

**ELABORACION DE UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES Y  
DELIMITACION DEL TIPO DE VEGETACION PRESENTE EN LA CUENCA  
SUPERIOR DEL RIO DE ORO.**

**José Luis Salazar Mesa  
Deivis Orlando Quitian Rojas**

**Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas  
Escuela de Ingeniería Civil  
Bucaramanga  
2009**

**ELABORACION DE UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES Y  
DELIMITACION DEL TIPO DE VEGETACION PRESENTE EN LA CUENCA  
SUPERIOR DEL RIO DE ORO.**

**José Luis Salazar Mesa  
Deivis Orlando Quitian Rojas**

**Trabajo de grado para optar el título de  
Ingeniero Civil**

**Directora:  
Sully Gómez Isidro  
Ing. Civil, M.sc., PhD**

**Co-director  
Jorge Eduardo Pinto Valderrama  
Geólogo**

**Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas  
Escuela de Ingeniería Civil  
Bucaramanga  
2009**

A mi madre Cecilia y a mi padre Luis, por creer y apoyar mis sueños...

A mis hermanos y demás familiares por su respaldo...

A mis amigos y a todas aquellas personas que creyeron en mi trabajo...

**JOSE LUIS**

A DIOS...

A mis padres por su apoyo e inagotable paciencia...

A mi familia por su respaldo...

A mis amigos por su ayuda estos años...

A Laura por su amor...

**DEIVIS**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresamos sinceros agradecimientos a nuestros padres por su continuo apoyo en nuestra etapa de formación personal y profesional, de igual forma a nuestras familias, profesores y amigos por su confianza.

Al profesor Jorge Eduardo Pinto por sus aportes y colaboración, al Grupo de Predicción Hidroclimática en especial a la Ingeniera Sully Gómez Isidro por su apoyo y dirección en la elaboración de este trabajo.

A los Ingenieros Eymard Blanco y Javier Gualdron por su valiosa colaboración.

Igualmente queremos agradecer a entidades como la CDMB, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi por su colaboración e información suministrada.

## Tabla de Contenido

INTRODUCCION .....	1
1 UBICACIÓN Y DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA SUPERIOR RIO DE ORO .....	3
1.1 LOCALIZACION.....	3
1.2 HIDROGRAFIA .....	4
1.3 RELIEVE, CLIMA Y VEGETACION DE LA CUENCA RIO DE ORO .....	4
1.4 GEOLOGIA.....	5
1.4.1 Geomorfología.. .....	5
1.4.2 Litoestratigrafía. ....	7
2 REVISION Y ANÁLISIS DE LA INFORMACION UTILIZADA .....	10
2.1 MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES .....	10
2.1.1 Cartografía. ....	11
2.1.2 Información Misión STRM.....	11
2.1.3 Software ArcVIEW. ....	12
2.2 CLASIFICACION SUPERVISADA COBERTURA VEGETAL Y USO ACTUAL DEL SUELO.....	13
2.2.1 Principios Físicos de Teledetección .....	14

2.2.2	Imágenes Landsat.....	16
2.2.3	Software SPRING .....	18
2.3	CLASIFICACION COBERTURA VEGETAL Y USO ACTUAL DEL SUELO UTILIZADA .....	19
2.3.1	Zona Urbana.....	22
2.3.2	Cultivos Mixtos.....	22
2.3.3	Cultivos Semi- permanentes.....	22
2.3.4	Pastos Naturales.....	22
2.3.5	Cultivos- Pastos- Rastrojos.....	22
2.3.6	Caña caracolí.....	22
2.3.7	Bosque Secundario.....	22
2.3.8	Rastrojo.....	23
2.3.9	Bosque Plantado.....	23
2.3.10	Pajonales .....	24
2.3.11	Vegetación de Paramo.....	24
2.3.12	Erosión.....	24
3	MANEJO DE LA INFORMACION .....	25
3.1	GENERACION DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES .....	25

3.1.1	Elaboración del Modelo Digital de Elevaciones MDE a Partir de la Cartografía.....	25
3.1.2	Modelo digital de Elevación con Información SRTM.....	28
3.2	METODOLOGÍA PARA CLASIFICACION DE LA VEGETACION EN LA CUENCA SUPERIOR RIO DE ORO A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES.....	31
3.2.1	Etapa de Recolección y Análisis de la Información.....	31
3.2.2	Etapa de Tratamiento de Imágenes.....	33
3.2.3	Etapa de Clasificación Supervisada.....	33
4	ANALISIS DE RESULTADOS.....	40
4.1	ANALISIS Y VALIDACION DE RESULTADOS MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES A PARTIR DE LA CARTOGRAFIA.....	40
4.1.1	Modelo Digital de Elevaciones Cuenca Superior Rio de Oro.....	44
4.2	ANALISIS Y VALIDACION DE RESULTADOS CLASIFICACION SUPERVISADA.....	46
	CONCLUSIONES.....	62
	RECOMENDACIONES.....	64
	BIBLIOGRAFIA.....	66

## Lista de Tablas

Tabla 1. Características de las Bandas ETM .....	17
Tabla 2. Clasificación Uso Actual del Suelo y Cobertura Vegetal .....	21
Tabla 3. Parámetros para la definición de un sistema de coordenadas de proyección en ArcView GIS. ....	30
Tabla 4. Características de la Imagen Landsat ETM+ 2003-01-04 .....	31
Tabla 5. Puntos Georreferenciados IGAC .....	41
Tabla 6. Resultados calculo Error Medio Cuadrático .....	43
Tabla 7. Matriz de Confusión del Tema .....	48
Tabla 8. Matriz Confusión Bosque Secundario .....	49
Tabla 9. Matriz Confusión Cultivos_Pastos_Rastrojo .....	50
Tabla 10. Matriz Confusión Cultivos Semipermanentes .....	50
Tabla 11. Matriz Confusión Pasto Natural .....	51
Tabla 12. Matriz Confusión Rastrojo .....	51
Tabla 13. Matriz Confusión Vegetación Especial.....	52
Tabla 14. Matriz Confusión Vegetación Paramo.....	52
Tabla 15. Matriz Confusión Zona Urbana .....	53
Tabla 16. Áreas de clasificación obtenidas en cada grupo .....	53
Tabla 17. Datos Puntos Tomados en Campo .....	57

## Lista de Figuras

Figura 1. Cartografía Cobertura Vegetal y Uso actual del Suelo .....	20
Figura 2. Modelo Digital de Elevaciones Información SRTM .....	29
Figura 3. Firma Espectral Típica Vegetación .....	32
Figura 4. Imagen en falso color y Geo-referenciada .....	34
Figura 5. Fase de Entrenamiento.....	35
Figura 6. Cartografía Utilizada para la Validación.....	41
Figura 7. Modelo Digital de Elevaciones Definitivo para la Cuenca .....	45
Figura 8. Mapa Definitivo Maxver Umbral 100%.....	46
Figura 9. Áreas de Clasificación Obtenidas .....	55
Figura 10. Porcentaje de Área representativo a cada Tema.....	56

## **Lista de Anexos**

**ANEXO A:** MANUAL DE PROCESAMIENTO PARA ELABORACION DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACION EN SOFTWARE ArcView GIS 3.1

**ANEXO B:** MANUAL DE PROCESAMIENTO PARA ESTUDIO DE CUENCAS BASADO EN ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES EN EL SOFTWARE SPRING 5.0.4.

## RESUMEN

### TITULO:

ELABORACION DE UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES Y DELIMITACIÓN DEL TIPO DE VEGETACION PRESENTE EN LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO DE ORO\*.

### AUTORES:

QUITIAN ROJAS DEIVIS ORLANDO, SALAZAR MESA JOSE LUIS\*\*.

### PALABRAS CLAVES:

Rio de Oro, Modelo Digital de Elevaciones, Misión Topográfica de Radar, Imágenes Landsat, Cobertura vegetal.

### DESCRIPCION:

Los objetivos de este proyecto fueron elaborar el Modelo digital de Elevaciones y la Clasificación Supervisada de la Cobertura Vegetal de la Cuenca Superior Rio de Oro. El desarrollo del Modelo Digital de Elevaciones se realizó a partir de la información cartográfica disponible en escala 1:25000 con curvas de nivel cada 50 metros, el modelo se genero con un tamaño de celda de 30x30 metros usando el interpolador de la Red Irregular de Triángulos y se obtuvo un Error Medio Cuadrático de 5.07 metros. Se elaboro un Modelo a partir de la información de la Misión Topográfica de Radar el cual no pudo ser validado ya que se encuentra referenciado al Geoide Internacional.

La Clasificación Supervisada fue realizada a partir de imágenes Landsat 7 ETM+, la información contenida en cada una se encuentra distribuida en 8 bandas con diferente longitud de onda. Para nuestra clasificación fueron utilizadas las bandas 3, 4, 5 y la cartografía de cobertura vegetal disponible en la CDMB. La validación del mapa de vegetación obtenido se realizo con el reconocimiento de la zona, a través de observaciones de campo en las cuales se tomaron las coordenadas y material fotográfico de 18 puntos.

---

\* Trabajo de grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directora Sully Gómez Isidro

## ABSTRACT

### TITLE:

DEVELOPMENT OF A DIGITAL MODEL OF ELEVATION AND DELIMITATION OF THE TYPE OF VEGETATION IN THE UPPER BASIN OF THE RIO DE ORO RIVER\*.

### AUTHORS:

QUITIAN ROJAS DEIVIS ORLANDO, SALAZAR MESA JOSE LUIS\*\*.

### KEY WORDS:

Rio de Oro, digital model of elevations, topographic mission of the radar, Landsat images, vegetal coverage.

