de primer orden se puede utilizar el histograma del nivel de gris de la textura, cuya normalización proporciona la función de densidad de probabilidad de la imagen caracterizada por la textura. De esta manera se pueden comparar los histogramas normalizados del nivel de gris de imágenes de texturas, o utilizar varias medidas derivadas, tales como la media, la mediana o la varianza. En este trabajo se utilizó la varianza para derivar una medida de la textura como se explica más adelante (Forsyth y Ponce, 2002)

Sea Z una variable aleatoria que representa la intensidad discreta de una región de textura alrededor de una localización espacial de coordenadas de imagen (x, y) y sea $p(z_i)$ con $i=1,2,\dots,L$ su

histograma correspondiente, con L el número de niveles de intensidad diferentes. El momento n -ésimo de Z respecto de la media se define como:

$$\mu_n(z) = \sum_{i=1}^L (z_i - m)^n p(z_i) \quad (1)$$

donde,

m es el valor medio de Z .

m se obtiene:

$$m = \sum_{i=1}^L z_i p(z_i) \quad (2)$$

El momento de segundo orden, denominado varianza, $\mu_2(z) = \sigma^2(z)$ es de particular interés para la descripción de texturas. La varianza es una medida del contraste de intensidad que se puede usar para obtener descriptores de suavidad relativa, por ejemplo, el valor:

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2(z)} \quad (3)$$

Es 0 para áreas con intensidad constante $\sigma^2(z) = 0$ y es 1 para valores grandes de $\sigma^2(z)$, por consiguiente se obtienen valores restringidos al intervalo $[0,1)$. El momento de tercer grado es una medida de la oblicuidad del histograma, mientras que el de cuarto grado es una medida de cuán plano es el histograma. A partir del momento de quinto orden no es tan fácil relacionar los momentos con la forma del histograma, pero sirven para obtener más información cuantitativa de discriminación de texturas.

Una vez identificadas los diferentes tipos de texturas contenidos en las AFD, el último paso del procesamiento digital de imágenes, PDI, consiste en evaluar la precisión con la que se identificó las respectivas coberturas vegetales, para esto se implementó el algoritmo de clasificación supervisada utilizado en la fase de obtención de la línea de vegetación permanente.

Estos resultados fueron ratificados con resultados obtenidos mediante verificaciones *in situ*, para evaluar la precisión del tratamiento digital de las AFD, respecto a los datos correspondientes en el mundo real. Para esto se seleccionaron cinco AFD al azar y se corroboró que la identificación de las asociaciones vegetales realizadas digitalmente realmente correspondiera a las asociaciones presentadas en campo. Esta labor se facilitó debido a que todas las AFD estaban debidamente

georeferenciadas.

Para que la validación *in situ* se desarrollara de manera adecuada se estructuró la salida de campo de la siguiente manera:

- Selección de una AFD con su respectiva imagen procesada.
- Activación de una asociación vegetal en la imagen procesada (Figura 9)
- Ubicación de cinco puntos de control dentro del área activada y registro de sus respectivas coordenadas.
- Desplazamiento hacia las coordenadas seleccionadas.
- Comparación de los resultados derivados del PDI con los datos recolectados *in situ* para validación del método empleado.
- Repetición de todos los pasos para cada asociación vegetal.
- Repetición del procedimiento para cada una de las cinco AFD.

RESULTADOS

Interpretación y clasificación

Los principales elementos contenidos en las imágenes aéreas fueron clasificados en los rasgos geomorfológicos, como lo presenta la Tabla I, a partir de las aerofotografías digitales (Figura 2).

Delimitación de los rasgos geomorfológicos

La delimitación digital de los rasgos geomorfológicos generó imágenes en las que se puede identificar plenamente cada una de las clasificaciones establecidas en la Tabla I (Figura 3)

Cada uno de los rasgos geomorfológicos se etiquetó con un color determinado para resaltar la clasificación de las diferentes clases que se generaron (Tabla II).

Obtención de la línea de vegetación permanente

Para focalizar la zona donde se encuentran las CV y hacer una clasificación más precisa de las mismas, se generaron imágenes que sólo incluyeran este rasgo geomorfológico (Figura 4).

Posteriormente, con la aplicación de los operadores de variancia, se obtuvieron las

primeras delimitaciones de las diferentes CV, y como resultado adicional se vectorizó una línea de vegetación permanente que puede ser muy aproximada a la real (Figura 5)

Clasificación de las asociaciones vegetales

Los resultados obtenidos de la aplicación de los algoritmos citados en la fase de clasificación de las asociaciones vegetales, se lograron a partir de diez escenarios o AFD diferentes y de la implementación del entrenamiento para doce clases de texturas correspondientes a sendas asociaciones vegetales (figuras 6 y 7)

La librería de texturas que se creó cuenta con doce asociaciones vegetales, como se ilustra en la Figura 7, de las cuales, c_6 , c_9 y c_{12} , pertenecen a una misma asociación vegetal llamada marisma; sin embargo, es claro que cada una pertenece a una especie diferente.

