

**EL ESTUDIO DEL  
DEL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL AGUA SUBTERRÁNEA  
EN LA SABANA DE BOGOTÁ,  
EN LA REPÚBLICA DE COLOMBIA**

**INFORME FINAL  
INFORME SOPORTE**

**PARTE 10**

**ANÁLISIS DEL USO DEL SUELO  
CON IMAGEN SATELITAL**

**Informe Final  
(Informe Soporte)**

**Parte 10 Análisis Del Uso Del Suelo Con Imagen Satelital**

**Tabla de Contenido**

	Pag
Tabla de Contenido .....	i
Lista de Tablas y Figuras .....	ii
	Pag
<b>CAPITULO - 1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE IMAGEN DE SATÉLITE .....</b>	<b>10-1</b>
1.1 Introducción .....	10-1
1.2 Marco Geográfico .....	10-1
1.3 Adquisición de información de Imagen Satelital .....	10-1
<b>CAPITULO - 2 MÉTODO DE ANÁLISIS .....</b>	<b>10-3</b>
2.1 Software y Método de análisis de Datos de Imagen .....	10-3
2.2 Procesamiento de Datos de Imagen .....	10-3
<b>CAPITULO - 3 MAPA DE CUBRIMIENTO DE TIERRA Y ANÁLISIS DEL USO DEL SUELO .....</b>	<b>10-4</b>
3.1 Verificación en Campo .....	10-5
3.2 Descripción de las Clases Finales .....	10-5
3.3 Resultados de clasificación .....	10-7

## **Lista de Tablas y Figuras**

	(Pag)
Tabla-1.1 ANCHOS DE BANDA ESPECTRAL DEL LANDSAT TM Y ETM+ ·····	10-2
Tabla-1.2 Adquisición de Datos de información de imagen satelital ·····	10-2
Tabla-1.3 Parámetro de georeferencial de la corrección de datos par el LANDSAT 7 ETM. ·····	10-2
Tabla-3.1 Legenda del cubrimiento de suelos por la clasificación supervisada ·····	10-4
Table-3.2 AREA OF EACH DISCRIMINATED COVER CLASS ·····	10-8
Figura-3.1 Composición de Bandas de RGB: 453 ·····	10-9
Figura-3.2 Composición de Bandas RGB 457 ·····	10-10
Figura 3.3 Zoom para la Ciudad de Bogotá de Composición de Bandas de RGB:453 ·	10-11
Figura-3.4 Imagen de Clasificación de Uso del Suelo ·····	10-12

## **PARTE - 10 ANALISIS DEL USO DEL SUELO CON IMAGEN SATELITAL**

### **CAPITULO - 1 Recolección De Información De Imagen De Satélite**

#### **1.1 Introducción**

El estudio de JICA llevo a cabo el proceso de datos de imagines del LANDSAT 7 para monitorear el cubrimiento de tierras y para analizar el estudio hidro – geológico para una investigación preliminar. Los objetivos de usar la información satelital son los siguientes:

1. Adquirir la información de imagines de satélite mas reciente que cubra el área de estudio con la información complementaria necesaria para llevar a cabo la interpretación de imagen.
2. Generar un mapa temático clasificado del cubrimiento de tierras para mostrar las áreas que están cubiertas con bosques, vegetación, cultivos, asentamientos, invernadero y cuerpo de agua por la información de imagen del LANDSAT 7.

La clasificación de imagines fue llevada a cabo sobre el área del estudio de JICA la cual va desde el reservorio Muña (Sur) a Villapinzon (Norte) y desde las Montañas Orientales a Facatativa (Occidente). El área de estudio de JICA cubre toda la jurisdicción de la CAR y el DAMA. La metodología, resultados y las estadísticas obtenidas después de la interpretación, la clasificación y el proceso de edición del mapa de uso del suelo son presentados en el siguiente capitulo.

#### **1.2 Marco Geográfico**

Al área de estudio definitiva corresponde a la sabana de Bogotá, la cual esta localizada en la cadena montañosa oriental en el Departamento de Cundinamarca dentro de las coordenadas 4° 15' a 5° 20' latitud norte y 73° 30' a 74° 30' Oeste de longitud de Greenwich. El área de estudio presenta un declive de altitud que va de los 2500 metros de altura a los 3600 metros de altura sobre el nivel del mar. La cuenca esta dividida para 16 municipios y una parte del Distrito Capital administrativamente. Geomorfológicamente los alrededores de la cuenca del río Bogotá están conformados por cadenas montañosas cretáceas y un extenso deposito fluvial – lacustre de origen cuaternario, localizado a 2600 metros sobre el nivel del mar que da origen a la meseta denominada Sabana de Bogotá (CAR 1985).

#### **1.3 Adquisición de información de Imagen Satelital**

Para adquirir imagines satelitales fue revisada la información de imagines disponible en el Centro de datos EOS no solamente del LANDSAT 7 sino también del LANDSAT 3 y 5. La información de imagen satelital mas reciente fue buscada para monitorear el cubrimiento de tierras alrededor del área de estudio.