### DESCRIPTION

The objectives of this project were, elaborate a digital model of elevation and the supervised classification of the vegetal coverage in the upper basin of the Rio de Oro River. The development of the digital model of elevations was realized by the cartographic information available in the 1:25000 scale with level curves each 50 meters, the model was generated with cells sizes 30x30 meters using the Irregular Triangle Network interpolator and a quadratic medium mistake of 5.07 meters was obtained. A model was elaborated from the information of the Topographic Radar Mission. That couldn't be validated because it is referenced to The International Geoid.

The supervised classification was realized from Landsat images 7 ETM+, the information in each one is distributed in 8 bands with different wave-lengths. For our classification were used 3, 4 and 5 bands and the cartography of the vegetal coverage available in the CDMB. The validation of the obtained vegetation map was done with the recognition of the zone, through the field observations, in which the coordinates and the photographic material from 18 points were taken.

---

\* Graduation Project

\*\* Faculty of Engineerings Physicist Mechanics. School of Civil Engineering. Director Sully Gómez Isidro

## INTRODUCCION

El estudio realizado en este proyecto busca construir dos herramientas que luego serán utilizadas para generar el Modelo Hidrológico de la Cuenca Superior Rio de Oro el cual recopilara toda la información perteneciente a la cuenca. En primer lugar se generara el Modelo Digital de Elevaciones a partir de la cartografía digital existente y de información adquirida del Lanzamiento de la Misión Topográfica de Radar de la nasa esto se hará manipulando el Software ArcView 3.1 y algunas de sus extensiones, en segundo lugar se obtendrá la Clasificación Supervisada de la Cobertura Vegetal y el Uso actual del Suelo a partir de Imágenes Landsat 7 ETM+ utilizando el Software SPRING 5.0.4.

Las primeras partes del documento se dedican a analizar características propias de la cuenca tales como la localización, la geología, el clima y la hidrología, además de revisar y analizar la información con la cual se va a trabajar cada modelo. En el caso del Modelo Digital de Elevaciones se analizo y describió la Cartografía digital existente y la información proveniente del Lanzamiento de la Misión Topográfica de Radar con la cual serán desarrollados los modelos.

Para desarrollar la Clasificación Supervisada de la Cobertura Vegetal se utilizaron Imágenes Landsat 7 ETM+ las cuales fueron obtenidas de la nasa de forma gratuita, estas imágenes permiten realizar análisis multiespectrales gracias a que poseen 8 bandas con información diferente.

El capítulo 3 está constituido por el desarrollo de las metodologías utilizadas para la generación de cada una de las herramientas, para cada modelo se analiza el procedimiento que se debe seguir para ser generado en cada software.

La parte final del informe comprende la validación de los resultados obtenidos, para el Modelo Digital de Elevaciones se muestra el cálculo del Error Medio Cuadrático aplicado a cada uno de los modelos generados a partir de la cartografía para esto se utilizarán puntos geo-referenciados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Por otra parte el resultado obtenido de la Clasificación Supervisada será verificado a partir de información recopilada en campo por medio de un registro fotográfico.

# **1 UBICACIÓN Y DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA SUPERIOR RIO DE ORO**

“La Cuenca Superior del Río de Oro (CSRO) forma parte de la Cuenca del Río de Oro y se encuentra enmarcada hidrológicamente por la Cuenca Superior del Río Lebrija (CSRL), se encuentra localizada sobre el Macizo de Santander, conformado por rocas ígneas metamórficas, preferencialmente por el Neis de Bucaramanga, el cual se encuentra altamente meteorizado por los efectos del sistema de la Falla de Bucaramanga - Santa marta.

## **1.1 LOCALIZACION**

La CSRO se localiza en el extremo norte del departamento de Santander, sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental, al sur del Área Metropolitana de Bucaramanga y al oriente del municipio de Piedecuesta, entre las coordenadas Gausianas 1'115.000 a 1'125.281 Este y 1'262.761 a 1'278.305 Norte con origen en Bogotá. Posee alturas sobre el nivel del mar que van desde los 3500 m.s.n.m. en el alto el Picacho hasta los 1100 m.s.n.m en la estación Conquistador sobre el Río de Oro. Limita al norte con la micro cuenca del Río Tona, al nororiente con la mesa de Berlín y el Río Manco, al sur occidente con la subcuenca del Río Oro Medio y al occidente con las micro cuencas de Río Frio y Lato. La micro cuenca tiene un área aproximada de 80 km<sup>2</sup> y constituye la base principal de suministro de agua para el municipio de Piedecuesta junto con el Rio Lato.

## **1.2 HIDROGRAFIA**

El Río de Oro nace a una altura de 3500 m.s.n.m con aportes de las microcuencas de la Quebrada Santa Rita, Colepato, Rasgón y Sevilla. Sobresale como punto de referencia (divisoria de aguas) el sitio conocido como El Picacho, localizado en el km. 50 de la vía Bucaramanga – Pamplona. El Río de Oro corre inicialmente al sur, gira en forma de U cambiando su dirección al norte, aguas abajo del área urbana del municipio de Piedecuesta, el río recibe a la quebrada Grande, Sorata y el río Lato. En la zona del municipio de Girón recibe las aguas del río Frio, quebrada la Iglesia, Chimita y las corrientes de la escarpa de la meseta de Bucaramanga; para luego unirse con el Río Suratá para formar el Río Lebrija.

## **1.3 RELIEVE, CLIMA Y VEGETACION DE LA CUENCA RIO DE ORO**

El relieve presenta un sector nororiental montañoso con paisaje de cordillera y fuerte pendiente, separado por la falla de Bucaramanga, de una zona suroccidental conformada por plataformas con topografías suave y ondulado en estado avanzado de erosión. Este relieve montañoso y variado crea una gran cantidad de microclimas, siendo la altura promedio 1735 m.s.n.m., la temperatura media es de 18°C, y la precipitación media multianual; de acuerdo a la distribución de isoyetas de 1475 mm. El 50 % del área se encuentra dentro del piso pre montano o clima medio, el 35 % se ubica dentro de la vida del bosque húmedo pre montano, y el 15 % dentro de la zona de vida de bosque húmedo montano bajo.

En la zona se presenta un sistema bimodal de lluvia con dos periodos secos y dos periodos húmedos, intercalados durante el año, fuertemente influenciado por el movimiento de la zona de convergencia intertropical. El periodo seco inicia a

finales de Diciembre y finaliza a finales de Marzo, mientras el segundo inicia a finales de Junio y finaliza a mediados de Septiembre. La precipitación es de tipo orográfica y convectivo. Las masas de nubes viajan desde el valle del Magdalena Medio hacia el oriente donde la mesa de Lebrija (1100 m.s.n.m) actúa a manera de cortina ocasionando que únicamente las masas altas de nubes saturadas logren superarlo. Estas masas de nubes al encontrarse con la cordillera oriental, producen mayor pluviosidad, mientras que la zona inferior del Río de Oro permanece seca.

## **1.4 GEOLOGIA**

Para el modelo hidrogeológico se requiere identificar todos los aspectos geológicos, estructurales y morfológicos que actúan en la región y que son indispensables para la identificación y ubicación de acuíferos y zonas de recarga que condicionan el modelo hidrológico.

**1.4.1 Geomorfología.** La geomorfología representa las características más generales del área estudiada y su análisis puede revelar rasgos sobre el patrón de escorrentía, los ámbitos morfológicos relacionados con áreas dispuestas para la recarga, transito y descarga del agua subterránea.

Dentro de nuestra zona de estudio encontramos en la zona de El Picacho la depresión sinclinal de El Picacho, que es un pliegue muy amplio cuyo eje tiene una dirección NW-SE y el núcleo lo constituye areniscas cuarzosas de la formación Los Santos. De igual forma se puede observar una cima anticlinal donde se evidencia un pliegue constituido por las areniscas compactadas de la misma formación.

En la zona de El Picacho se exhiben escarpes con pendientes abruptas, casi verticales, relacionados con fallamientos muy activos regionalmente.

Se identifican facetas de falla que muestran la presencia de fallas como son la Falla Sevilla y la Falla Río de Oro. La presencia de la silla de falla sobre la vereda Granadillo, identifica el trazo de las falla Mensulí.

En el sector del Peaje del Picacho se identifican zonas de depresiones carsticas sobre la formación Rosablanca. Sobre la misma zona se pueden encontrar pendientes de denudacionales, con un alto grado de disolución de la formación Rosablanca.

**1.4.2 Litoestratigrafía.** Sobre la zona de la cuenca se encuentran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias con edades que se han reportado desde el Precámbrico hasta el Cretácico inferior, este conjunto se encuentra cubierto parcial y discontinuamente por depósitos sedimentarios de edad reciente y origen diverso. Las rocas metamórficas comprenden el Neis de Bucaramanga considerado de edad proterozoico y la Formación Silgara de edad paleozoica; las rocas intrusivas son preferiblemente cuarzomonzonitas (La Corcova y Santa Bárbara) del jurasico y cortan la secuencia metamórfica. El conjunto de rocas sedimentarias comprende la formación Girón del Jurásico Tardío y las formaciones cretácicas: Los Santos y Rosablanca.

**1.4.2.1 Neis de Bucaramanga (pEb).** Constituye la parte basal del Macizo de Santander, se identifican rocas metamórficas de alto grado y origen sedimentario, consiste en rocas de alto grado de metamorfismo que abarcan fundamentalmente tres tipos composicionales: Neis biotítico, Neis anfibólico, en menor grado Neis cuarzofeldespatico y migmatitas. En nuestra cuenca podemos encontrar Neis cuarzofeldespático, hacia el sector SW a la altura de la vía Piedecuesta – Sevilla.