Algo similar pasa con c_7 y c_{11} , es decir, corresponden a una misma asociación vegetal, salvo que estas clases sí pertenecen a la misma especie pero tienen edades diferentes.

Por otra parte, siguiendo con el PDI establecido y utilizando como firmas espectrales la clasificación que se obtuvo en el proceso de identificación de texturas para la clasificación supervisada, se generaron imágenes como la que se muestra en la Figura 8.

Cada una de las texturas identificadas se etiquetaron con un color determinado para resaltar la clasificación que se hizo en su respectivo momento (Tabla III)

En esta parte del PDI ya se tiene acceso individual a la clasificación de CV; en otras palabras, pueden activarse los píxeles de la asociación vegetal necesarios para la validación de las clasificaciones digitales obtenidas para cada CV, con los datos *in situ* (Figura 9)

Cabe anotar que los resultados de la metodología desarrollada se han mostrado única y exclusivamente para la Figura 2, excepto los que se muestran en las figuras 6 y 7, por efectos de presentación. No obstante, todas las estadísticas realizadas son resultado de la aplicación del proceso a cada una de las AFD que se capturaron.

Terminada la recolección de datos *in situ* se alcanzaron los resultados mostrados en la Tabla IV, en donde la media de la identificación

por clase, o mejor por asociación vegetal esta en un rango de [89.8, 99] %, siendo las asociaciones de naidí, coco (palmeras) y planos fangosos secos, los más fácilmente identificables. Por su parte, las asociaciones de mangle piñuelo, negro y rojo fueron los que presentaron el más bajo porcentaje de acierto. Finalmente, se aprecia que la determinación de CV, a nivel de asociaciones vegetales existentes en zonas dentro de la bahía de Tumaco a partir de aerofotografías digitales, se realizó con un acierto total del 93.97 %, valor que permite validar la viabilidad de implementar este método para dicho fin.

DISCUSIÓN

Con respecto a la dinámica de la zona ecuatoComo se aprecia, la simple inspección visual conjunta de las imágenes originales y procesadas permite establecer la correspondencia entre las asociaciones vegetales de la imagen original y sus correspondientes asociaciones vegetales procesadas; sin embargo, se creó una paleta de texturas para evidenciar el tipo de clasificación que se realizó. Los píxeles que aparecen en negro indican que los mismos no han sido clasificados como pertenecientes a alguna de las doce clases.

Respecto al algoritmo, no debe resultar sorprendente el hecho de que los porcentajes obtenidos sean altos; sin embargo, este método también contiene sus propios errores. En cualquier caso, a la vista de los resultados obtenidos y registrados en la Tabla IV, se puede deducir que aunque se trata del mismo problema de clasificación, queda claro que la diversa naturaleza de las texturas a clasificar y por consiguiente la diferente naturaleza de las imágenes hace que el método sea adaptado o personalizado si se quiere (en cuanto a las clases informacionales se refiere), para cada una de las diferentes imágenes, de tal manera que sea más o menos efectivo en determinados casos.

Por otro lado, al analizar los diez diferentes escenarios con los que se trabajó la clasificación de las CV (Figura 7), se encuentra que el algoritmo aplicado discrimina de tal manera que no puede diferenciar entre un mismo tipo de asociación vegetal a diferentes edades, esto está dentro de lo esperado, debido a que la mayoría de vegetación cambia tanto en color, como en textura, en las

diferentes etapas de su ciclo de vida. Teniendo en cuenta esto, se adoptó como solución la creación de más de una clase para una misma asociación vegetal, con el fin de que el algoritmo las identifique y las clasifique con un mismo color. Este procedimiento de adicionar clases para una misma CV, de acuerdo con los resultados, no superó más de tres clases para una misma asociación; esto quiere decir que la adición de clases no es una acción infinita y, por tanto, con máximo cinco clases serían suficientes para identificar una asociación vegetal.

Vale la pena señalar que el algoritmo implementado va a manejar los niveles de precisión citados en la Tabla IV, en principio, solo para los escenarios que se muestran en la Figura 7. No obstante, para la aplicación del algoritmo en diferentes escenarios se deben realizar algunos ajustes en el diseño de las clases que se generan para cada asociación vegetal a determinar; sólo así se garantiza que el proceso tenga un porcentaje de acierto aceptable en la determinación de coberturas. Asimismo, no pueden dejarse de lado los cambios que sufre la vegetación a través del tiempo.

Por consiguiente, sería interesante realizar un estudio multitemporal para examinar cómo se comportan las coberturas vegetales a través de todo el año, por un periodo de varios años, con el fin de caracterizar y registrar su comportamiento en cuanto a los cambios mencionados. Toda esta información será útil para robustecer el algoritmo, de tal manera que permita un mayor acierto a la hora de la clasificación.