El satélite LANDSAT 7 fue lanzado el 15 de Abril de 1999 y fue provisto con sensores de amplificación para mapeo temático Thematic Mapper Plus (ETM+) a los cuales le fueron adicionados una banda pancromática y dos gamas mejoradas para mejorar la resolución espacial en la banda termal, el elaborador de mapas ETM incluye dos calibradores solares. En la tabla 1 siguiente la cual es tomada del centro de información de datos EOS, las bandas para el censor del LANDSAT están presentadas con una comparación con las bandas para el mas viejo LANDSAT TM.

Unas series de imagines de miradas rápidas fueron revisadas y clasificadas de acuerdo a la fecha y el porcentaje de nubosidad que cubre la imagen. La mayoría de las imágenes recientes fueron cubiertas por un alto porcentaje de nubosidad. Existían algunas imagines del

LANDSAT 5 alrededor de toda la Sabana de Bogotá que databan de 1986 las cuales tuvieron un porcentaje de nubosidad inferior al 2%, sin embargo estas imágenes no fueron escogidas porque el estudio necesitaba la más reciente.

Al revisar las imágenes de Mirada rápida del último LANDSAT 7, se concluyó que era necesario tomar dos escenas con el fin de cubrir toda el área de estudio. Porque la información del LANDSAT 7 cubrió con dos gránulos en la parte más superior del noreste de la Sabana de Bogotá y la parte más baja de otra parte alrededor del área de estudio. La trayectoria cardinal de la imagen satelital en el área de estudio fue la siguiente: 8-57 y 8-56;

La primera imagen cubierta con la mayor parte del área de estudio fue hecha cerca al reservorio de Tominé. La segunda imagen cubierta con la parte nororiental del área de estudio fue hecha desde el Suesca hasta Villapinzon. Menos del 10% de la información satelital de la segunda imagen fue usada para la clasificación.

Dos de las miradas rápidas fueron seleccionadas: Dato de satélite de 8-57 en Noviembre 16 de 1999 y de 8-56 en febrero 4 de 2000 como es mostrado en la Tabla 2. Estas imágenes presentan un relativamente alto porcentaje de cubrimiento de nubosidad de un 22%, sin embargo en el área de estudio el porcentaje de cubrimiento de nubosidad es reducido al 1%. Los datos de imágenes correspondientes a estas fechas fueron adquiridos para análisis de datos. La información de imágenes escogida fue de Nivel 1 la cual fue corregida geoméricamente (L1G) con forma de datos del centro EOS con la NASA con corrección radio métrica (sistemática).

**Tabla-1.1 ANCHOS DE BANDA ESPECTRAL DEL LANDSAT TM Y ETM+**

Ancho de Banda ( $\mu$ ): Ancho Total – Mitad Máximo								
sensor	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8
TM	0.45 - 0.52	0.52 - 0.60	0.63 - 0.69	0.76 - 0.90	1.55 - 1.75	10.4 - 12.5	2.08 - 2.35	N/A
ETM+	0.45 - 0.52	0.53 - 0.61	0.63 - 0.69	0.78 - 0.90	1.55 - 1.75	10.4 - 12.5	2.09 - 2.35	.52 - .90

**Tabla-1.2 Adquisición de Datos de información de imagen satelital**

Trayectoria Cardinal	Fecha de Adquisición de los datos	ID de la Escena
8 - 56	Febrero 4 2000	2000724634
8 - 57	Noviembre 16 1999	2000431753

**Tabla-1.3 Parámetro de georeferencial de la corrección de datos por el LANDSAT 7 ETM.**

- Salida de proyección de mapa: UTM	- numero de Zona: 18
- Orientación de Imagen: NUP	- Re - muestreo kernel: CC
- Tamaño en Píxel coordenada – celda: Para BANDA (8): 15 m, Para BANDA (1,5,6): 30 m, Para BANDA (6l, 6h): 60 m	

Los algoritmos de corrección usados por el centro de datos EOS, siguieron el modelo de la nave espacial y el sensor usando datos generados por computadores a bordo durante la creación de la imagen. La información del sensor, plano focal y detector de alineamiento provistos por el Sistema de Cálculo de Imagen (IAS) en el Archivo de parámetro de Calibración (CPF) es usada también para mejorar la fidelidad geométrica general.

De esta manera el producto que ha sido adquirido esta libre de distorsiones de sensor tales como jitter y efecto de vista de ángulo. Este también esta corregido por distorsiones satelitales

producidas por desviaciones de altitud de nominal y otras distorsiones producidas por la rotación y la curvatura de la tierra. De acuerdo a la información del centro de datos EOS, el error residual en el producto L1G sistemático es de menos de 250 metros (1 sigma) e áreas planas al nivel del mar.

