

APLICACIONES DE LA TELEDETECCION

EN LA REGION DE TOLIMA- CUNDINAMARCA (COLOMBIA)

Lucía MARTINEZ Q.

*Universidad de Los Andes- Núcleo Táchira
Venezuela*

RESUMEN

La Teledetección o la Telepercepción es el proceso mediante la cual se obtiene una imagen desde el espacio, para luego codificarla, tratarla e interpretarla en el contexto de una determinada aplicación. El objetivo de nuestra investigación es el de identificar las cubiertas terrestres en los diferentes productos fotográficos y digitales, y el de especificar los procesamientos digitales más adecuados para separar espectralmente cada una de las unidades delimitadas en el terreno.

El área de estudio corresponde a una región de Tolima y de Cundinamarca, Colombia. En relación al clima, uno es frío seco de la Sabana de Bogotá y el otro es cálido seco de Girardot. La geología de la zona corresponde a rocas volcánicas, ígneas y metamórficas en la Cordillera Central, y de rocas sedimentarias en la Cordillera Oriental. Los suelos son superficiales en las montañas, pero en las zonas bajas son profundos, y son utilizados en agricultura y/o ganadería.

El programa que nos permitió realizar este trabajo fue ILLWIS, y a partir de los diferentes procesamientos digitales utilizados fue el método de la Máxima Verosimilitud que permitió delimitar la clasificación en 15 clases para la imagen de Tolima-Ibagué y en 11 clases para la imagen Tolima-Chicoral.

Palabras claves: Teledetección, Clasificación supervisada, Método de Máxima Verosimilitud, Uso de la tierra, Tolima, Cundinamarca, Colombia.

APLICACIONES OF REMOTE SENSING IN THE AREA OF TOLIMA-CUNDINAMARCA (COLOMBIA)

ABSTRACT

The Remote sensing is the process by means of which an image from the space is gotten, codified and interpreted in the context of a specific application. The objective of our research is to identify the terrestrial covers in the different photographic and digital products, and to specify the digital processes more adequate to spectrally separate each one of the units defined in the land.

The area of study belongs to a region of Tolima and Cundinamarca, Colombia. Concerning the climate, one is dry and cold in the Savanna of Bogotá and the other is dry and warm in Girardot. The geology of the zone presents volcanic, igneous and metamorphic rocks in the Central Mountain Range, and sedimentary rocks in the Oriental Mountain Range. The ground is superficial in the mountains, but deep in the low zones, and it is used in agriculture and/ or cattle raising.

Starting from several digital processes it was the Maximum Likelihood Method that allowed to define the classification in 15 classes for the image of Tolima-Ibagué, and 11 classes for the Tolima-Chicorál image.

Key-Words: Remote Sensing, Supervised Classification, Maximum Likelihood method, Land Use, Tolima, Cundinamarca, Colombia.

INTRODUCCION

Todos los días, a través de los noticiarios, nos llegan imágenes enviadas por distintas plataformas aéreas y espaciales (satélites geoestacionarios o heliosíncronos) que nos informan de las condiciones meteorológicas, contaminación atmosférica, sequía, seguimientos de icebergs, desastres naturales (ejemplo: conse-

cuencias del Fenómeno El Niño en Sudamérica y Australia, terremoto en el Estado Sucre-Venezuela, inundaciones en Alemania, Polonia, Japón, Corea), corrientes marinas y polución marina, incendios forestales, deforestación, prospección, impactos ambientales desertización, aspectos morfológicos del paisaje urbano, planificación de la producción agrícola, plagas y enfermedades en las plantas, exploración de Marte, etc.

Las imágenes espaciales son documentos que representan la realidad geográfica. El desarrollo de los diferentes programas espaciales, tales como ERTS-LANDSAT, SKYLAB, SEASAT, HCMM, SPOT, MOS-1, IRS-1, SOYUZ y SALUT, ERS-1, RADARSAT, etc., han permitido el mejor conocimiento de nuestro planeta, en especial de los recursos naturales.

Para E. Chuvieco (1990) la Teledetección o Telepercepción (Remote sensing en inglés, Télédétection en francés) es la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre a partir de sensores instalados en plataformas espaciales, y se supone que entre el sensor y la tierra existe una interacción energética, sea por reflexión de la energía solar o sea por un haz de energía artificial. La energía procedente de las cubiertas terrestres es recibida por el sensor, donde se graba, se codifica o se transmite al sistema de recepción, siendo la señal almacenada, para posteriormente ser interpretada de acuerdo a la finalidad perseguida por el usuario (p. 27).