El problema de caracterización podría demandar un periodo de tiempo considerable; sin embargo, una vez se tenga registrado el ciclo de vida de cada asociación vegetal, el método desarrollado se convierte en un proceso estándar de identificación de coberturas vegetales a nivel de asociaciones y de allí en adelante sólo se reproduciría, siempre y cuando las variables que afecten este tipo de vegetación (temperatura, precipitación y fenómenos naturales) se presenten dentro de los rangos que se consideren como normales.

Finalmente, como de resultado del registro multitemporal que generaría este estudio, se desprenderían otro tipo de estudios que propenderían hacia la caracterización de la vegetación de la zona bajo estudio, generando una permanente retroalimentación de información, que

soportaría la determinación de coberturas a nivel de asociación y que, dependiendo de los resultados obtenidos, se podría empezar a considerar la viabilidad de abarcar el tema a nivel de especie.

CONCLUSIONES

En cuanto al procesamiento digital implementado para la determinación de asociaciones vegetales según la naturaleza de su textura, se nota un alto índice de confiabilidad cercano al 93.97 %. Pese a esto se presentan problemas para identificar coberturas vegetales pertenecientes a una misma asociación cuando éstas tienen una gran diferencia de edades. Por tanto, frente a esta situación es necesario adicionar otra clase de textura rotulada con el mismo nombre (caso de c_7 y c_{11}), incrementando la probabilidad de acierto en la determinación de las coberturas vegetales.

Para algunos casos este método realizó la clasificación de coberturas vegetales a nivel de especie, debido a que se presentaban marcadas diferencias de texturas entre éstas. No obstante, esta característica es un valor agregado de este trabajo y no se pretende, hasta el momento, recomendarlo en estudios de este tipo. Este caso se aprecia con mayor claridad en la determinación de las diferentes especies de mangle.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten pensar en las grandes aplicaciones de esta metodología; en el caso particular del Centro Control Contaminación del Pacífico, CCCP, para consolidar el proceso de teledetección a partir de aerofotografías y convertirlo en una alternativa para la generación de cartografía base sobre áreas con difíciles condiciones geográficas de acceso en el Pacífico. Además, para vectorizar la línea de vegetación permanente como insumo a la determinación técnica de la jurisdicción de la DIMAR; así como también para la correcta administración de las coberturas vegetales que colindan con esta línea, que en su mayoría corresponden a asociaciones de manglar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, y C. Leblanc. Aplicación de la tecnología de percepción remota a las pesquerías marinas: manual introductorio.

Documento técnico de pesca. FAO-1190. Roma, No. 295, 212 pp. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/DOCREP/003/T0355S/T0355S00.HTM#Toc/>. [consulta: 01 de Abril de 2005].

Castleman, K. 1996. Digital imagine processing. Prentice Hall, Englewood Cliffs. New Jersey.

Centro Control Contaminación del Pacífico. 2003. Aportes al entendimiento de la bahía de Tumaco, entorno oceanográfico, costero y de riesgos. Ed. DIMAR. Serie Publicaciones Especiales Vol. 3, San Andrés de Tumaco: CCCP, 168 pp.

Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones Rialp, S.A. Alcalá. Madrid, pp.21-568.

De la Escalera, A. 2001. Visión por computador: fundamentos y métodos. Prentice Hall. Madrid, España.

Forsyth, D. y J. Ponce. 2002. Computer vision. A Modern Approach. Prentice Hall.

Ghosh, J. 1994. "Vision-based Inspection" in Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing (Chapter 11), C. H. Dagli (Ed.). Chapman and Hall, pp. 265-298.

González, R. y R. Woods. 1996. Tratamiento digital de imágenes. Addison-Wesley/Días de Santos. Delaware.

Hecht, E. y A. Zajac. 1977. Óptica. Bogotá: Fondo Educativo Interamericano.

Jensen, J. 1996. Introductory digital image

processing. Prentice Hall.

Leica Geosystems. 2003. Erdas Imagine® 8.7. Leica Geosystems Geospatial Imaging. <http://www.gis.leica-geosystems.com/Products/Imagine/>. [Consulta: 15 de Junio de 2005].

Meisener, D. 1986. Fundamental of airborne video remote sensing, remote sensing of environment. Vol. 19, No 1, Pp 63- 79.

Moganti, M., F. Ercal, C. Dagli y S. Tsunekawa. 1996. Automatic PCB inspection algorithms: A survey. Computer Vision and Image Understandig, Vol. 63, (2): 287-313.

Pajares, G. y J. de la Cruz. 2001. Visión por computador: imágenes digitales y aplicaciones. RA-MA, Madrid.

Pajares, G., V. Moreno y J. de la Cruz. 2001. Clasificación de texturas mediante redes neuronales. RA-MA, Madrid.

Shiranita, K., T. Miyajima y R. Takiyama. 1998. Determination of meat quality by texture analysis. Patter Recognition Letters, Vol. 19, pp. 1319-1324.