## **CAPITULO - 2 Método de Análisis**

### **2.1 Software y Método de análisis de Datos de Imagen**

El software ERDAS fue usado para el procesamiento de datos de imágenes incluyendo el análisis multi espectral. Sobre la imagen, fue llevada a cabo una clasificación supervisada la cual incluyo la prueba de suelo para el procedimiento de confirmación del muestreo de campo para determinar la exactitud de la clasificación de imágenes. Durante la prueba de suelos, un buen numerote entidades son mapeadas usando un GPS y luego esta información es confrontada con la clasificación de imagen. Las correcciones correspondientes son hechas. También fue usado el software IRWIS para el análisis de datos.

### **2.2 Procesamiento de Datos de Imagen**

#### **(1) Corrección de Imagen y Georeferenciación**

Como se menciona anteriormente, las imagines corregidas mediante el pre-proceso de tipo 1G fueron procesadas con georeferenciacion de un mapa auxiliar que cubra toda el área de estudio usando un total de 32 puntos de control que son fácilmente identificables y verificables. En el proceso de georeferenciacion se obtuvo un error cercano a cero al combinar, el cual determino un tamaño en píxeles de 29.8 metros. Cuando se compara con el tamaño en píxeles de las imagines del LANDSAT (30 m), esto muestra que el ajuste de georeferenciacion es logrado. Las imágenes tienen datos de georeferencia de acuerdo a los mapas IGAG acerca de la hoja de mapa 208, 209, 227, 228, 246 y 247 a una escala de 1 : 100.000.

#### **(2) Composición de la Banda**

Como parte de la primera fase, fueron producidas unas series de composiciones de banda del LANDSAT ETM en Color Falso. En las figuras 1, 2, y 3 se presentan algunas combinaciones, las cuales permiten resaltar algunas características de imagen. La Figura 1 presenta composición de RGB: 453 que permite identificar claramente los cuerpos de agua de las imágenes tales como: San Rafael, Tominé, Neusa y el reservorio del Sisga, así como también es claro el contorno del canal del río Bogotá el cual atraviesa la Sabana de Bogotá. Esta combinación de banda solicitada también resalto reservorios más pequeños tales como La Regadera y Chisacá y la laguna de Los Tunjos.

La Figura 2 presenta una composición de banda de RGB: 457 en la cual las estructuras geomorfológicas y el uso del suelo son resaltados. Dentro de los patrones presentados en esta composición se identificaron áreas de suelos descubiertos, región con cultivos tradicionales y cultivos de pasto. En esta combinación la vegetación aparece en un color rojo brillante, las áreas urbanas aparecen como parches de color azul oscuro y los suelos descubiertos aparecen en tonalidades de color azul claro y gris.

Es importante el contraste resaltado que es obtenido de los contornos geológicos a través de esta combinación de banda, donde es fácil trazar fracturas y/o fallas donde domina la geología regional del área de estudio sin ninguna duda.

La Figura 3 presenta una imagen de acercamiento con combinación de banda de RGB: 453

para el área de la ciudad de Bogotá. Allí hay unas pocas áreas de vegetación dentro de la ciudad. Así como el contorno del río Bogotá, el área de la ciudad esta claramente identificada. Usando las imagines satelitales recientes, se observo que el curso del río Bogotá fue desviado con el fin de construir la segunda pista de aterrizaje del Aeropuerto Internacional del Dorado, sin embargo esta desviación no apareció en la cartografía IGAC.

### **CAPITULO - 3 Mapa de Cubrimiento de Tierra y Análisis del uso del Suelo**

#### **3.1 Clasificación No Supervisada**

Para las imagines satelitales del LANDSAT TM, King – Benayas y Pope (1995) propusieron usar la banda TM4 para determinar la densidad de vegetación, la banda TM3 para dejar el cubrimiento, porque esta banda presento una relación inversa con el contenido clorofílico. Del mismo modo estos autores presentaron la banda TM5 y la banda TM7 como bandas con información acerca de la biomasa inerte y con una señal muy clara y especifica para los suelos despejados.

Para lo expuesto previamente, de todas las composiciones de bandas llevadas a cabo, la correspondiente a la composición de Color Falso de RGB: 453 fue escogida para al proceso de clasificación de cubrimiento de tierra ya que esta presento un fuerte contraste entre los diferentes usos y cubrimientos de tierra. En esta combinación de banda los muestreos para separar los cubrimientos de tierra del área de estudio fueron llevados a cabo. Los métodos de clasificación de Mahalanobis y Probabilidad Máxima fueron usados en este proceso y se determino que el mejor resultado de la clasificación fue llevado a cabo con el método de clasificación de Probabilidad Máxima, ya que este luce más conciso.