Nuestros objetivos son los siguientes:

- Identificar los procesamientos digitales más adecuados para la ubicación y delimitación de las vías de comunicación, los canales de riego, la estructura urbana, el uso de la tierra, la vegetación natural, las unidades geomorfológicas y geológicas.
- Analizar las variaciones temporales de la zona afectada por la colada de lodo en Armero.
- Evaluar el dinamismo de la zona.

MATERIALES Y METODOS

Para la elaboración de este trabajo se siguieron las siguientes etapas:

- 1.- Revisión: Bibliográfica, Cartográfica, de Productos fotográficos y Productos digitalizados.

Se utilizaron los siguientes materiales:

a) Mapas políticos

- . Departamento de Tolima. 1 :400.000 Año 1986. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- . Departamento de Cundinamarca. 1 :250.000 Año 1989. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- . Tolima Plancha 264.1:100.000.Año 1956. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- . Tolima-Cundinamarca Plancha 245.1 :100.000. Año 1958. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

b) Mapas Geológicos

- . Mapa Geológico del Departamento de Tolima. 1 :250.000. Año 1974. Ministerio de Minas y Energía.
- . Plancha Geológica L9 Girardot. 1:100.000. Ministerio de Minas y Petróleo.
- . Mapa Geológico de Colombia. 1 :500.000. Año 1988. Ministerio de Minas y Energía.

c) Mapa Ecológico

- . Carta Ecológica. Plancha 12. 1 :500.000. Año 1977. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

d) Mapa Capacidad de Uso

- . Clases por Capacidad de Uso de las Tierras. 1 :500.000. Plancha W 12.

e) Imágenes

- .Imagen LANDSAT -MSS (1-2-3), productos fotográficos.
- .Imagen LANDSAT -MSS (4-5-7), productos fotográficos. .Imagen LANDSAT - Thematic Mapper (1-2-3-4-5-6-7), productos fotográficos y digitalizados.
- . Imagen SPOT, productos digitalizados.

f) Fotografías aéreas pancromáticas

. Misión: C-1959-IGAC N° 000119 a 000432/000150 a 000154.

. 2052-IGAC N° 000112 - 000113.

. Misión: C-2252 N° 000086 a 000091/000110 - 000111 - 000115. . Misión: C-2339 W 000065 a 000077

2.- Tratamiento

Se trabajó con imágenes digitalizadas denominadas TMTOL y TMABB en diferentes Bandas, y se aplicaron los siguientes procedimientos:

|

2.a) Tratamiento de base

El objetivo de esta fase es conocer las respuestas espectrales. Con este fin, se realizaron los histogramas de frecuencia para cada una de las Bandas espectrales, donde se recoge el número de Pixels (Picture element) definidos por un valor entero o Nivel Digital (Digital Number). Estos valores oscilan entre 0 y 255.

2.b) Composición a color

Se realiza una composición a color para cada una de las ventanas correspondientes a la zona de trabajo. Se combina dos Bandas del rango del visible con una del infrarrojo, o una del visible con una del infrarrojo cercano y una del infrarrojo medio, lo que facilita la delimitación visual de algunas cubiertas. Las combinaciones a realizar son: Banda2/Banda3/Banda4, Banda1/Banda2/Banda5, Banda2/Banda3/Banda5, Banda1/Banda4/Banda5, Banda2/Banda4/Banda5, Banda2/Banda3/Banda 7.

2.c) Filtros digitales

Son tratamientos donde se aplica una matriz que “recorre” toda la imagen y que realzan (filtros pasa alto o high pass filtering) o suavizan (filtros pasa bajo o low pass filtering) los contrastes espaciales de la imagen. Los filtros pasa bajo permiten aumentar la homogeneidad en imágenes donde existe una heterogeneidad ligada a la misma distribución de los objetos espaciales (por ejemplo los cultivos).

2.d) Índice de Vegetación

El índice de vegetación es un cociente, es decir, la división entre dos Bandas donde se utiliza el canal rojo (reflectividad baja) y el canal infrarrojo cercano (reflectividad elevada). Se utilizó el siguiente índice:

$$IV = ((B4 - B2)) / (B4 + B2) \times 127 + 128$$

2.e) Componente principal

Al realizar una nueva componente principal se hace más fácil interpretar los datos originales, ya que la idea es eliminar los datos correlacionados y así disminuir el número de Bandas a analizar sin perder una parte significativa de la información general.