Tsai, D. y C. Hsieh. 1999. Automated surface inspection for directional textures. Imagen and Vision Computing, Vol. 18, pp. 49-62.

Short, N. 2003. Remote Sensing Tutorial, NASA Goddard Training Manual on the Roles of Space Science and Technology for Using Remote Sensing to Monitor Earth and Distant Objects. NASA/Goddard Space Flight Center. <http://rst.gsfc.nasa.gov/Front/tofc.html>. [Consulta: 12 de Marzo de 2005].

FIGURAS Y TABLAS

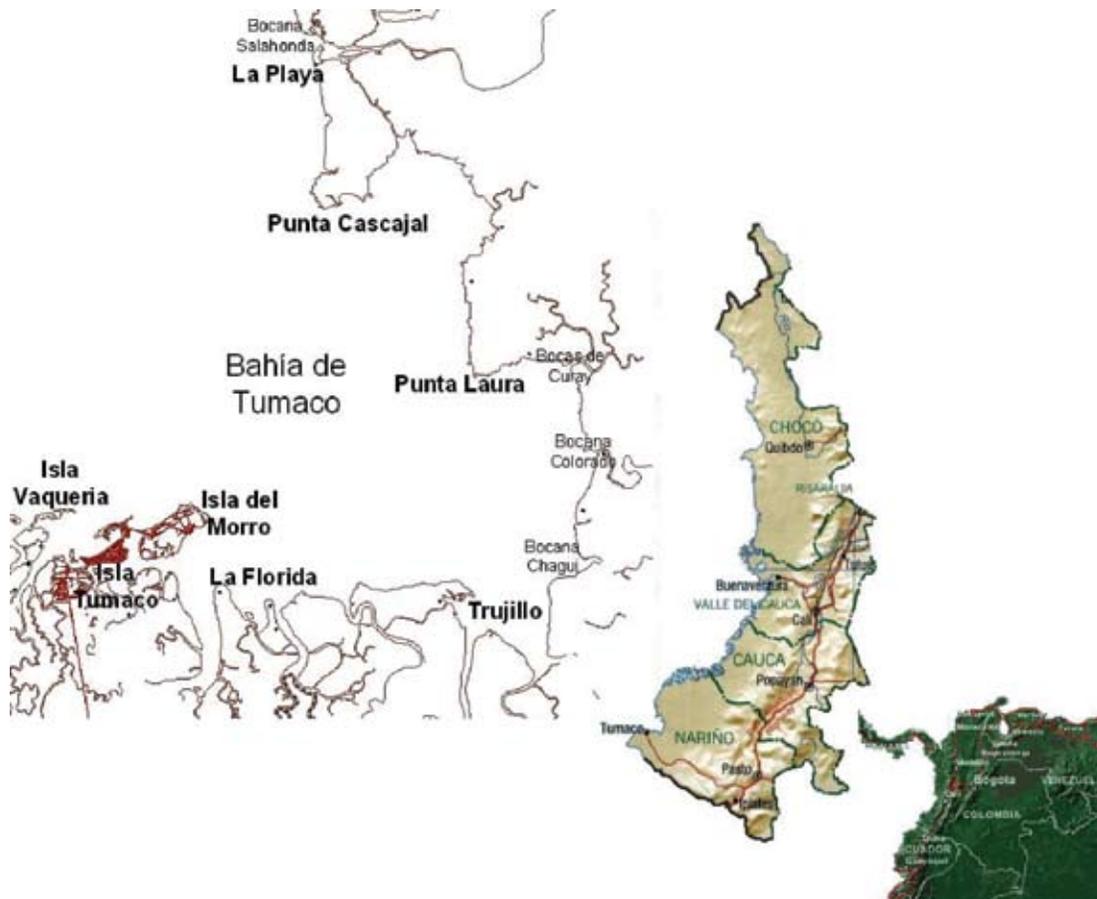


Figura 1. Área de estudio, bahía de Tumaco (Nariño, Colombia)



Figura 2. Aerofotografía digital

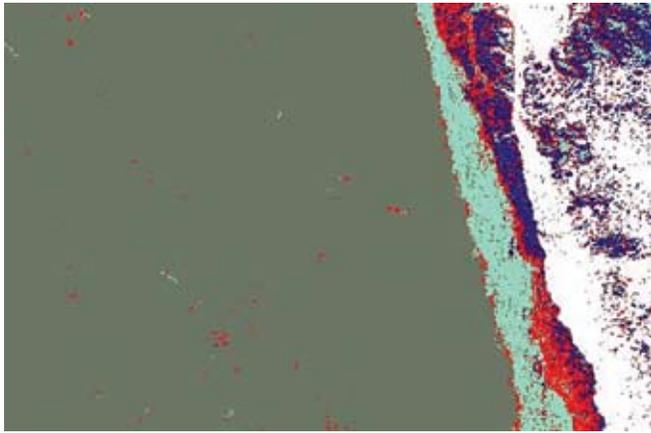


Figura 3. Delimitación de los rasgos geomorfológicos. Figura 4. Aislamiento de coberturas vegetales.