En el Neis de Bucaramanga sobresalen sus pendientes abruptas y un patrón de drenaje subdendritico a sudparalelo. El grado de meteorización de estas rocas es variable pero las de tipo cuarzofeldespatico muestran un grado medio de meteorización, este tipo de roca produce niveles meteorizados de tipo arenoso.

**1.4.2.2 Formación Silgará (pDs).** Corresponde a una secuencia de rocas clásticas metamorfizadas de estratificación delgada. La formación Silgará se presenta en la zona norte de nuestra cuenca limitada por las fallas Río de Oro y Sevilla como fajas discontinuas con orientación NS y se distinguen por presentar una estructura esquistosa bien definida y muy fina. En el sector del la quebrada el Rasgón se encuentra altamente meteorizada, presentando perfiles de suelo, con colores que varían de rojo a naranja; este proceso de meteorización produce

perfiles de suelo con una textura fina y estructura esquistosa. A partir de esta formación se desarrolla un tipo de suelo arenoso arcilloso de color amarillo a naranja y el espesor de suelo puede alcanzar hasta 20 cm.

**1.4.2.3 Cuarzomonzonita de la Corcova (JTRcg).** Aflora en la vereda de Granadillo del municipio de Piedecuesta en dirección NS, donde presenta una topografía de pendiente moderada en esta zona se observan afloramientos de roca cuarzofeldespática de color claro, con un grado alto de meteorización, producto de meteorización mecánica y química, lo que origina la formación de minerales de arcilla, los perfiles de suelo originados por la meteorización, presentan una textura de tipo arenosa.

**1.4.2.4 Cuarzomonzonita de Santa Bárbara (Jcs).** Es de color rosado, rosado naranja a gris violáceo, equigranular. Se presenta hacia la parte alta de la cuenca del Río de Oro, sobre la zona límite con el Paramo de Berlín, esta unidad de roca está afectada por meteorización esferoidal y desarrolla suelos residuales arenosos espesos muy susceptibles a la erosión hídrica.

**1.4.2.5 Formación Girón (Jg).** Se localiza hacia la parte alta de la cuenca del Río de Oro, en el Picacho sobre la vía a Bucaramanga. Esta formación se describe y define por rasgos geomorfológicos y estratigráficos, debido a que en la zona no se presentan afloramientos que permitan definir mejor su unidad. La formación Girón se encuentra constituida por areniscas de grano medio intercalado por limolitas violáceas. Texturalmente se distingue por ser una arenisca mal calibrada, de granos subangulares a redondeadas, muy compacta y con baja porosidad. La formación Girón reposa discordante sobre la formación Silgará y Cuarzomonzonita de Santa Bárbara.

**1.4.2.6 Formación los Santos (Kils).** Se encuentra en el alto el Picacho, compuesto principalmente por cuarzoareniscas blancas, ligeramente gravosa y

conglomeráticas de grano muy grueso a fino, muy compactas con superficies de oxidación en la zona intermedia. También aflora hacia el sector de Llano Adentro, presentándose en contacto fallado por la formación Rosablanca y Silgara, y discordante con la cuarzomonzonita de Santa Bárbara.

**1.4.2.7 Formación Rosablanca (Kir).** Se presenta en el sector del Alto del Picacho y Llano Adentro. Las calizas de la Formación Rosablanca presentan niveles fosilíferos, con conchas fragmentadas distribuidas aleatoriamente, estratificación plano paralela y venas de calcita, intercalados con shales negros carbonosos hacia el tope. Debido a la composición química, tanto de la roca como del agua se observan zonas de alta disolución en las pendientes estructurales ubicada en el sector del Peaje. Igualmente se ubica, en los alrededores del sector del picacho sobre una topografía de considerable altura formando escarpes en algunas zonas y paisajes cársticos en otras. La meteorización es de grado medio – alto, dando como resultado suelos residuales con espesores de materia orgánica de hasta 40 cm.

**1.4.2.8 Depósitos Coluviales o de ladera (Qd).** Son depósitos acumulados, por lo general en la base de escarpes, provienen del desprendimiento de materiales de laderas adyacentes debido a la acción de la fuerza de gravedad. En el sector del Picacho se origina un depósito coluvial localizado hacia la parte baja de las pendientes estructurales, que forman la formación los Santos. En este sector los bloques son angulares, con un diámetro de hasta 2 m, sostenidos por una matriz de tamaño de grano, arena gruesa a grava, con espesor aproximado de 15 m.”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Forero, J.C. Gómez, S., Avance de la aplicación de un Modelo hidrogeológico en la cuenca superior del Río de Oro, Santander. III Congreso Colombiano de Hidrogeología, Bogotá. 2009.

## **2 REVISION Y ANÁLISIS DE LA CARTOGRAFIA, IMÁGENES STRM Y LANDSAT 7 ETM+**

El objetivo de este proyecto es generar el Modelo Digital de Elevaciones a partir de la cartografía disponible a escala 1:25000 y la Clasificación Supervisada de la Cobertura Vegetal y el Uso Actual del Suelo utilizando imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ de la CSRO, los mapas obtenidos serán utilizada para generar el Modelo Hidrológico de la cuenca.

Antes de explicar el proceso de obtención de los mapas se hace necesario especificar que tipo de información se va a utilizar, la forma como esta se va a transformar y algunos temas básicos referentes al tema.

### **2.1 MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES**

Un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) es una estructura discreta de datos que representa una variable distribuida en el espacio. La variable representada puede ser cualquiera que cumpla con el requisito fundamental de la misma, es decir, que se pueda representar espacialmente.<sup>2</sup>

En el presente trabajo se van a desarrollar dos MDE uno a partir de la cartografía existente y otro utilizando información obtenida de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la Nasa, el proceso se llevo a cabo utilizando el software ArcView 3.1 por ser la herramienta disponible.

---

<sup>2</sup> FELICISIMO A.M., Modelos Digitales de Terreno, Oviedo, 1994

**2.1.1 Cartografía.** La información cartográfica necesarias para la construcción del MDE de la Cuenca Superior Rio de Oro se encuentran en formato .dwg (Auto CAD 2008), las planchas digitalizadas a escala 1:25000 están compuestas por puntos, poli-líneas, líneas, arcos, polígonos y splines, las planchas fueron digitalizadas por el Grupo de Investigación GEOMATICA UIS a partir de la cartografía existente en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). La extracción de la información para el Modelo debe desarrollarse con formatos completamente limpios y continuos, es decir, el formato final será un archivo tipo .dxf compuesto de poli-líneas que estarán unidas en toda su extensión longitudinal y libres de cualquier partición.

Para esto es necesario utilizar una herramienta para el manejo y ajuste de archivos digitales. Auto CAD 2008 es una de las mejores alternativas para este procedimiento siendo este el software más utilizado para la limpieza de planchas debido a que las opciones utilizadas son idénticas a las necesarias para la creación de topologías indispensables para generar un Sistema de Información Geográfica.

Las planchas utilizadas fueron digitalizadas en coordenadas planas, con la proyección Gauss-Kruger, el modelo Hayford o internacional y el datum horizontal Bogotá, además las cotas son geoidales referidas al cero oficial Buenaventura (IGAC, 2008).

**2.1.2 Información Misión STRM.** El SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) que significa Lanzamiento de la Misión Topográfica de Radar, tiene como objetivo generar una cobertura tridimensional digital de casi toda la superficie terrestre, basada en mediciones físicas del terreno. El producto digital generado a través de SRTM contiene información a una resolución de 3 arcos de segundo, lo que reditúa en modelos digitales de elevación con una resolución aproximada de 90 x 90 metros y una precisión absoluta altitudinal mínima de unos 12 metros. Sin embargo, y no obstante que los modelos digitales de elevación obtenidos de

SRTM presentan una mayor calidad en cuanto al contenido de la información, no están exentos de presentar problemas para su análisis. El más importante de ellos es la falta de información ocasionada principalmente por la no medición del terreno en zonas donde la pendiente es mayor que el ángulo de incidencia del radar.<sup>3</sup>

Este modelo digital de elevaciones permite la delineación de cuencas hidrográficas, dejando a un lado los métodos aplicados anteriormente y así agilizando la obtención de información que se necesite, por lo que se concluye que el STRM nos ofrece una mejor descripción espacial del terreno.

**2.1.3 Software ArcVIEW.** Es la herramienta de sistemas de información geográfica (SIG) más extendida en el mundo por sus avanzadas capacidades de visualización, exploración, consultas y análisis de información de datos geográficos, además de las numerosas herramientas de integración de datos desde todo tipo de fuentes y herramientas de edición. Igualmente, este software se considera de gran utilidad para estudiantes de diversas especializaciones y para profesionales que manejen información georeferenciada y que deban representar dentro de un entorno espacial georeferenciado la información propia de sus trabajos de investigación o consultoría.<sup>4</sup>

En particular ArcVIEW permite realizar las siguientes funciones:

- Explorar y administrar la información geográfica en múltiples formatos.
- Visualizar y consultar la información geográfica y alfanumérica.
- Crear y mantener los metadatos de la información catalogada

---

<sup>3</sup> NASA/JPL: <http://www.jpl.nasa.gov/strm/>

<sup>4</sup> GOMEZ J.H.; ROJAS E.J; HERRERO E., ArcVIEW GIS Curso Básico- Autoaprendizaje, UIS.

- Crear el modelo de datos apropiado a las necesidades de cada usuario.
- Acceder de manera inmediata a servicios de Internet a través del servidor de aplicaciones ArcIMS.
- Realizar todo tipo de edición gráfica y alfanumérica gracias a su potente y avanzado entorno de edición.
- Realizar tareas de análisis avanzado tanto de los datos geográficos como los alfanuméricos.
- Producir cartografía de muy alta calidad.
- Permitir una personalización rápida y sencilla del entorno de trabajo.
- Acceder a funciones de geoprocésamiento mediante distintos entornos
- Gestionar las propiedades de etiquetado de un mapa desde un entorno centralizado.