Como es mostrado en la Tabla 3.1, 16 tipos de cubrimiento de tierra fueron separados para la clasificación y sobre los resultados de el mismo grupo con mínimo 1000 píxeles fueron seleccionados y cada clase fue escogida de tal modo que esta estuviera compuesta por al menos 5 grupos. Para cada grupo de graficas bidimensionales se hizo una revisión por banda para verificar que eran concisos y que no se cruzaban con otros cubrimientos. Allí existían algunos problemas de separación entre los cubrimientos de invernaderos, nubes y centros poblados así como también entre la vegetación de páramo y la de paja. Sin embargo, estos inconvenientes durante la clasificación no supervisada fueron resueltos usando puntos de control de campo.

**Tabla-3.1 Legenda del cubrimiento de suelos por la clasificación supervisada**

Bn: Bosque Nativo	Bp: Bosque Plantado
K: áreas de Pozos o explotación de minas	Cp: Centros Poblados
Ca: Cuerpos de agua	Ct: Cultivos Transitorios
Iv: Invernaderos	Mr: Maleza y Matorrales
Mpc: Matriz de pasto y cultivo	Pj: Pajonales
PP: Pasto y Paja sobre suelos erocionados	Pm: Pasto cultivado
Sd: Suelo despejado	Va: Vegertacion Acuática
Vp: vegetación de páramo	Clase No Clasificada

Por otro lado, durante el proceso de clasificación la información de otro LANDSAT y SPOT (1995) fue usada para reemplazar y/o complementar la información en los píxeles que fueron cubiertos por nubes.

### **3.1 Verificación en Campo**

Basándose en la impresión a escala 1 : 100.000 de composición de banda RGB: 457, cuatro primeras de suelo fueron llevadas a cabo para verificar la separación inicial de los cubrimientos usando la clasificación de los datos ERDAS.

Durante la verificación de campo la información fue obtenida para los cubrimientos resaltados iniciales usando un GPS con una precisión de 9 metros. Ya que la mínima precisión requerida para cartografiar a una escala de 1 : 1000.000 es de 50 m y la precisión del GPS es de 9 metros, estaba garantizado que la precisión durante las verificaciones de campo estaban dentro de los estándares precisos para trabajos de cartografía.

Durante la verificación fueron tomados en cuenta cerca de 56 puntos en los campos dentro de 4 rutas diferentes para se distribuidas así:

- Ruta No. 1: Esta ruta parte de Fusagasuga a Girardot y Retorna a Bogota a través de la Carretera La Mesa Mosquera rodeando la Cuchilla Peñas Blancas.
- Ruta No. 2: Esta ruta es a través de la carretera Vía al Llano, pasando por Gacheta hasta guayabetal en el arroyo Perdices.
- Ruta No. 3: Comienza en la Autopista Central del norte yendo hasta el cruce a Sesquile y desde esa parte hacia la Laguna del Suesca hasta salir por Ubate, Zipaquirá, Tabio y Tenjo.
- Ruta No. 4: Comienza en Siberia llegando a Villeta y Guaduas.

Como se puede apreciar, estos viajes de campo fueron programados en dicha ruta de los puntos de control no solamente para cubrir la Sabana de Bogotá sino también las regiones aledañas al área de clasificación donde se permitió tener un control regional sobre las estructuras de tipo geomorfológico principales.

### **3.2 Descripción de las Clases Finales**

**BOSQUE NATIVO:** Este corresponde a la vegetación nativa que ha sido poco intervenida. Este se encuentra localizado en áreas de difícil acceso o en el área protegida. La siguiente imagen presenta vegetación de esta clase.



**BOSQUE SEMBRADO O PLANTADO:** Este corresponde a áreas de bosque plantado compuesto por especies exóticas tales como: gomero, ciprés y especialmente el pino patula.



**POZOS:** Este corresponde a áreas de explotación minera donde son extraídos materiales para construcción.

**CENTROS POBLADOS:** Estos corresponden a las áreas urbanas o establecimientos humanos y carreteras. También están incluidos en esta clase pequeñas áreas sin vegetación que están a los lados de las carreteras principales.

**CUERPOS DE AGUA:** Este corresponde a lagunas, reservorios áreas de inundaciones y ríos.

**CULTIVOS TRANSITORIOS:** Este corresponde a áreas con cultivos de papa, trigo, cebada, varios granos y otros cultivos de clima frío.

**INVERNADERO:** Este corresponde a áreas con invernaderos para cultivos de flores.



**MATORRALES:** Este corresponde a áreas con pequeños árboles y maleza sobre los lados de la colina.



**PASTO Y MALEZA:** Este corresponde a áreas donde hay rotación de cultivos y donde hay tierras de pastoreo de ganado bovino, y del mismo modo, incluye áreas muy pequeñas con maleza, y bosques descuidados y /o plantados.

**PAJA:** Este corresponde a paja que crece sobre las rocas áridas, suelos secos o muy pobres en nutrientes.

**PAJA Y PASTOS SOBRE SUELOS EROSIONADOS:** Este corresponde principalmente a pastos y pajas sobre suelos erosionados debido principalmente a los deslizamientos de terrazas. Esta se caracteriza por ser vegetación delgada.