2.f) Clasificación

Como se tiene información a "priori" de la zona de estudio (productos fotográficos y productos digitales, mapas...) se puede hacer una clasificación supervisada, es decir, obtener una imagen clasificada en n clases donde en forma automática se calcula la superficie, y para lograrlo se utilizan los algoritmos del PARALELEPIPEDO y el de MÁXIMA VEROSIMILITUD, después de haber seleccionado las zonas de entrenamiento (Training fields) y de haber aplicado las estadísticas (diagramas de separabilidad de clases, firmas espectrales...). El método de PARALELEPIPEDO está basado en una simple lógica Booleana de "y/o". Permite indicar los umbrales de dispersión asociados a cada clase. Cuando un pixel desconocido no satisface ningún criterio lógico booleano es asignado a una categoría sin clasificar. El método de MÁXIMA VEROSIMILITUD toma como regla de decisión que cada pixel debe ser asignado a la clase a la cual tiene mayor probabilidad de pertenencia.

3.- Control de Campo-Validación

En el campo se comprobó la ubicación realizada a priori de la zona de estudio en los productos disponibles, para luego identificar las características más importantes. Se pudo observar cambio en el

uso de la tierra, ya que se disponía de productos de diferentes fechas. Además, se comprobó la validez o no de los procesamientos realizados antes de la salida de campo, para luego hacer las correcciones necesarias.

4.- Etapa de Gabinete

Esta etapa comprende las correcciones de los procesamientos realizados antes y después de la salida de campo, los cuales permiten elaborar leyendas más completas que reúnan información referente al uso de la tierra, al substrato geológico, al grado de intervención antrópica.

LOCALIZACION

El área de estudio se encuentra localizada en la región andina colombiana, entre el piedemonte de la Cordillera Central y la Sabana de Bogotá de la Cordillera Oriental, lo que origina la presencia de diferencias regiones fisiográficas así como la diversidad de pisos térmicos que inciden en la variedad de especies vegetales. El área de estudio pertenece a las cuencas de los ríos Bogotá, Coello, Combeima, Lagunillas y, estos, a su vez, son tributarios del Río Magdalena, principal vía fluvial colombiana. El área pertenece a los Departamentos de Cundinamarca y Tolima - Colombia, y la superficie que ocupa es de 5.330 km² aproximadamente.

El área de estudio se extiende de norte a sur, de los 04° 58' 06" (Armero) hasta los 04° 08' 25" (Espinal) de latitud norte, y de este a oeste, de los 74° 14' 51" (Embalse del Muña) hasta los 75° 45' 08" (Ibagué) de longitud oeste.

CARACTERISTICAS FISICO—NATURALES

La geología de la Cordillera Central está formada por rocas volcánicas, ígneas y metamórficas, y de rocas sedimentarias en la Cordillera Oriental. La Sabana de Bogotá, con una altitud de 2.600 m.s.n.m, es una planicie de origen lacustre. Fusagasugá es un abanico-terracea que se formó por el desprendimiento de grandes masas de materiales

de la Cordillera Oriental, los cuales fueron transportados como una gran colada de lodo. Los abanicos de Ibagué y el Espinal se formaron por materiales provenientes de la Cordillera Central. En el abanico de Armero los depósitos que predominan son de origen volcánico. El valle del Magdalena está constituido por tierras planas a onduladas, con presencia de abanicos y terrazas de diferentes edades.

El área de estudio presenta diferentes grados de erosión, desde muy ligera hasta muy severa. Los procesos que predominan son la escorrentía laminar, los surcos, las cárcavas y los movimientos de masa. En las Cordilleras, los suelos son superficiales, donde abundan los afloramientos rocosos. En las partes bajas, los suelos son de origen aluvial y su uso, generalmente, está destinado hacia la agricultura.

El clima se encuentra bien diferenciado con un clima frío seco de la Sabana de Bogotá, con temperaturas que oscilan entre los 8° y 20° C, y un clima cálido seco de Girardot, con temperaturas entre el orden de los 20 y 30°C (estas fluctuaciones corresponden a la temperatura usual en las primeras horas de la mañana y al mediodía). Las variaciones de la temperatura inciden en la diferenciación de la cobertura vegetal entre la Sabana de Bogotá, la vertiente de la Cordillera Oriental, el Valle de Magdalena y el Piedemonte de la Cordillera Central (en las partes bajas predomina la vegetación seca tropical, y hacia las cordilleras predominan los bosques húmedos y los bosques muy húmedos). En relación a las precipitaciones, los valores oscilan entre los 1000 y los 2000 mm anuales. En aquellos sectores donde la precipitación es baja se hace necesario el riego, si se quiera hacer un uso intensivo del suelo (excepto en la vertiente de la Cordillera Oriental).