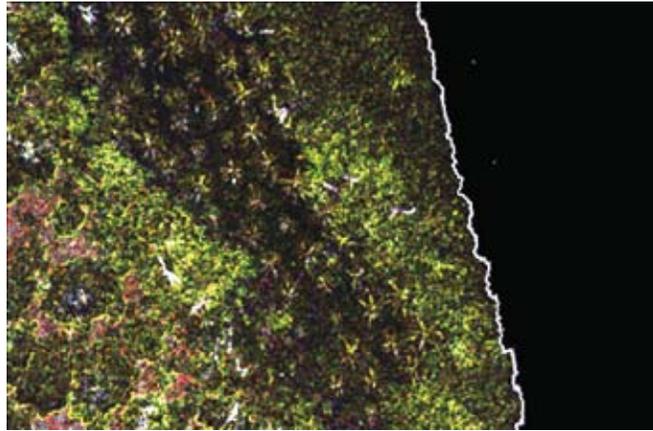
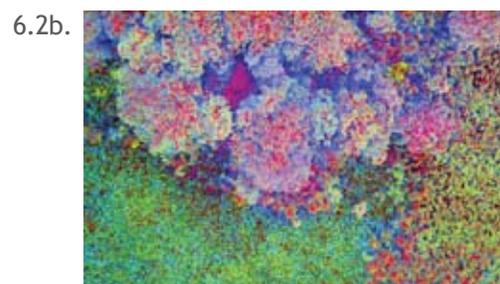
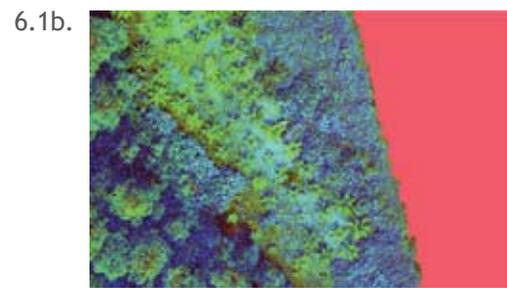


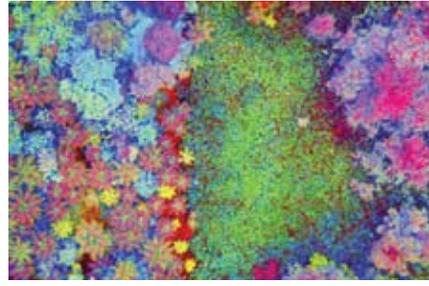
Figura 5. Línea de vegetación permanente



6.3a.



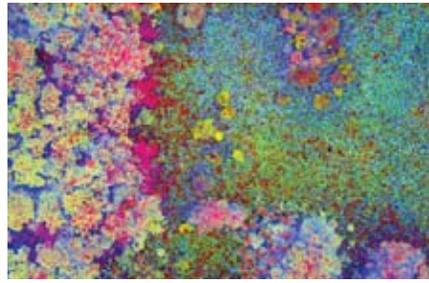
6.3b.



6.4a.



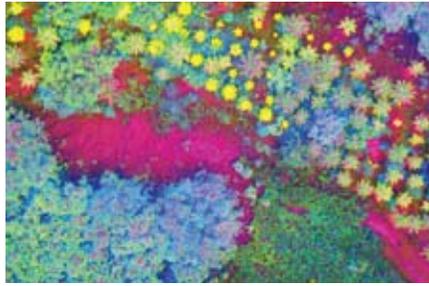
6.4b.



6.5a.



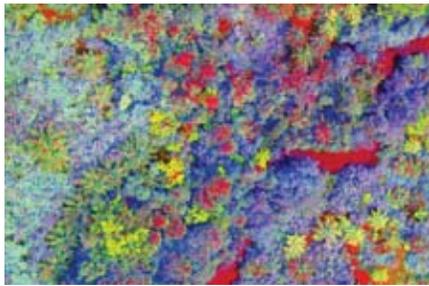
6.5b.



6.6a.



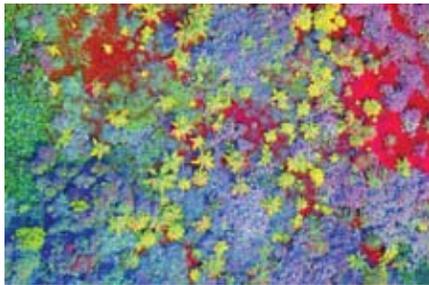
6.6b.



6.7a.



6.7b.