## **2.2 CLASIFICACION SUPERVISADA COBERTURA VEGETAL Y USO ACTUAL DEL SUELO**

La clasificación es el proceso de extracción de información en imágenes para reconocer patrones y objetos homogéneos, nuestro estudio consiste en realizar una clasificación pixel a pixel la cual utiliza la información aislada de cada pixel para encontrar regiones homogéneas, para esto se utilizaron las imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ las cuales vienen distribuidas en niveles de grises en varios canales espectrales lo cual permite realizar una clasificación multiespectral.

Para lograr un mejor entendimiento del estudio se reviso la información existente sobre este tema la cual se muestra a continuación.

**2.2.1 Principios Físicos de Teledetección.** Según Newton, la Radiación Electromagnética es una forma de Energía que se propaga en el espacio exterior en forma armónica como ondulaciones transmitidas de un lugar a otro en forma continua a la velocidad de la luz, conteniendo un plano eléctrico ortogonal a otro de carácter magnético. La distancia entre dos ondulaciones sucesivas se denomina longitud de onda ( $\lambda$ ), se mide en unidades métricas de longitud. El número de ondas por unidad de tiempo, se denomina frecuencia ( $f$ ). El producto de  $\lambda$  por  $f$  es una constante igual a la velocidad de propagación de la luz  $C$  ( $3 \times 10^8 \text{m/seg.}$ ). En teledetección se usa la longitud de onda para expresar la forma de la energía utilizada. Los sistemas productores de datos de teledetección para estudio de los recursos naturales utilizan la radiación electromagnética con una única fuente de energía.<sup>5</sup>

Se puede definir cualquier tipo de energía dando su longitud de onda o frecuencia ya que el espectro electromagnético es una sucesión continua de estos valores, aunque conceptualmente se divide en bandas, en las que la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar.

La secuencia en orden ascendente de longitud de onda de las distintas regiones es:

Rayos Gamma – Rayos X – Rayos Ultravioleta – Región Visible – Región Infrarrojo – Microondas – Radio - Audio – Corriente Alterna

La Teledetección ha adoptado algunos límites establecidos según la información proveniente de los objetos como la energía reflejada o emitida, de allí se destaca una serie de bandas como las más utilizadas dada la tecnología actual.

---

<sup>5</sup> PINTO JORGE, Curso de Teledetección Geología, UIS, 2003

**2.2.1.1 Región óptica.** Entre 0.3 y 15  $\mu\text{m}$  corresponde al sector en el cual se utilizan dispositivos ópticos como espejo, lentes o prismas para captar y transformar la Radiación Electromagnética.

**2.2.1.2 Región ultravioleta.** Es la región del espectro de menor importancia en el tratamiento e interpretación de imágenes, debido a la poca cantidad de energía radiante que se puede captar en los sensores.

**2.2.1.3 Región visible.** Entre los 0.4 y 0.7  $\mu\text{m}$ , es la única radiación electromagnética perceptible por el ojo humano. Coincide con la longitud de onda donde es máxima la radiación solar. Se pueden localizar los distintos colores (azul, verde, rojo) en las longitudes.

**2.2.1.4 Región infrarrojo.** Entre 0.7 y 15  $\mu\text{m}$ , es una región de gran utilidad en la discriminación de los objetos naturales, especialmente en el caso de la vegetación ya que su máxima reflectancia tiene lugar en el infrarrojo cercano. En Teledetección el infrarrojo se ha fraccionado en:

- Infrarrojo cercano (0.7 – 1.3  $\mu\text{m}$ ). Es una banda importante para diferenciar la masa de los vegetales y concentraciones de humedad, corresponde al sector donde la estructura de la vegetación gobierna los niveles energéticos captados por los sensores.
- Infrarrojo medio (1.3 – 8  $\mu\text{m}$ ). En esta región se entremezclan los procesos de reflexión de luz solar y de emisión de la superficie terrestre, por lo que existe dificultad en su tratamiento. Corresponde a sectores donde la influencia de la humedad condiciona regiones de transmisión o absorción de radiación electromagnética en las plantas.
- Infrarrojo lejano (8 – 14  $\mu\text{m}$ ). En esta región emiten energía todos los cuerpos de la superficie terrestre. La energía absorbida es almacenada por

los objetos y se manifiesta por un aumento en su temperatura siguiendo el principio según el cual la energía no desaparece sino que se transforma.

**2.2.1.5 Región de las microondas.** Desde 1mm Tiene la propiedad de ser transparente a la cubierta nubosa y lleva asociada muy poca energía

**2.2.2 Imágenes Landsat.** Las imágenes Landsat hacen parte del programa de exploración espacial del Gobierno de los Estados Unidos de América el cual comenzó el 7 de Marzo de 1972 con el lanzamiento del satélite LANDSAT-1 el cual abrió una nueva percepción del planeta con una resolución tanto temporal como espectral desconocida hasta entonces. Landsat 7 es el último de un grupo de satélites lanzados por Estados Unidos. Fue lanzado el 15 de abril de 1999 su meta fundamental es actualizar la base de datos de imágenes de todo el planeta. Landsat 7 fue diseñado para que su vida útil fuese de 5 años, y tiene la capacidad de recolectar y transmitir hasta 532 imágenes por día. Se encuentra en una órbita Heliosincrónica, lo cual significa que siempre pasa a la misma hora por un determinado lugar. Tiene visión de toda la superficie terrestre en un tiempo de 15 días, realizando 232 órbitas. A diferencia de sus antecesores, Landsat 7 posee una sólida memoria de 378 gigabytes capaces de almacenar alrededor de 100 imágenes. El instrumento esencial a bordo del satélite es el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) el cual está equipado con un sensor radiométrico espectral de ocho bandas con capacidad de obtener imágenes de alta resolución; además los satélites Landsat utilizan el “Sistema de Referencia Mundial (WRS)” el cual divide al globo terráqueo en escenas clasificadas por columnas (Path) y filas (Row).<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>

Una imagen LANDSAT 7 ETM+ está compuesta por 8 bandas espectrales que pueden ser combinadas de distintas formas para obtener variadas composiciones de color u opciones de procesamiento. Entre las principales mejoras técnicas respecto de su antecesor, el satélite Landsat 5, se destaca la adición de una banda espectral (Banda Pancromática) con resolución de 15 metros. También, cuenta con mejoras en las características geométricas y radiométricas y una mayor resolución espacial de la banda térmica de 60 m. Estos avances tecnológicos permiten calificar al LANDSAT 7 como el satélite más interesante para la generación de imágenes con aplicaciones directas hasta una escala de 1:25.000, principalmente, en áreas rurales o territorios de grandes extensiones.

**Tabla 1. Características de las Bandas ETM**

<b><i>Banda</i></b>	<b><i>Rango Espectral (<math>\mu\text{m}</math>)</i></b>	<b><i>Líneas de datos por Escáner</i></b>	<b><i>Resolución(m)</i></b>	<b><i>Región</i></b>
<b><i>1</i></b>	<b><i>0.450-0.515</i></b>	<b><i>16</i></b>	<b><i>30</i></b>	<b><i>Visible Azul</i></b>
<b><i>2</i></b>	<b><i>0.525-0.605</i></b>	<b><i>16</i></b>	<b><i>30</i></b>	<b><i>Visible Verde</i></b>
<b><i>3</i></b>	<b><i>0.630-0.690</i></b>	<b><i>16</i></b>	<b><i>30</i></b>	<b><i>Visible Rojo</i></b>
<b><i>4</i></b>	<b><i>0.775-0.900</i></b>	<b><i>16</i></b>	<b><i>30</i></b>	<b><i>Infrarrojo Próximo</i></b>
<b><i>5</i></b>	<b><i>1.550-1.750</i></b>	<b><i>16</i></b>	<b><i>30</i></b>	<b><i>Infrarrojo Lejano</i></b>
<b><i>6</i></b>	<b><i>10.40-12.50</i></b>	<b><i>8</i></b>	<b><i>60</i></b>	<b><i>Térmico Lejano</i></b>
<b><i>7</i></b>	<b><i>2.09-2.35</i></b>	<b><i>16</i></b>	<b><i>30</i></b>	<b><i>Térmico Próximo</i></b>
<b><i>8</i></b>	<b><i>0.520-0.90</i></b>	<b><i>32</i></b>	<b><i>15</i></b>	<b><i>Visible</i></b>

Este satélite dotado de sensores empleados en teledetección fue diseñado con el fin de obtener datos de los recursos terrestres. Con base a esto se diseñaron las resoluciones.

**2.2.3 Software SPRING.** SPRING es un Sistema de Información Geográfica y al mismo tiempo un sistema de tratamiento de imágenes obtenidas mediante percepción remota que realiza la integración de las representaciones de datos matriciales (“estructura raster”) y datos con estructura vectorial en un único ambiente. Este producto fue desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE)/ DPI de Brasil con la cooperación de la Agencia de Investigaciones Agrícola de Brasil (EMBRAP/CNPQ), el centro Latinoamericano de Soluciones para Encino Superior y Pesquisa (IPM Brasil) y el Grupo de Tecnología Gráfica Computarizada (TRCGRAF-PUC Rio). El proyecto SPRING ha recibido la ayuda substancial del CNPq (Agencia Nacional de Investigación y de Desarrollo) con sus programas RHA/E y PROTEM/CC (proyecto GEOTEC). El INPE y sus colaboradores han invertido más de 140 hombres/ año para importantes proyectos en el Brasil, tales como la evaluación multitemporal de la tala de árboles en la selva tropical y la zonificación económica.<sup>7</sup>

#### **2.2.3.1 Objetivos del Proyecto SPRING**

- Construir un sistema de la información geográfica para aplicaciones en agricultura, bosque, gestión ambiental, geografía, geología, planeamiento urbano y regional.
- Lograr un SIG de rápido aprendizaje y extremadamente accesible para la comunidad Brasileña e Internacional.
- Proveer un ambiente unificado de Geoprocusamiento y Percepción Remota para aplicaciones urbanas y ambientales.
- Ser un mecanismo de difusión del conocimiento desarrollado por el INPE y sus socios, bajo forma de nuevos algoritmos y metodologías.