DESCRIPCION FISICO-NATURAL DE LOS PUNTOS DE CONTROL

A partir de la interpretación de los productos fotográficos y de los productos digitales (Figura No. 1), se realiza para cada punto de control un breve análisis de sus características físico-naturales:

Tabla I Puntos de Control en el Departamento de Cundinamarca

PUNTO DE CONTROL	Embabe de Muña	Alto de San Miguel	Altos de las Canem	Glrardot
ELEMENTOS				
Relieve	Plano (3%)	Nula	Escarpado (>50%)	Escarpado
Erosión	o muy ligera	Ligera a severa	Muy superficiales	Muy superficiales e improductivos
Suelos	Profundos a muy profundos			Excesiva
Pedregosidad		Nula a Excesiva		Excesiva
Drenaje Bueno		Pobre a excesivo		Hasta un 25% Excesivo a pobre
Retención de humedad	Alta a media	Excesiva a muy baja		Baja a muy alta
Permeabilidad	Moderada a lenta	Muy lenta a muy rápida		Lenta a muy rápida
Uso de la Tierra	Apto para cultivos anuales, permanentes y semipermanetes	Forestal y potreros	Conservación	Limitado, con prácticas de conservación
Vegetación	Pastizales, gramíneas arbustos.	Autóctona. acentuado	Epifitismo	Pastizales, grupos de Palma de vino y árboles

Fuente: Datos obtenidos por el Autor

Tabla II Puntos de control en el Departamento de Tolima

PUNTO DE CONTROL	Espinal	Vía Chlcoral - Coello	Distrito de Riego Uanura Aluvial de Coello del Rlo Coello
ELEMENTOS			
Relieve	Ondulado << 25%	Escarpado (>50°10)	Ligeramente plano <<12% a casi plano
Erosión	Ligera a Moderada	Ligera a severa	Ligera Moderada Profundos
Suelos	Superficiales a profundos	Muy superficiales	Muy superficiales a muy profundos
Pedregosidad	Inferior al 25%	Nula a excesiva	Baja Bueno a Moderado Excesivamente drenado
Drenaje	Excesivo a pobre	Pobre a excesivo	Excesivamente drenado a pobremente drenado
Retención de Humedad	Baja a muy alta	Excesiva a muy baja	Lenta a moderada
Permeabilidad	Lenta a muy rápida	Muy lenta a muy rápida	Cultivos anuales Limitado para la y permanentes conservación
Uso de la Tierra	Conservación	Forestal y potreros	Seca tropical Bosque seco tropical
Vegetación	Pastizales, grupos de Palma de vino y árboles	Pastizales, grupos de Palma de vino y árboles	

Fuente: Datos obtenidos por el autor

Tabla III Puntos de control en el Departamento de Tolima

PUNTO DE CONTROL ELEMENTOS	Gualanday	Payande	Alto de la Marthnica	Arnlero
Relieve	Escarpado (>500/0)	Moderadamente inclinado a ondulado	Muy escupado (>500/0)	Escarpado (> 500/0)
Erosión	Ligera a severa	Ligera	Moderada	Ligera a severa
Suelos	Muy superficial	Moderadamente profundos a profundos	Superficiales a profundos	Muy superficiales
Pedregosidad	Nula a excesiva	Baja a moderada	Nula a excesiva	Nula a excesiva
Drenaje	Pobre a excesivo	Bueno a moderado	Excesivo a pobre	Pobre a excesivo
Retención de Humedad	Excesiva a muy Rápida		Excesiva a baja	Excesiva a muy baja
Pemleabilidad	Muy lenta a muy rápida		Lenta a rápida	Muy lenta a muy rápida
Uso de la Tierra	Forestal y potreros	Cultivos anuales y permanentes	Forestal y potreros	Forestal y potreros
Vegetación	Pastizales. grupo de palma	Seca tropical	Bosque húmedo premontano	Autóctona

Fuente: Datos obtenidos por el autor

RESULTADOS y DISCUSION

En relación a los filtros se trabajó con los pasa alto, porque los mismos permiten resaltar las características geométricas, especialmente las estructuras geológicas, las vías de comunicación, la red hidrográfica, los canales de riego, los parcelamientos... y de esta forma se mejoró la definición de contornos y de los lineamientos (Figura N° 2).

Las combinaciones de la composición en color seleccionadas, de acuerdo a nuestros objetivos, fueron las Banda2/Banda3/Banda5 y las Banda2/Banda4/Banda5 (Figura N° 3). Dichas combinaciones permitieron visualizar, simultáneamente, distintas regiones del espectro así como la identificación de algunas cubiertas.

El índice de vegetación permitió obtener información sobre los distintos tipos de cobertura vegetal en la zona, donde la cobertura más densa y exuberante se representa con valores altos, mientras que la zona que no presenta cobertura vegetal presenta valores bajos.