**PASTO PARA GANADO:** Este corresponde a tierra cubierta por pasto Kikuyo bien conservado el cual es dedicado al pastoreo de ganado bovino para producción de leche.

**SUELOS DESPEJADOS:** Este corresponde a áreas sin vegetación que no están clasificadas como centro poblados. Estas se caracterizan porque presentan procesos regulares de erosión tales como la erosión de barrancos.

**VEGETACION ACUATICA:** Este corresponde a macrophyte. Esta unidad esta presente en reservorios eutróficos, tierras húmedas y ciénagas.

**VEGETACION DE PARAMO:** Este corresponde a cubrimientos localizados a cerca de 3000 metros sobre el nivel del mar con vegetación como el frailejón, paja y musgo, los cuales están caracterizados por ser grandes productores de agua.



### **3.3 Resultados de clasificación**

La Figura 4 presenta los resultados de la clasificación supervisada llevada a cabo sobre las imágenes del LANDSAT 7. Como se puede apreciar en esta figura, el cubrimiento de tierra es principalmente: matriz de pasto y cultivos, maleza y matorral, paja y áreas urbanas las cuales obviamente tienen su máxima representación en la ciudad de Bogotá.

En el mapa de cubrimiento de tierra se puede apreciar que las áreas cubiertas por bosques nativos son mínimas y donde este ha sido remplazado se ha hecho en mayor parte por bosques plantados y por matorrales y maleza. Del mismo modo se aprecia que aun existen áreas específicas con vegetación de páramo las cual es indispensable para la producción y protección de fuentes de agua superficiales encaminadas a los esfuerzos para la protección de los recursos naturales.

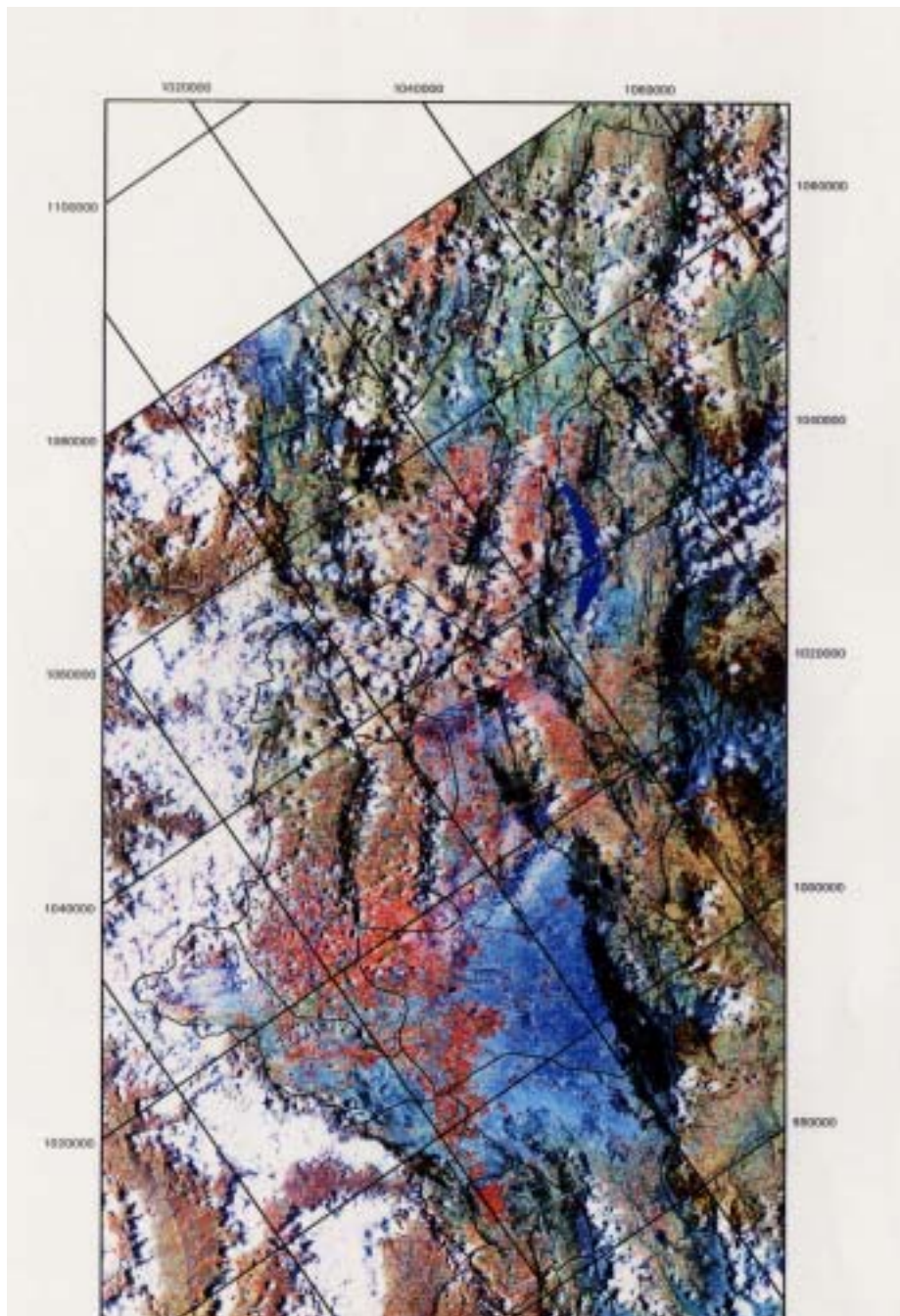
Por otro lado, este mostró que la vegetación acuática de clase macrophyte estaba representada básicamente por el Reservorio Muña a pesar de un cuerpo de agua. Este esta completamente eutrofiado y sus aguas fueron cubiertas por vegetación del tipo Buchón. Aunque existen otros cuerpos de agua (especialmente algunas lagunas) que fueron eutrofiados, en la Sabana de Bogotá, estos no representan un grupo de gran tamaño y por lo tanto están mezclados con otras clases.