---

<sup>7</sup> [www.dpi.inpe.br/spring](http://www.dpi.inpe.br/spring)

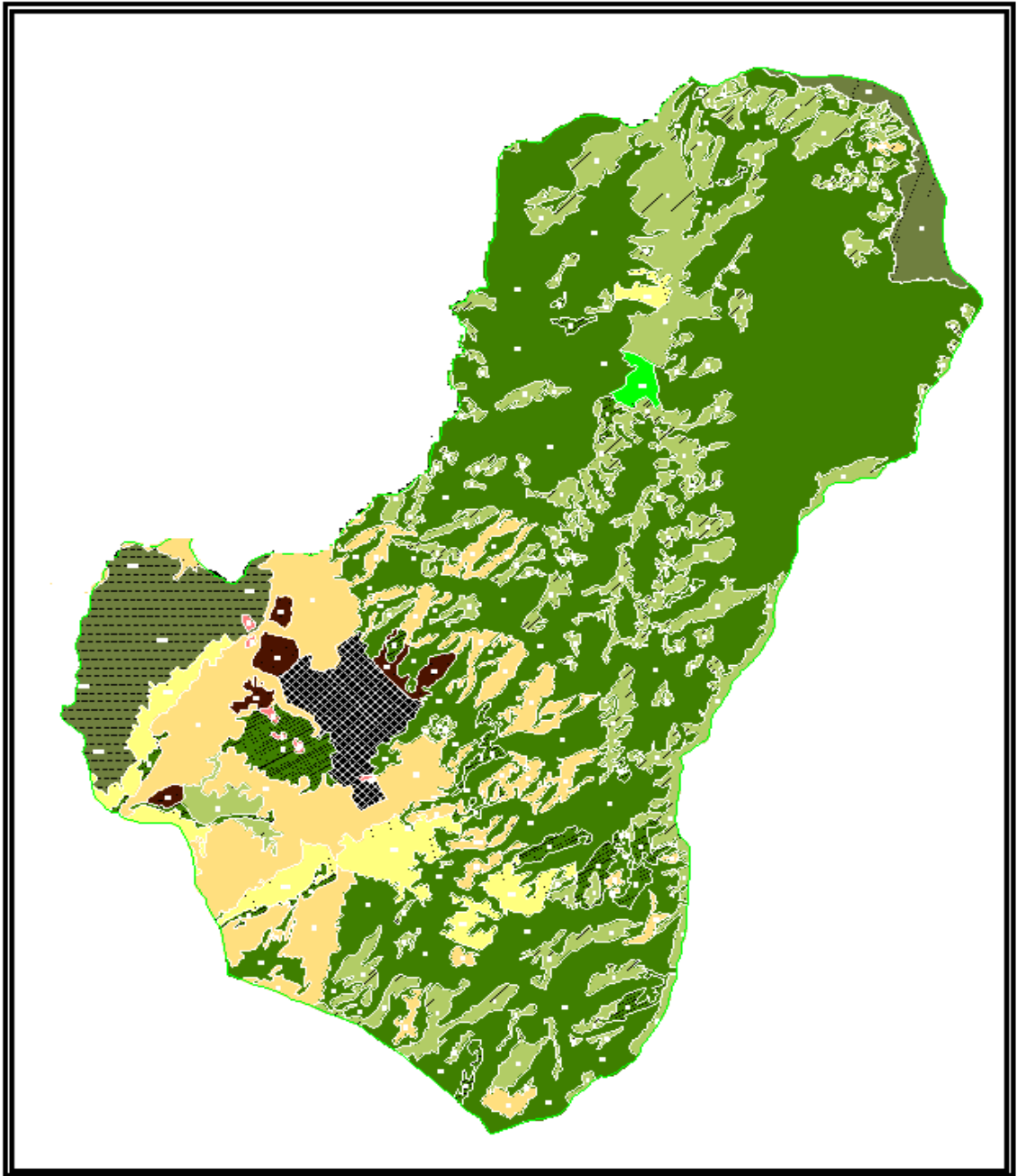
### **2.2.3.2 Características del Software SPRING**

- Utilizar el SIG integrado para aplicaciones ambientales, planificación urbana y socioeconómica.
- Instalarlo en un sistema multiplataforma, incluyendo los sistemas operativos Windows 95/98/NT, Linux, Solaris, etc.
- Entorno unificado para los diferentes datos geográficos y sus representaciones.
- La lectura de imágenes Landsat, Sport, ERS -1 y NOAA y Procedimiento de imágenes, incluyendo registro y correcciones geométricas, mosaicas de imágenes, filtrajes espaciales, transformaciones IHS, operaciones aritméticas, clasificadores estadísticos y por segmentaciones de áreas y cuencas, matrices de confusión, técnicas markovianas de post clasificación de imágenes, entre otras utilidades.
- Modelo Digital del Terreno y Modelamiento de redes.
- Generación y edición de mapas e intercambio de datos.

### **2.3 CLASIFICACION COBERTURA VEGETAL Y USO ACTUAL DEL SUELO UTILIZADA**













Para la clasificación de la vegetación existente en la Cuenca Superior Rio de Oro se adopto la tabla de clasificación de COBERTURAS Y USO ACTUAL DE LAS TIERRAS de la CDMB octubre 2001, que integra metodologías utilizadas en los últimos diez años por IGAC/CIAT, UNESCO, Forero MC, Rangel O, CORTOLIMA, Instituto ALEXANDER VON HUMBOLDT. Esta metodología fue elegida debido a que es el sistema que más conviene para la investigación ya que se trata de una clasificación para efectos de un plan de manejo ambiental de reforestación y mantenimiento de la cobertura vegetal para el área de la cuenca en estudio. Además también fue tomada la cartografía referida al USO ACTUAL DE LA TIERRA disponible desde el 2003 en la CDMB.

**Figura 1. Cartografía Cobertura Vegetal y Uso actual del Suelo**



*Fuente: Estudio de POAT Río de Oro – CDMB*

Tabla 2. Clasificación Uso Actual del Suelo y Cobertura Vegetal

<b>GRAN GRUPO</b> <i>Nivel Exploratorio</i>	<b>GRUPO</b> <i>Nivel Reconocimiento</i>	<b>SUBGRUPO</b> <i>Nivel Semidetallado</i>	<b>SIMBOLOGIA</b>
<b>CONSTRUCCIONES</b>	<b>INFRAESTRUCTURA URBANA</b>	<b>Zona Urbana</b>	
<b>TIERRAS AGROPECUARIAS</b>	<b>CULTIVOS AGRICOLAS</b>	<b>Cultivos Mixtos</b>	
		<b>Cultivos Semi-Permanentes</b>	
	<b>POTREROS ABIERTOS</b>	<b>Pastos Naturales</b>	
	<b>TIERRAS MIXTAS</b>	<b>Cultivos, Pastos, Rastrojos</b>	
<b>TIERRAS AGROFORESTALES</b>	<b>SILVOAGRICULTURA</b>	<b>Caña Caracolí</b>	
<b>BOSQUES</b>	<b>BOSQUE NATURAL</b>	<b>Secundario</b>	
		<b>Rastrojo</b>	
	<b>BOSQUE PLANTADO</b>	<b>Coníferas</b>	
<b>FORMAS ESPECIALES DE VEGETACION</b>	<b>HERBACEAS</b>	<b>Pajonales</b>	
		<b>Vegetación de Paramo</b>	
<b>ERIAL</b>	<b>SUELO DESNUDO</b>	<b>Erosión</b>	

Fuente: Estudio de POA Río de Oro – CDMB

**2.3.1 Zona Urbana.** Es el tipo de uso que corresponde a aquellas tierras dedicadas a la construcción de vivienda e infraestructura urbana actual y de expansión establecida en los POT en los municipios del área Metropolitana de Bucaramanga.

**2.3.2 Cultivos Mixtos.** Son plantaciones donde se mezclan cultivos semipermanentes, permanentes, transitorios entre otros, los más representativos son el de tomate de mesa, hortalizas, frijol, maíz, entre otros.

**2.3.3 Cultivos Semi- permanentes.** Son aquellos cultivos cuyo ciclo productivo dura alrededor de un año, al final de la cosecha son cortados y podados y vuelven a producir una nueva cosecha, entre estos se encuentra el cultivo de piña.

**2.3.4 Pastos Naturales.** Son pastizales con presencia de formaciones vegetales abrasivas y herbáceas asociadas, donde domina el kikuyo y los tréboles, estas zonas están dedicadas a explotaciones no tecnificadas de ganadería principalmente de bovinos de doble propósito, en praderas extensivas de predios de la economía campesina.

**2.3.5 Cultivos- Pastos- Rastrojos.** Estas áreas se encuentran establecidas con actividades agrícolas y pecuarias, se referencian como tierras mixtas por la dificultad de establecer su uso principal, y presentar algún grado de rastrojo influenciado por la dinámica sucesional de la vegetación o de especies forestales pioneras o tempranas.