El componente principal permitió reducir un grupo amplio de variables en otro más pequeño, manteniendo una gran parte significativa de la información original. Como resultado, obtenemos diferentes componentes con un porcentaje de la información de todas las bandas, así el primer componente nos dio casi el 80% de la información de todas las bandas, mientras que los demás componentes nos dieron las informaciones restantes (Figura N° 4).

Donde se obtuvo la mejor ubicación del embalse de Muña fue en:

- Banda 7 del MSS de la Primera Generación.
- Banda 3 del MSS de la Segunda Generación.
- Banda 5 del Thematic Mapper.

Actualmente, el embalse se encuentra cubierto entre un 90 y 95% de su superficie por la planta acuática denominada buchón de agua. Si se comparan las imágenes de 1977 y de 1985, se observa que al transcurrir el tiempo se ha reducido el volumen de agua del embalse, afectando considerablemente su uso (recreación, deportes acuáticos, pesca...)

Para discriminar mejor los aspectos geológicos y geomorfológicos en el Alto de San Miguel, la banda utilizada fue la 7 del Thematic Mapper, y para los aspectos de vegetación y uso de la tierra fue la banda 4 del Thematic Mapper. En la salida de campo se comprobó la interpretación realizada en gabinete en la delimitación de las áreas taladas, la presencia de anticlinales y sinclinales orientados hacia la llanura del Magdalena, los lineamientos, y, por la litología presente, el tipo de estratificación de las rocas, las condiciones meteorológicas y la pendiente, la presencia de movimientos de masa.

El abanico-terrace de Fusagasugá se localizó en las imágenes, siendo de tipo aluvial y de corte heterométrico; al contrario, en la terraza

de Melgar se observó una selección de materiales. Las colinas presentan una estratificación con un rumbo Noreste, y de un espesor considerable. La Banda 7 ofrece mayor facilidad para determinar formas geomorfológicas, (terrazas, lechos, abanicos...) y aspectos geológicos (fallas, lineamientos, estratificación...) del Alto de las Canecas.

Se observa, en las imágenes, que el abanico del Espinal (más reciente) presenta diversos cultivos y pastos mejorados que en el abanico de Ibagué (más antiguo), esto posiblemente se deba a la presencia de humedad. En relación a las colinas, la cobertura vegetal es de bosque de porte bajo y de pastizales. La banda 4 del Thematic Mapper permite discriminar bosques, cultivos (húmedos y en secanos) y pastos.

Las vías de comunicación en el Espinal fue posible ubicarlas en las imágenes del Thematic Mapper, pues la imagen del MSS, debido a su resolución espacial, fue difícil discriminarlas.

Los productos digitales permitieron identificar, en la sección inferior de las colinas en la Vía Chicoral-Coello, una vegetación seca tropical, y en la sección superior, pastizales ralos. En las imágenes se pudo localizar, a lo largo del Río Coello, un bosque de galería, así como la presencia de cultivos. El abanico del Espinal presenta una diversidad de cultivos tales como mango, arroz, sorgo, algodón...La información fue controlada en el campo.

Para reconocer nítidamente la estratificación y la orientación de los buzamientos en el Distrito de Riego de Coello, el procesamiento que nos dio mayor información fue el filtro paso-alto. El procesamiento digital donde se destaca mejor las obras de infraestructura, tales como vías de comunicación, canales de riego, etc., es el análisis de los componentes principales.

La banda que permite determinar el lecho del río Coello es la banda 5 del Thematic Mapper. El procesamiento digital para determinar los distintos niveles de terraza es el filtraje, así como la composición a color, cuya combinación óptima es Banda2/Banda3/Banda7.

Los productos digitales nos permitieron discriminar suelos húmedos, cultivos, pastos naturales, suelos desnudos y bosques en la zona de Payande. En los productos fotográficos se pueden detectar: suelos húmedos, cultivos, zonas erosionadas, vegetación natural, así como afloramientos rocosos. La bruma atmosférica influyó en las respuestas espectrales de los productos utilizados.

En las imágenes SPOT que representan Armero, de fecha 09/08/86 muestran un sector considerablemente afectado por la colada de lodo, la cual es representada por diferentes tonalidades de azul. Se observan afloramientos rocosos con tonalidades de azul oscuro, y esto ha sido como consecuencia de la colada de lodo con alto contenido de azufre que eliminó la cobertura vegetal. Si se compara la imagen SPOT con las imágenes LANDSAT Thematic Mapper de fecha del 22/03/88, las tonalidades de azules se presentan más claras debido a la invasión progresiva de la vegetación. La clasificación supervisada de la zona de Armero para el 22/03/88 nos muestra la magnitud de la colada de barro en color amarillo (Figura W 5). En 1990, el área presentaba mayor cobertura vegetal que la que se registra en las imágenes, por lo tanto, se puede inferir que en la época de lluvias el cubrimiento será mayor en suelos que no presentan grandes cantidades de azufre.