Era importante que el resultado de la clasificación fuera la discriminación de invernaderos debido a la señal espectral similar a la del suelo despejado y áreas escondidas por nubosidades. Por lo tanto fueron identificados y diferenciados con la ayuda de puntos de control de campo. Esta clase era importante ya que esto podría representar un reflejo del uso excesivo en estas

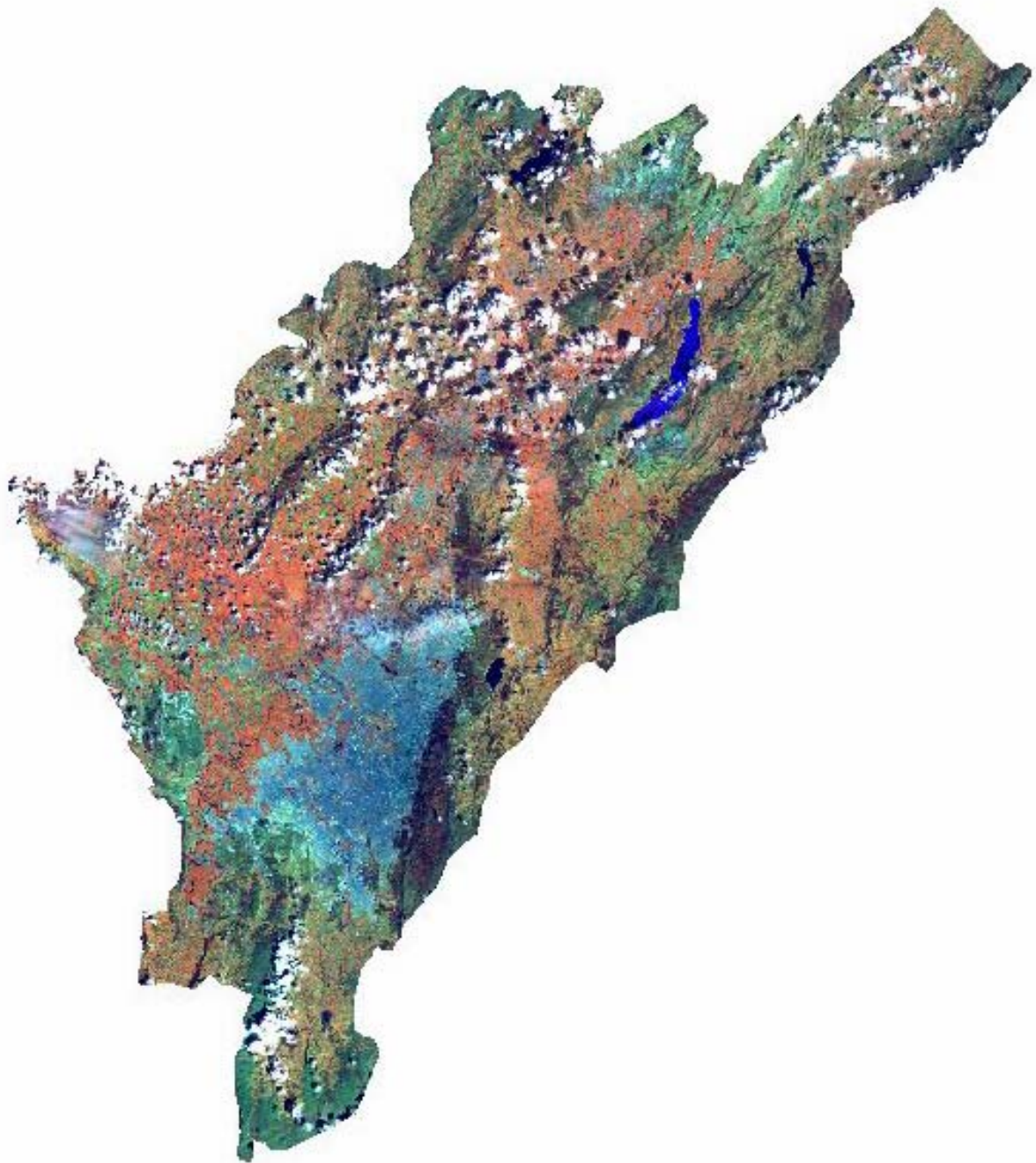
áreas de agua subterránea con el propósito de la irrigación de cultivos. El siguiente es un resumen del histograma en cada una de las áreas de cubrimiento de tierra mostradas en la Tabla 3.2.