**2.3.6 Caña caracolí.** Pertenece al sistema silvoagrícola o tierras con cultivos establecidos con algún porcentaje de cobertura de árboles, en estas zonas también se observan cultivos temporales, semipermanentes y permanentes.

**2.3.7 Bosque Secundario.** Son bosques que han resurgido por un proceso sucesional denominado secundario donde el bosque primario fue eliminado o significativamente alterado, aunque después de mucho tiempo los bosques secundarios evolucionan a primarios, siempre y cuando cuenten con la influencia

ecológica de los primeros en su cercanía, tal como sucede en el gran claro abierto en medio del bosque.

Este tipo de bosque tiene característica de biodiversidad mucho menor a la de los primarios, que es proporcional a la edad de sucesión, donde la dominancia ecológica es claramente ejercida por pocas especies, que ocupan como máximo dos estratos, muchas veces no tienen diferenciables.

**2.3.8 Rastrojo.** Son áreas de cultivo abandonadas que se encuentran en un proceso natural de revegetalización; es el equivalente a una segunda o tercera etapa sucesional hacia bosque secundario. Los rastrojos poseen baja biodiversidad, pero pueden existir algunos con algún grado de complejidad biótica, cuando suceden a cultivos no tecnificados.

El término rastrojo ha sido perjudicial ya que en ocasiones se otorga este nombre a bosques secundarios bien desarrollados por el hecho de no tener ya especies maderables costosas. Estos bosques pueden ser ecológicamente importantes si por ejemplo cubre las márgenes de una cañada sobre topografía quebrada que servirá de hábitat para algunas especies de fauna y flora que son definitivas para la evolución hacia un bosque.

**2.3.9 Bosque Plantado.** Son aquellos bosques que han sido sembrados por el hombre con un orden y distribución de siembra. Se establecen por lotes y normalmente el número de especies es reducido, en ocasiones una sola. Esta homogeneidad se manifiesta en la similitud de tamaño, altura y forma de copas, produciendo un estrato uniforme. En la zona están representados como bosque homogéneas de coníferas pertenecientes al acueducto de Bucaramanga.

**2.3.10 Pajonales.** Comprende formaciones vegetales de matorrales y pajonales de las zonas de vida del bosque seco tropical y transicional al bosque seco subandino, localizados en las laderas de la cuenca, esta cobertura vegetal es importante para el almacenamiento de agua y la liberación gradual de la misma al drenaje superficial.

**2.3.11 Vegetación de Páramo.** A esta categoría pertenece la vegetación que se ubica por encima de los 3.200 msnm y corresponde al nacimiento del Río de Oro en cercanías de El Picacho. Alcanza una extensión aproximada de 318 hectáreas.

**2.3.12 Erosión.** Comprende áreas con alto grado de erosión de tipo hídrico y áreas en erosión de tipo antrópico por uso intensivo de las tierras.

### **3 MANEJO DE LA INFORMACION**

Durante este capítulo se señalará la metodología empleada para generar los Modelos Digitales de Elevaciones a partir de la cartografía disponible y de la información obtenida de la STRM utilizando el programa ArcView GIS 3.1., además se hace una descripción de los procesos necesarios para realizar la clasificación de la Cobertura Vegetal y el Uso Actual del Suelo empleando el software SPRING 5.0.4.

#### **3.1 GENERACION DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES**

Un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) es una estructura discreta de datos que representa una variable distribuida en el espacio. La variable representada puede ser cualquiera que cumpla con el requisito fundamental de la misma, es decir, que se pueda representar espacialmente.

##### **3.1.1 Elaboración del Modelo Digital de Elevaciones MDE a Partir de la Cartografía.**

El propósito del MDE es modelar una variable distribuida y continua en el espacio formando un arreglo de valores discretos que permitan el tratamiento numérico de los datos a través de algoritmos matemáticos, con el resultado de esto se generará una representación de la superficie del terreno. Esto se convierte en un problema básicamente de interpolación; es por esta razón que se generaron diferentes MDE utilizando todos los interpoladores presentes en el programa ArcView GIS 3.1.

**3.1.1.1 MDE Utilizando la Red Irregular de Triángulos (TIN).** Las curvas de nivel digitalizadas del terreno se encuentran en un archivo con formato .dwg

(ACAD, autodesk), estas se deben transformar a un archivo base en formato .dxf ya que el software ArcVIEW permite trabajar con estas planchas por medio de la extensión CAD Reader, además los mapas tipo CAD deben ser convertidos a formato shape para que puedan ser trabajados en el programa.

Esta información es utilizada por el software para crear una red de triángulos irregulares (TIN). Esta estructura representa la superficie del terreno por medio de planos de forma triangular. Los datos de la cartografía o puntos de muestra son utilizados como vértices para los triángulos y los valores a interpolar son los puntos interiores a cada triángulo. La principal ventaja de este tipo de estructura es que el valor de la elevación de los datos suministrados permanece en el modelo, además es útil para la representar características específicas del terreno tales como las líneas de elevación máxima que es donde se producen cambios bruscos de pendiente.

Posteriormente la Red de debe ser transformada a un modelo tipo raster la cual representa el terreno mediante la discretización del sitio de interés en filas y columnas formando una malla regular. Cada celda dentro de la malla es llamada pixel, a este le es asignado un valor del atributo, en este caso es la elevación. La localización de cada pixel estará implícita de acuerdo a su posición en la malla y la resolución del modelo.

Para lograr la transformación se utilizara el método de interpolación conocido como Vecino más Cercano el cual es un método determinístico debido a que solamente toma en cuenta criterios geométricos, este interpolador busca entre los datos más cercanos o próximos al nodo a interpolar y el valor que se encuentre más próximo lo toma y se lo asigna. Dicho método produce valores de altitud que representan razonablemente bien la superficie real, asignándole cotas a cimas y hondonadas más allá del rango de valores de las curvas y es reconocido como un método de interpolación exacto y de fácil aplicación, su tiempo de operación es relativamente más corto que el de otros.

**3.1.1.2 MDE Utilizando el Peso Proporcional al Inverso de la Distancia (IDW).** El archivo de la zona de estudio en formato .dwg se transformo a una extensión .dxf esto genera que posteriormente pueda ser exportado al programa Spell Map el cual fue desarrollado por el ingeniero Jorge Alberto Guzmán adscrito al Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático (GPH). Spell permite la extracción de los datos correspondientes a las coordenadas espaciales de cada una de las polilíneas que conforman el área de estudio; el programa genera un archivo de texto el cual guarda la información de las coordenadas planas (X, Y, Z) para ser utilizado posteriormente en el software ArcView 3.1.

ArcView reconoce el archivo de texto como una serie de puntos ubicados espacialmente cada uno con un valor de coordenada (X, Y) y un atributo Z, el método IDW calcula la distancia que existe entre cada dato y el punto problema para establecer una relación de proporcionalidad entre el peso y la distancia, donde un parámetro a definir es el encargado de controlar el peso en función de la distancia; este método genera errores debidos generalmente al desigual reparto espacial de los puntos entre las líneas.

Este interpolador es sencillo y rapido de utilizar pero como se trata esencialmente de una medida ponderada, el resultado se encuentra siempre incluido dentro del rango de variacion de los datos. Por este motivo el tratamiento correcto de las formas concavas y convexas depende de la distribución original de los puntos.(Felicisimo).

**3.1.1.3 MDE Utilizando la Generación de cuñas (Spline).** Para la elaboración del MDE por medio de este método de interpolación se utilizara el archivo de texto que contiene las coordenadas planas (X, Y, Z) de la zona de estudio. Spline estima valores usando una función matemática que reduce al mínimo la curvatura de la superficie total, dando como resultado una superficie lisa que pasa exactamente a través de los puntos muestreados. Este método es el

mejor para con cuidado variar superficies como la elevación, alturas de superficie del agua, o concentraciones de contaminación.

La resolución espacial (tamaño de celda o “pixel”) del MDE debe ser definida después de realizar la valoración de las curvas de nivel de la cartografía, debe tenerse en cuenta que para obtener una resolución óptima debe buscarse un equilibrio al momento de aumentar o disminuir el tamaño del pixel, para que la morfología del terreno no presente un cambio significativo.