CLASIFICACION

Para clasificar la vegetación se debe tener presente sus características morfológicas, la situación geográfica de la planta así como las características del suelo donde se ubica la planta. La elevada reflectividad de la vegetación en el infrarrojo cercano se debe presumiblemente a la estructura celular interna de la hoja. El comportamiento espectral de los suelos es diferente al de la vegetación, porque interviene la composición química de los suelos, la textura, la estructura, el contenido de materia orgánica y el contenido de humedad. La respuesta espectral del agua es mucho más uniforme que el de la vegetación, pues muestra una signatura casi uniforme. La mayor reflectividad se produce en azul, disminuyendo en el infrarrojo cercano. La reflectividad del agua depende del contenido de partículas en sus suspensión, de la rugosidad de la superficie y de la profundidad. La res-

puesta espectral de las nubes es alta en las bandas visibles, reduciéndose hacia el infrarrojo cercano.

Para la realización del proceso de clasificación se utilizaron dos métodos diferentes: el PARALELEPIEDO y el de MÁXIMA VEROSIMILITUD, donde el primer método presenta mayor confusión al momento de discriminar las clases, por lo que se decidió seleccionar como clasificaciones finales las obtenidas por el Método de Máxima Verosimilitud, pues este método toma en cuenta, además de los centros de clase, las matrices de covarianza.

Para la descripción de las clases obtenidas en cada clasificación, es decir, la clasificación Ibagué y la clasificación Tolima, se tomaron en cuenta las firmas espectrales, donde se obtuvieron las medias. Además, para la clasificación Tolima se utilizó el histograma bidimensional TMTOL 4 y TMTOL 7, mientras que para la Clasificación Ibagué se utilizó el TMABB 4 y el TMABB 5.

La imagen de Tolima-Ibagué se clasificó en 18 clases, y la imagen de Tolima-Chicoral en 11 clases. Estas clasificaciones se realizaron tomando en cuenta las curvas de reflectancia y los histogramas bidimensionales para la selección adecuada de los centros de clases. Una vez hecho el chequeo de campo se evaluó y se mejoró las clasificaciones y, como resultado, nos dieron 15 clases para la imagen de Tolima -Ibagué, y se conservaron las 11 clases para la imagen de Tolima-Chicoral (Figura W 6).

La descripción de cada clasificación se hace a continuación: Clasificación Ibagué

- . Nube : presenta respuestas altas en las tres bandas .4, 5 y 7.
- . Sombras yagua: presenta respuestas bajas en las tres bandas (4, 5 Y 7).
- . Tierras misceláneas: presenta una respuesta más baja en la banda 4 que en la 5, debido a la influencia de un suelo muy claro, y es baja en la banda 7.
- . Suelos desnudos: (sd1, sd2, sd3, sp) presenta una respuesta más alta en la banda 5 que en la banda 4 y 7.

- . Suelo húmedo: el contrario tiene respuesta mayor en la banda 4 que en la banda 5 y la más baja en la banda 7.
- . Suelo preparado: es más húmedo que en los suelos desnudos (respuestas más bajas en banda 4 y 7).
- . Vegetación : La vegetación más activa son los cultivos, pastos naturales y matorral, los cuales presentan una respuesta alta en la banda 4 que disminuye paulatinamente en la banda 5 y 7.
- . Vegetación baja seca: tiene una respuesta que sube de la banda 4 a la banda 5, para descender bruscamente en la banda 7.
- . Vegetación alta: presenta una respuesta baja en la banda 4, esto se debe al tipo de suelos o a que la vegetación se encuentra demasiado seca, mientras que en la banda 5 sube su respuesta.

Clasificación Tolima (Tabla IV y VI Figura N° 7 y W 8) Nubes : presentan respuestas muy altas en las tres bandas, siendo la más alta ,en la banda 5.

- . Sue101 : tiene una respuesta baja en las tres bandas, posible mente debido a su color oscuro que hace que su respuesta sea parecida a la sombra, o debido al contenido de humedad (respuesta similar al suelo húmedo de la clasificación de Ibagué).
- . Suelo preparado: tiene una respuesta muy parecida al definido en la clasificación de Ibagué (bajas en bandas 4 y 7). .Erosión : presenta altas respuestas en las tres bandas, don de su mayor respuesta es en la banda 5.
- . Vegetación : la vegetación más activa es el bosque y el pasto. Tiene una respuesta menor en banda 4 que en la banda 5. .Vegetación baja húmeda y pastizal: tiene una respuesta más alta en la banda 5 que en la banda 4 debido al tipo de suelo y al contenido de humedad.