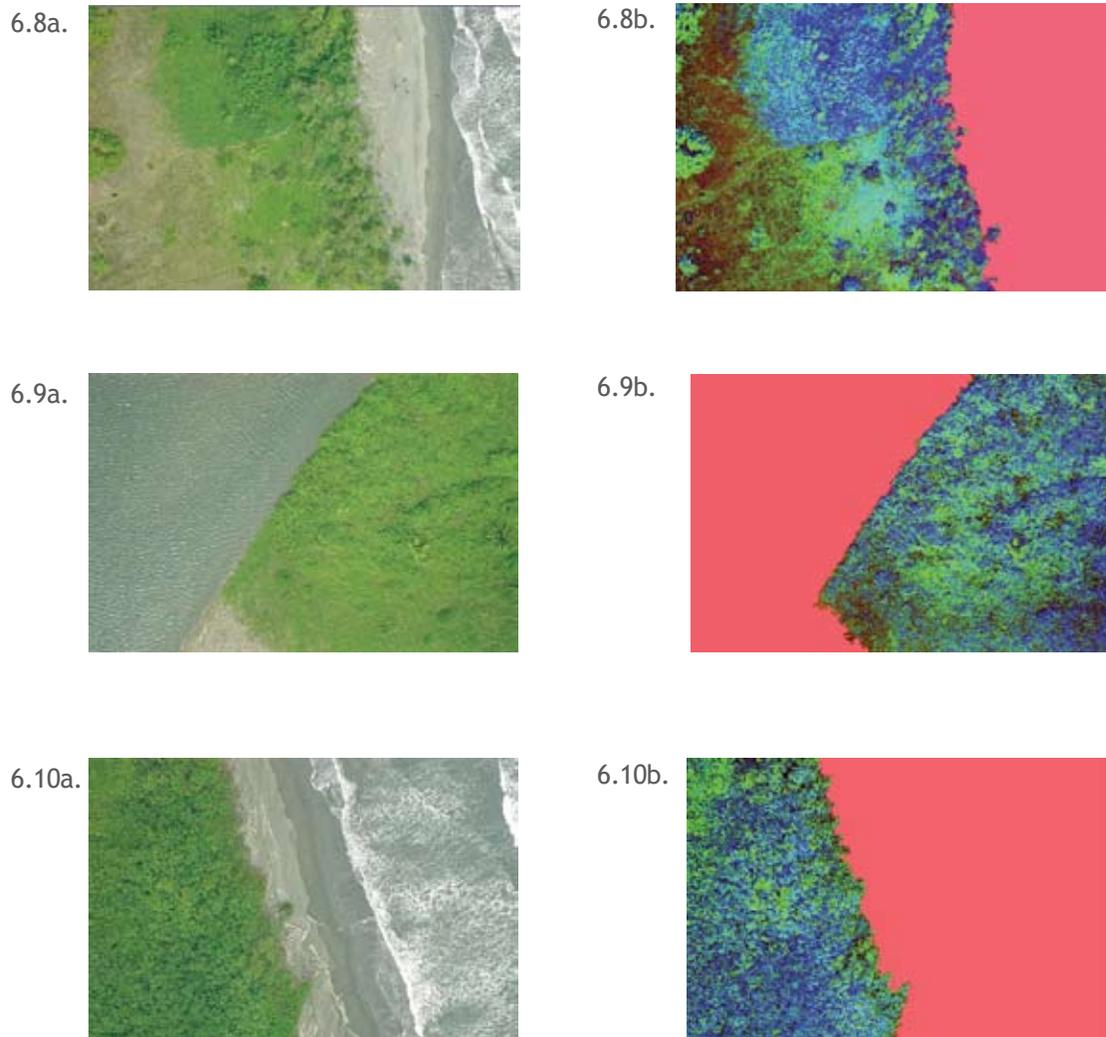


Figura 6. Identificación de asociaciones vegetales de acuerdo con su textura correspondiente.