**Table-3.2 AREA OF EACH DISCRIMINATED COVER CLASS**

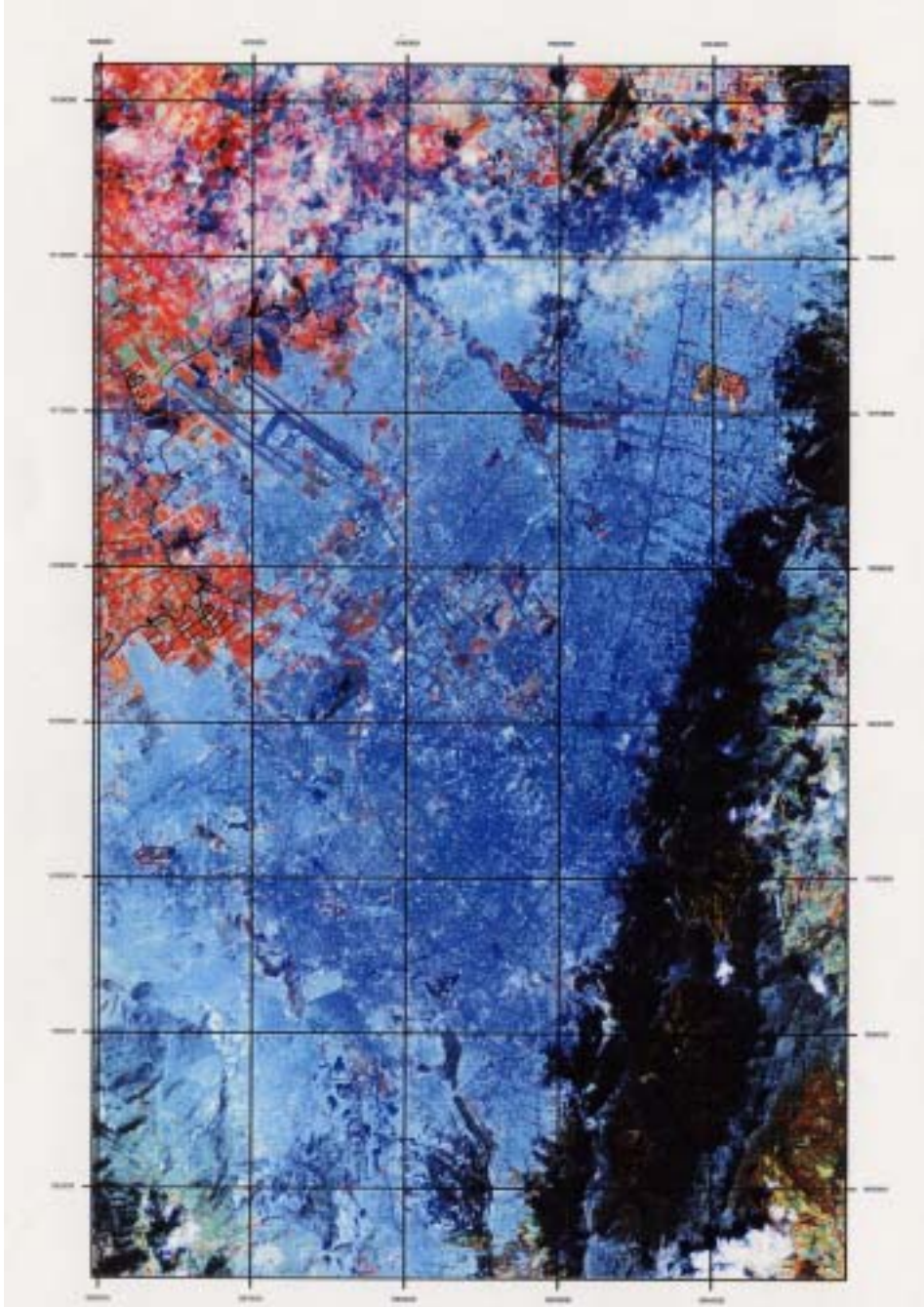
CLASE	Conteo De Píxeles	AREA (m2)
Bosque Nativo	187581	168822900
Bosque Plantado o Plantaciones de bosque	19172	17254800
Maleza y Matorrales	715626	644063400
Pasto alto	461930	415737000
Pasto	152212	136990800
Cultivos temporales	43852	39466800
Matriz de Pasto y Cultivos	613161	551844900
Matriz de pasto, cultivos y maleza	1251723	1126550700
Vegetación Acuática	7195	6475500
Vegetación de páramo	336842	303157800
Suelo Desnudo	272821	245538900
Pasto y Hierva alta sobre suelo despejado	208915	188023500
áreas urbanas o centros poblados	333448	300103200
Invernadero	79408	71467200
Cuerpos de agua	43995	39595500
Minas y pozos abiertos	387	348300