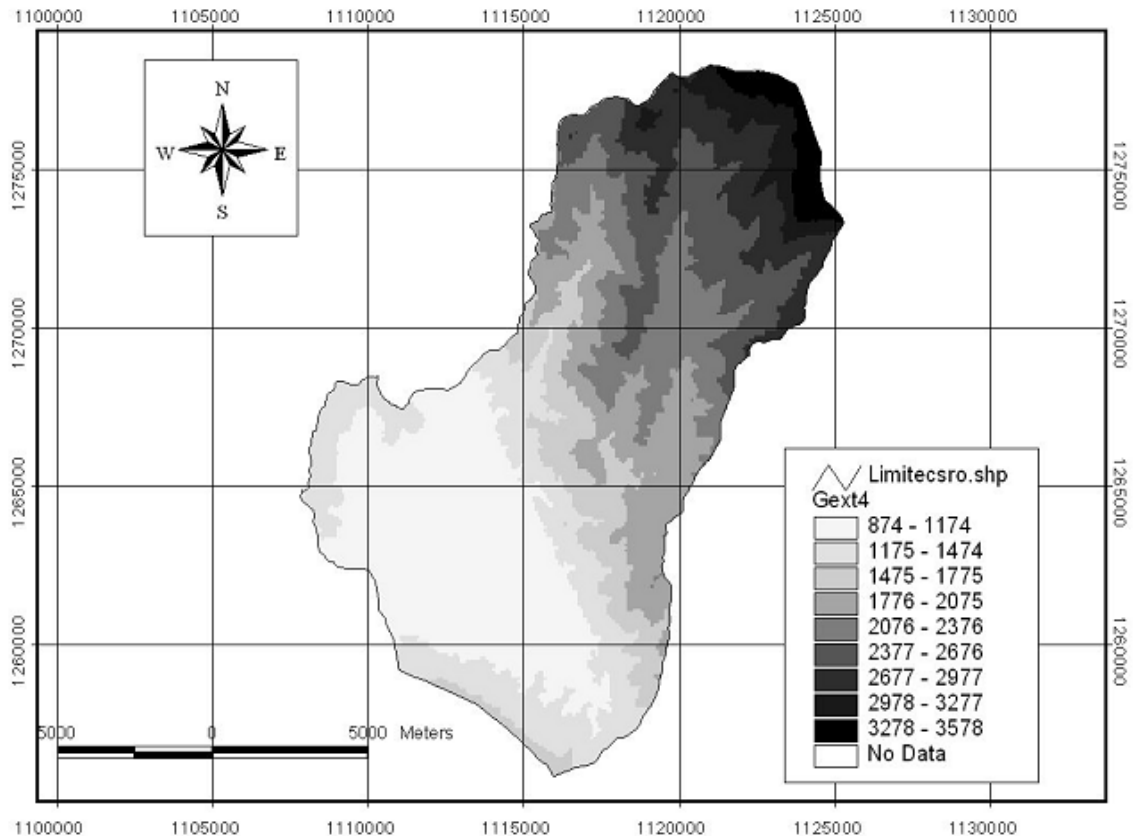
Cuando se trabaja con curvas de nivel como base para la elaboración de un MDE, se debe tener en cuenta que el tamaño del pixel no debe exceder de la separación que existe entre las curvas de nivel, para nuestro caso 50 m esto con el fin de evitar la pérdida de información altimétrica en las zonas donde las curvas son demasiado cercanas. Con base en lo anterior y teniendo en cuenta que el tamaño del pixel para el MDE se desea de igual tamaño al de las imágenes Landsat ETM+, se opto por adoptar un tamaño de pixel de 30 m.

**3.1.2 Modelo digital de Elevación con Información SRTM.** Debido a que los modelos digitales de elevación generados a partir de la misión SRTM se están convirtiendo en una base de datos para trabajos a nivel internacional, se estimo como segundo objetivo generar el MDE para la zona de estudio a partir de estos datos, dejándolos expresados en el sistema de coordenadas utilizado en Colombia. A continuación se muestra el proceso necesario para el cumplimiento de este objetivo:

Algunos MDE de la misión SRTM son descargados con vacios de información esto debe corregirse ya que en estos huecos se presentaran problemas al momento de interpolar el modelo, para esto se utilizo el programa SRTMfill, una herramienta de versión gratuita descargado de la pagina web (<http://3dnature.com>) encargado de interpolar los vacios de información con el fin de llenar los datos.

Luego de su descarga en formato GRID y su posterior limpieza, los datos SRTM fueron importados al software ArcView, seguidamente, mediante herramientas de la extensión Spatial Analyst, con los cuatro rectángulos fue creado un mosaico a fin de generar un MDE continuo y sin costuras para toda el área de estudio.

**Figura 2. Modelo Digital de Elevaciones Información SRTM**



Los modelos digitales de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) se encuentran en coordenadas geográficas, referidas al datum horizontal WGS84 y al datum vertical *EGM96* estos modelos se referenciaron en el software ArcView 3.1, por medio de la extensión **Grid analyst** la cual tiene la opción de proyectar el MDE, en esta función se debe asignar el elipsoide en que se quiera trabajar, se obtuvo un MDE en coordenadas planas (proyección Gauss-Kruger modelo de la tierra Hayford o internacional) el cual es el elipsoide asociado al datum Bogotá.

Los datos requeridos para la definición del sistema de proyección Transversa de Mercator se presentan en la tabla 8.

**Tabla 3. Parámetros para la definición de un sistema de coordenadas de proyección en ArcView GIS.**

<i>Definición</i>		<i>Ejemplo</i>
<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>	<i>Datum BOGOTÁ, Gauss-Krüger, Origen Bogotá</i>
<i>Falso Norte</i>	<i>Coordenada Norte del punto origen</i>	<i>1 000 000,0 m</i>
<i>Falso Este</i>	<i>Coordenadas Este del origen</i>	<i>1 000 000,0 m</i>
<i>Meridiano central</i>	<i>Longitud del punto origen</i>	<i>74° 04' 51,30"</i>
<i>Factor de escala</i>	<i>Relación, sobre el meridiano central, del dibujo con la comarca proyectada</i>	<i>1</i>
<i>Latitud de referencia</i>	<i>Latitud del origen</i>	<i>4° 35' 56,57"</i>

*Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi*

Ahora partiendo del modelo proyectado se procedió a cambiar el tamaño de la celda "pixel" a 30 m esto con el fin de lograr la unificación de tamaños para los diferentes modelos e imágenes, para esto se utilizó el método de interpolación del vecino más cercano, el cual es considerado como exacto y de fácil aplicación. Luego de esto se importó en el software un archivo en formato shapfile (.shp) que contiene el croquis con el límite de la zona de estudio esto con el fin de separar la parte del modelo que nos interesa.

## 3.2 METODOLOGÍA PARA CLASIFICACION DE LA VEGETACION EN LA CUENCA SUPERIOR RIO DE ORO A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES

El objetivo de toda clasificación es la de reconocer clases o grupos cuyos miembros que posean características en común. Esto se realiza a través del conjunto de valores de un pixel en las diferentes bandas espectrales lo cual se define como patrón. Para el desarrollo de este proceso se definieron las siguientes etapas:

**3.2.1 Etapa de Recolección y Análisis de la Información.** El proceso de obtención de las imágenes depende básicamente de su existencia y su calidad, por esta razón a través de la página Web <http://glovis.usgs.gov/ImgViewer/ImgViewer.html> se descargaron las imágenes satelitales disponibles en forma gratuita las cuales están identificadas como Path 7 Row 55 en la cual se encuentra ubicada el área de estudio. De las escenas existentes después de realizar un análisis sobre su calidad y el porcentaje de nubosidad presente en cada una de ellas se escogió para el estudio la imagen Landsat ETM+ del 4 de Enero de 2003.

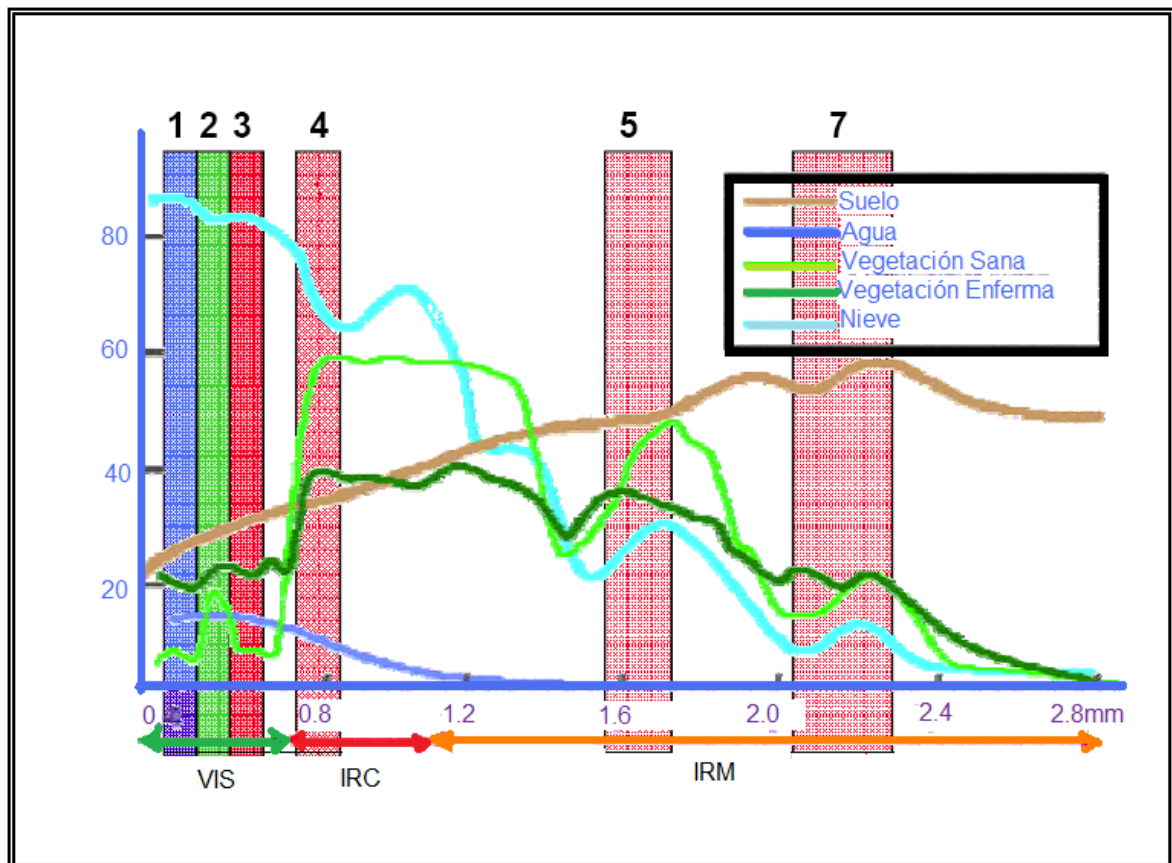
Tabla 4. Características de la Imagen Landsat ETM+ 2003-01-04