CONCLUSIONES

A través de los procesamientos digitales utilizados se pudo mejorar las imágenes, permitiendo la clasificación a través del método de Máxima Verosimilitud de dos regiones Tolima-Chicoral e Tolimalbagué en once y quince clases respectivamente. En este trabajo, el método del Paralelepípedo presentó mayor confusión al momento de discriminar las clases, pues este método asigna a una categoría sin clasificar a un pixel desconocido cuando éste no satisface ningún criterio lógico booleano.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BONN F. Y G. ROCHON (1992) *Précis de Télédétection*. Québec: presses de l'Université du Québec. 485p.

CAMACHO O. Ma T. y M. PAEGELOW (1995) "Teledetección y Sistemas de Información Geográfica en Geografía. Guía de Trabajo para la elaboración de una base de datos espacial". In: *Cuadernos Geográficos*, 22-23: 151-173.

COLOMBIA (1984) *Tolima: Aspectos Geográficos*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. División de Extensión y de Enseñanza Geográfica.

COLOMBIA (1977) *Zonas de vida o Formaciones Vegetales de Colombia. Memoria Explicativa sobre el Mapa Ecológico*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección Agrológico. 238 p.

COLOMBIA (1973) *Programa Nacional de Inventario y Clasificación de Tierras*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 42 p.

CHICHARRO E. Y J. MARTINEZ V. (1992) "El análisis visual de imágenes espaciales en la Enseñanza de la Geografía". In: *Serie Geográfica*, Vol. 2: 65-79.

CHUVIECO E. (1990) *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: RIALP. 453p.

POUYLLAU M., bajo la dirección de (1990) *Télédétection et Tiers Monde*. Francia: CNRS. 394 p.

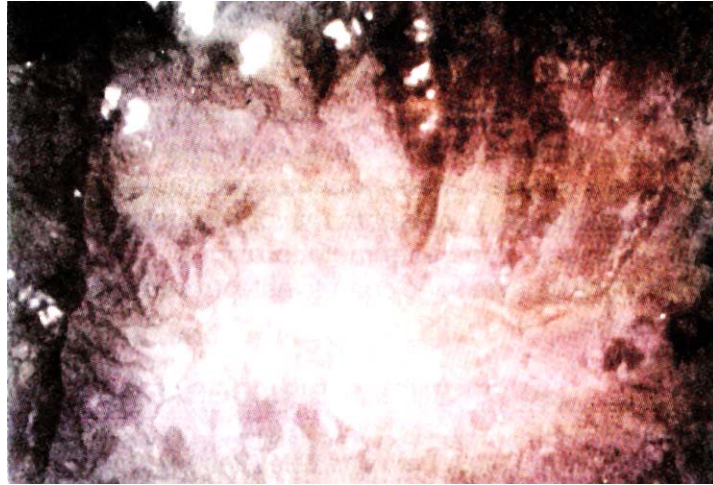


Figura Nº 1 Imagen LANDSAT-TM Banda 2 Tolima-Chicoral (febrero 85)



Figura Nº 2 Filtro pasa alto -Imagen Tolima-Chicoral.

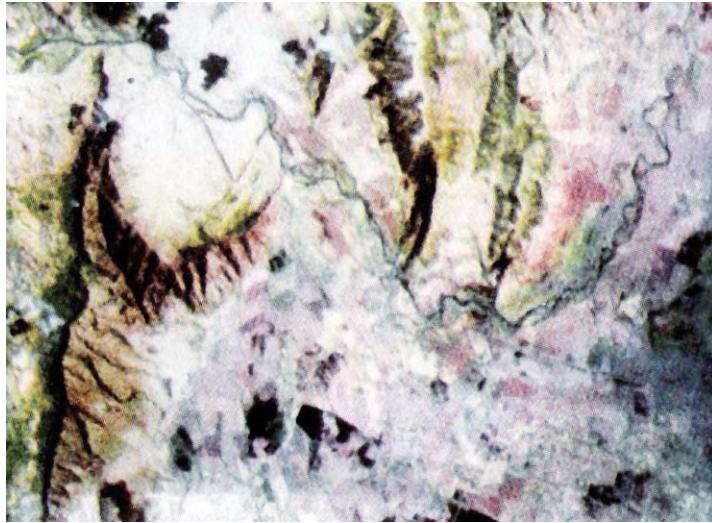


Figura Nº 3 Composición a color Banda2-Banda4-Banda5 Tolima-Chicoral.



Figura Nº 4 Componente principal Tolima-Chicoral.