**Figura-3.1 Composición de Bandas de RGB: 453**



**Figura-3.2 Composición de Bandas RGB 457**



**Figura 3.3 Zoom para la Ciudad de Bogotá de Composición de Bandas de RGB:453**

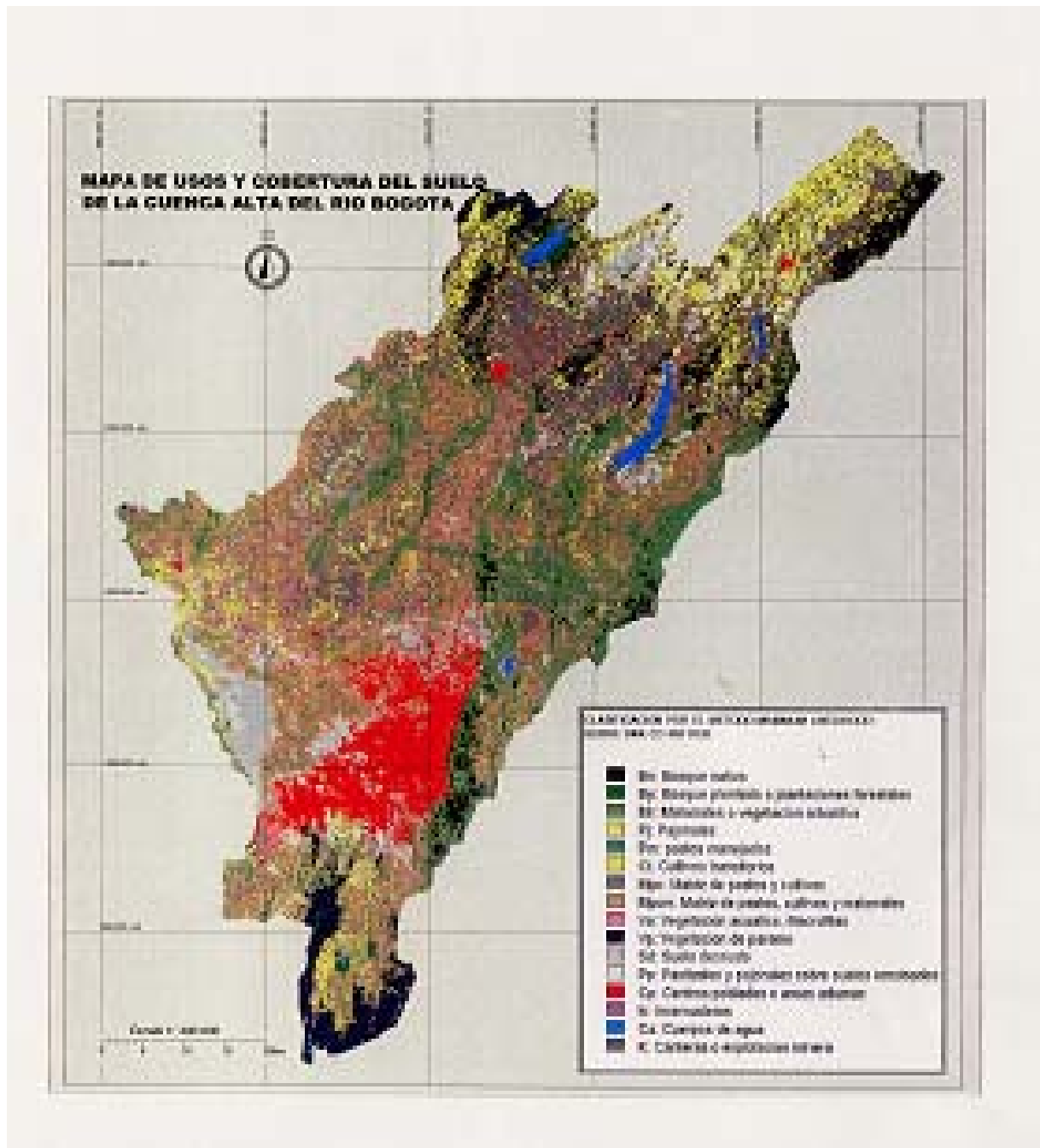


Figura-3.4 Imagen de Clasificación de Uso del Suelo