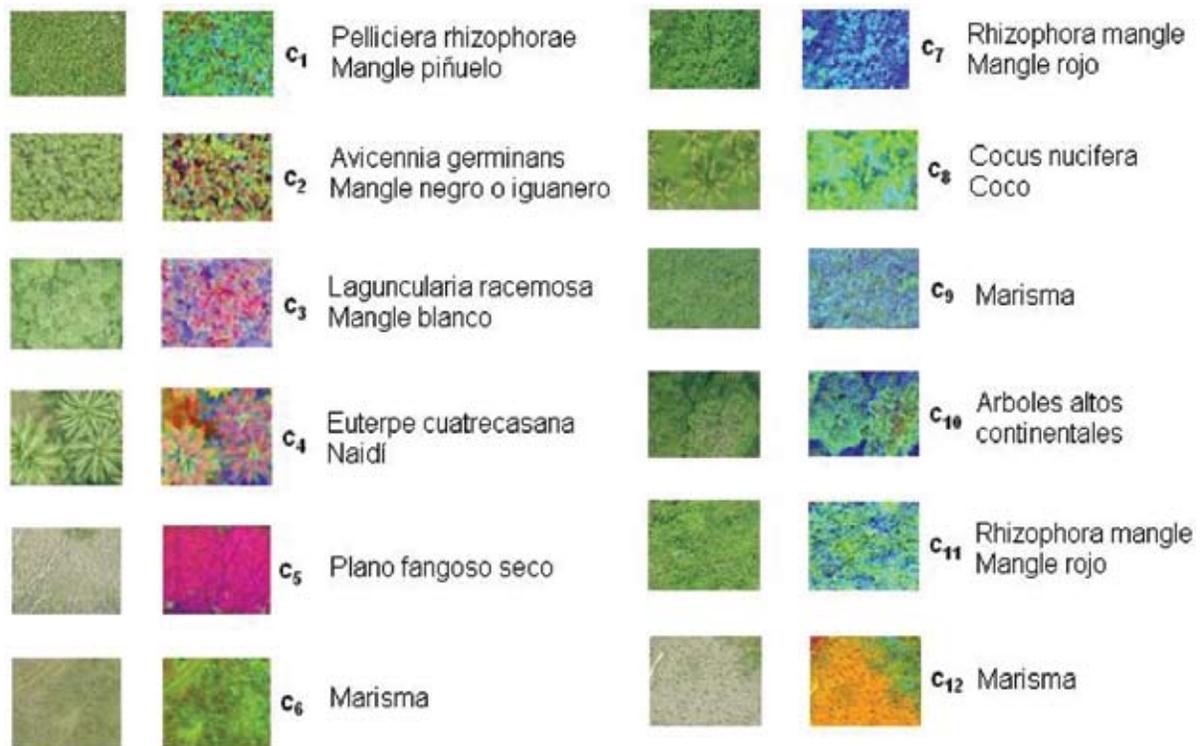


Figura 7. Librería de texturas pertenecientes a doce asociaciones vegetales.