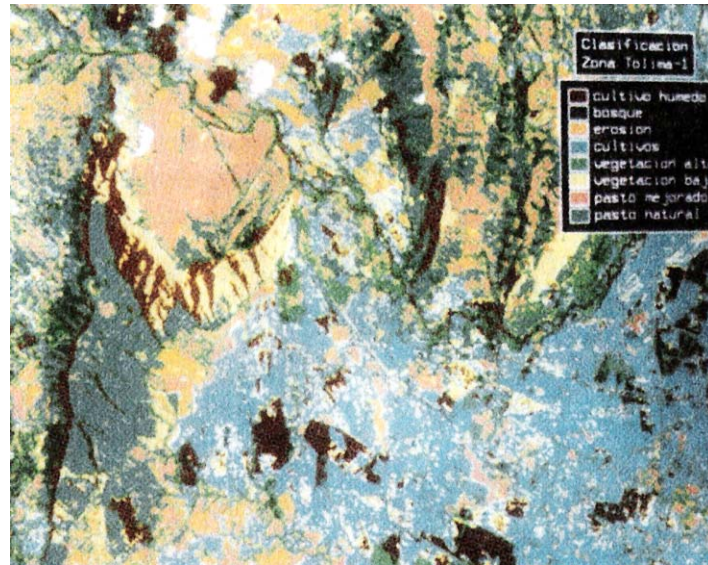


Figura N° 5 Clasificación supervisada - Zona de Armero (20-3-88)

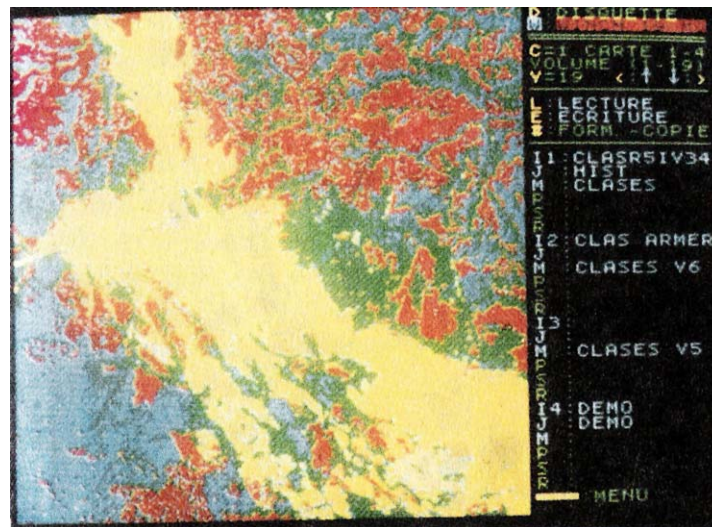


Figura N° 6 Clasificación supervisada Tolima-Chicoral.

Tabla IV Firmas espectrales - Tipos de Cobertura - TOLIMA

	Banda 4	Banda 5	Banda 7
Nube	177	245,1	145
Suelo1	55,8	46,9	19
Erosión	87,8	185	93,9
Suelop	70,2	123,8	80,3
Somnube	52,8	31,8	12,3

Fuente: Cálculos propios

Figura N 7: FIRMAS ESPECTRALES- Suelo y Nube - TOLIMA

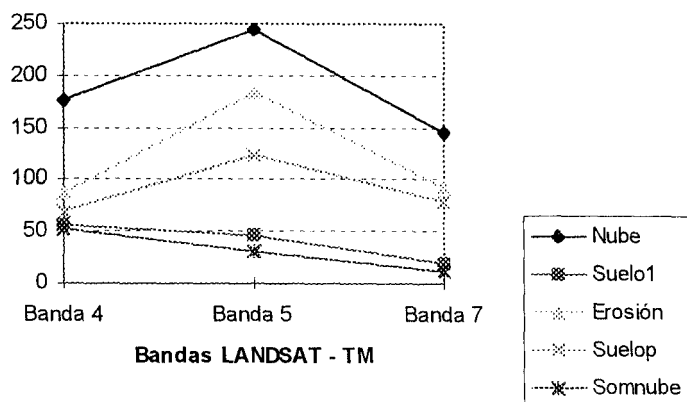


Tabla V Firmas Espectrales - Tipo de Cobertura - TOLIMA

	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
Bosque	77,9	73,6	25,6
Pasto	90,8	90,5	35,5
Veg-Baja	67	137,1	78,3
Pastizal	86,5	141,5	58,4
Matorral	70,8	125,2	56,6
vegbajah	50,6	73,6	39,5

Fuente: Cálculos propios

Figura N° 8: FIRMAS ESPECTRALES - Vegetación - TOLIMA