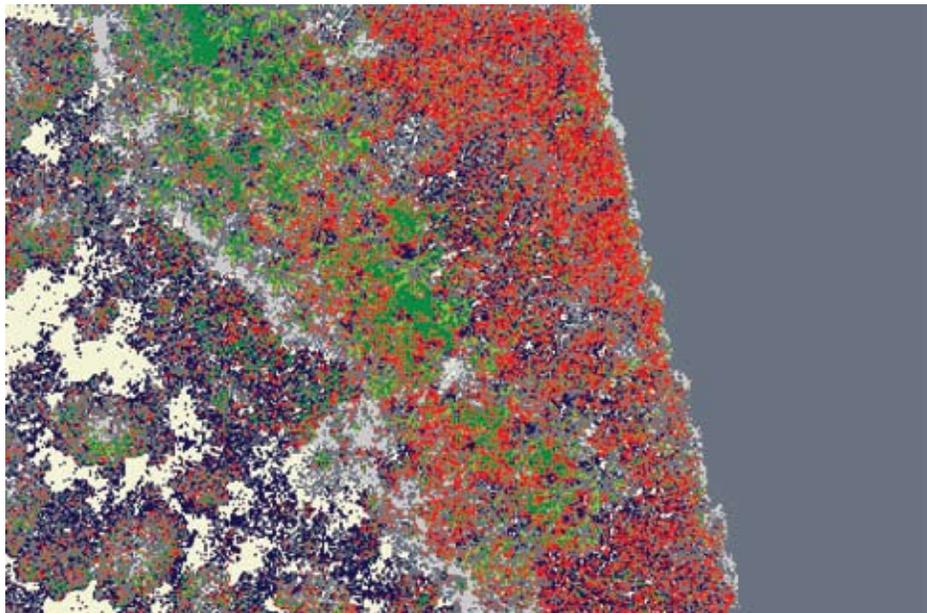


Figura 8. Asignación de etiquetas cromáticas para determinadas texturas

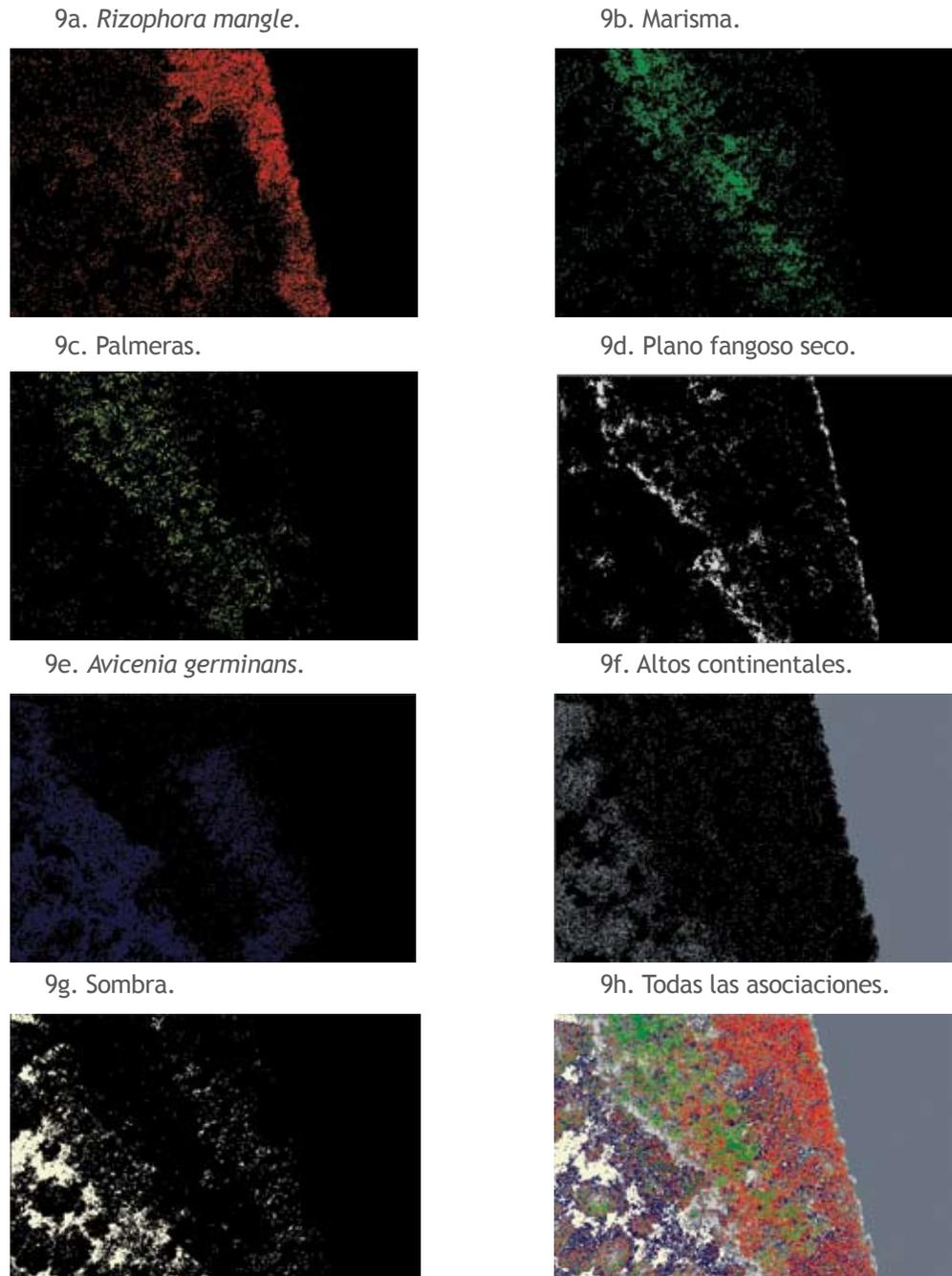


Figura 9. Activación de las diferentes asociaciones vegetales.

Tabla I. Clasificación de los rasgos geomorfológicos.

No.	Rasgos geomorfológicos	No.	Rasgos geomorfológicos
1	Mar	4	Línea de vegetación permanente
2	Terrenos de bajamar	5	Coberturas vegetales
3	Playa		

Tabla II. Etiquetas cromáticas para los rasgos geomorfológicos.

Row	Histogram	Color	Opacity	Class Names	Red	Green	Blue
0	0		0	No Clasificado	0	0	0
1	1872338		1	Vegetación	0.42	0.46	0.39
2	465391		1	Playa	0.5	1	0.03
3	130315		1	Terrenos Baja Mar	1	0	0
4	0		1	Islas	1	1	1
5	134955		1	Mar	0	0	0.54

Tabla III. Etiquetas cromáticas para la clasificación de texturas.

Row	Histogram	Color	Opacity	Class Names	Red	Green	Blue
0	0		0	Unclassified	0	0	0
1	440581		1	Rhizophora Mangle	1	0	0
2	86172		1	Marisma1	0	0.6	0
3	124101		1	Marisma2	0	0.6	0
4	88194		1	Palmeras	0.49	0.95	0.39
5	92627		1	Plano Fangoso Seco	0.827451	0.827451	0.827451
6	319876		1	Avicennia Germinans	0	0	0.4
7	1265504		1	Altos Continentales	0.49	0.52	0.57
8	206945		1	Sombras	0	0	0

Tabla IV. Porcentajes de aciertos en la identificación de las doce clases de texturas pertenecientes a sendas asociaciones vegetales.

Figura 6	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	c_9	c_{10}	c_{11}	c_{12}
1a.	-	93	94	99	99	95	91	99	92	94	91	95
2a.	91	90	93	-	-	94	-	-	95	94	-	96
3a.	89	-	94	99	-	93	-	99	95	93	-	95
4a.	90	-	92	99	99	93	-	99	93	92	-	93
5a.	91	-	92	99	99	95	-	99	92	93	-	94
6a.	-	92	92	99	99	-	90	99	-	95	91	-
7a.	90	92	95	99	99	95	91	99	94	94	87	94
8a.	-	-	-	-	99	92	91	-	95	-	88	94
9a.	-	-	-	-	99	95	90	-	95	-	91	91
10a.	-	-	-	-	99	-	89	-	-	-	91	-