<i>Identificación</i>	<i>L71007055_05520030104</i>
<i>Satélite</i>	<i>Landsat 7 ETM+</i>
<i>WRS</i>	<i>07/55</i>
<i>Proyección</i>	<i>UTM, WGS 84</i>
<i>Latitud Nor-Este</i>	<i>7.7955004 N</i>
<i>Longitud Nor-Este</i>	<i>71.2798952 W</i>
<i>Latitud Sur-Oeste</i>	<i>6.5675893 N</i>
<i>Longitud Sur-Oeste</i>	<i>73.3842258 W</i>

<b>Numero de Bandas</b>	<b>9</b>
<b>Resolución</b>	<b>30 mts</b>

El paso siguiente es realizar el análisis de las bandas para determinar cuales nos permitirán identificar mejor la vegetación para esto se obtuvo la figura X que es la representación típica de la firma espectral de la vegetación verde, allí se ubican las bandas a partir de su longitud de onda obteniéndose que para el análisis se utilizaran las bandas 3,4 y 5

**Figura 3. Firma Espectral Típica Vegetación**



**Fuente: Curso Teledetección Geología**

**3.2.2 Etapa de Tratamiento de Imágenes.** En esta etapa están compilados todos aquellos procesos previos antes de realizar la clasificación, la mayoría de las imágenes que se obtienen de las diferentes entidades que se dedican a la promoción y distribución de estos productos informativos tienen la opción de ser adquiridas con determinados procesos de mejoramiento de imágenes. Tal es el caso de las imágenes utilizadas en este proyecto la cual se encuentra en formato TIFF, lo cual implicó cambios en la forma de visualizar y trabajar la imagen en los procesos de lectura de la imagen para la implementación en el software.

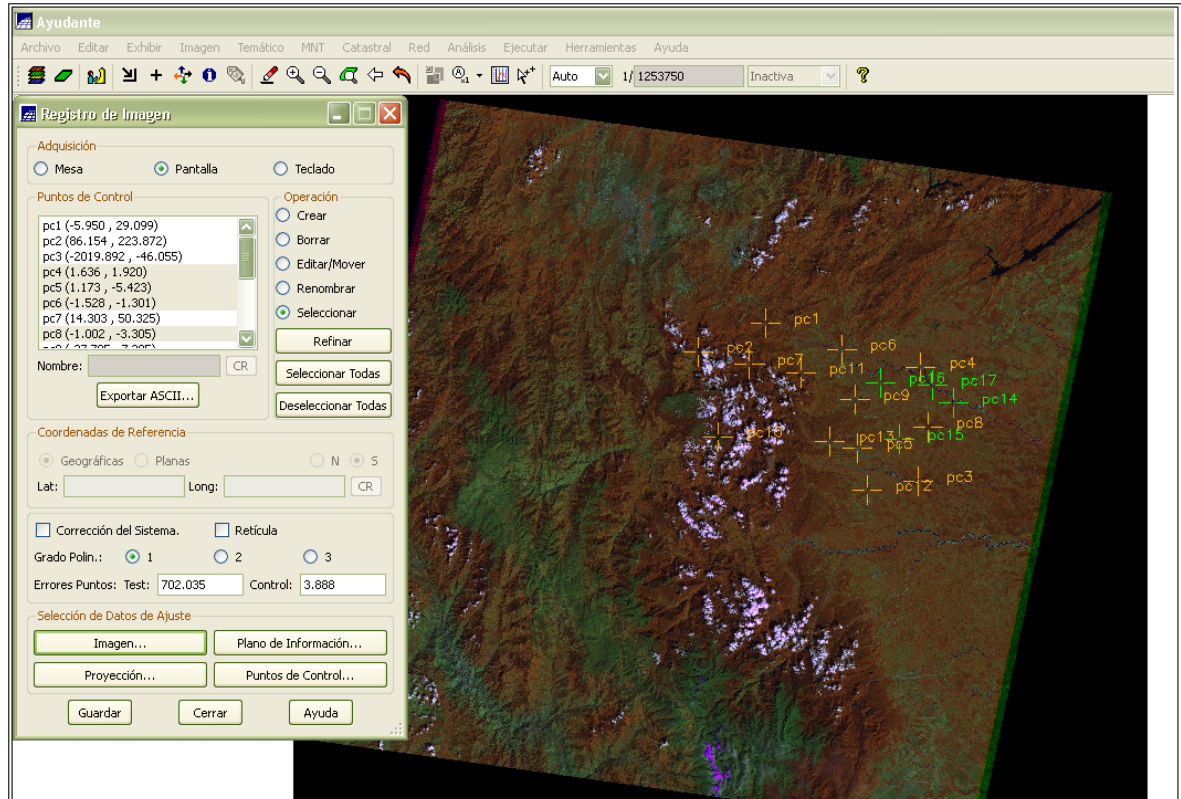
Para la presente investigación el tratamiento de las imágenes será realizado con el software SPRING de versión libre, recomendado para este tipo de proyectos.

**3.2.3 Etapa de Clasificación Supervisada.** El software SPRING permite realizar diferentes tipos de clasificación en este caso utilizamos la Supervisada en la cual previamente se deben seleccionar muestras de cada clase consecutiva. Esas zonas serán conocidas como zonas de entrenamiento, serán procesadas para calcular sus estadísticas: media, rango, desviación típica, etc. en todas las bandas que intervienen en la clasificación.

La combinación de bandas utilizada fue 4 Rojo, 5 Verde, 3 Azul (RGB), lo cual genera una imagen en falso color de la zona donde se puede visualizar mucho mejor las áreas de cobertura vegetal. Además se utilizó la cartografía temática existente en la CDMB (Uso Actual de las Tierras de la Cuenca Superior Río de Oro), escala 1:25000 realizado en el año 2003. El uso de esta cartografía se hizo necesario para la generación de las áreas de entrenamiento requisito para la Clasificación Supervisada.

El primer paso para realizar la clasificación es geo-referenciar las imágenes con el fin de relacionarlas a un sistema de coordenadas específico, por esta razón se localizaron sobre las imágenes 17 puntos de control con coordenadas reales referenciados al nodo 1000000, 1000000 con origen en Bogotá, estos puntos fueron escogidos a partir de su visibilidad y fácil ubicación en la imagen.

Figura 4. Imagen en falso color y Geo-referenciada



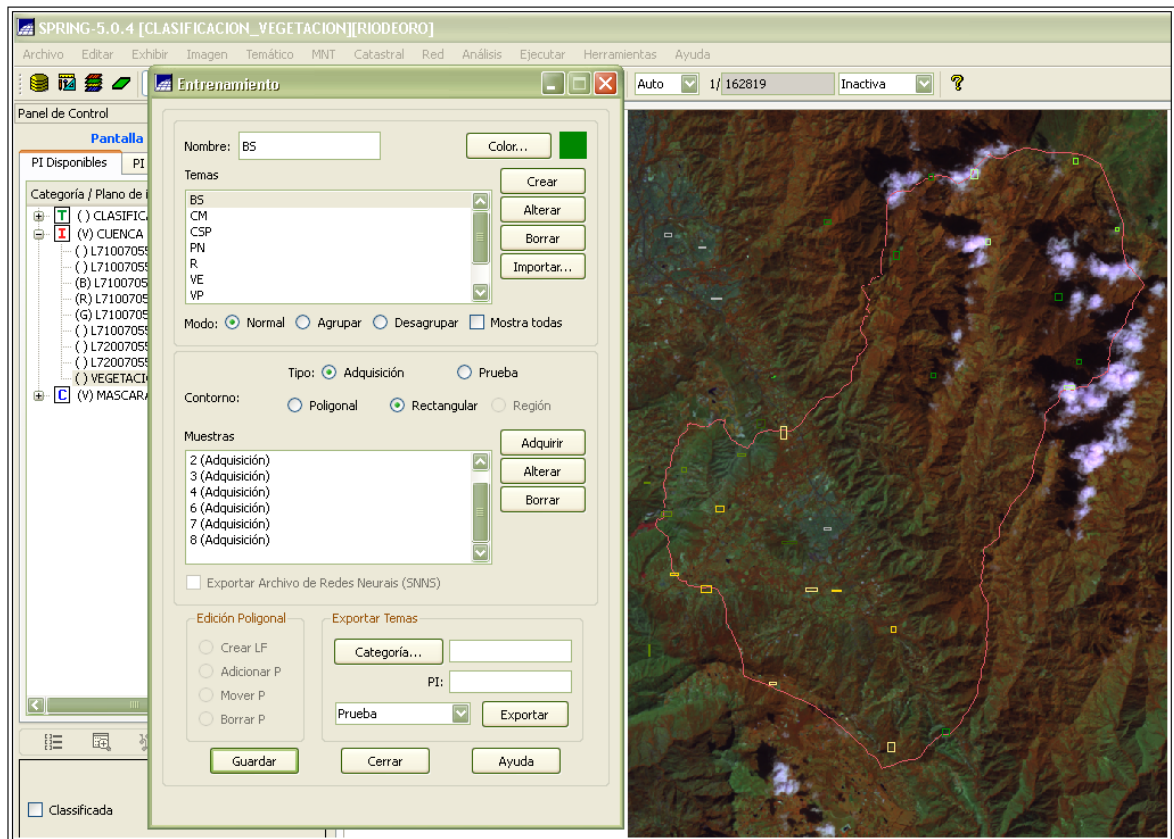
Con los puntos de control ubicados se comenzaron a realizar combinaciones prestando atención en el error medio cuadrático obtenido de la correlación entre los puntos seleccionados no superara los 5 pixeles, de esta manera al final se seleccionaron 8 de los 17 puntos. Después de esto se procede a importar las bandas 4®(R), 5(G), 3(B) al proyecto activo para comenzar con la clasificación.

La clasificación será desarrollada en 4 fases:

- Entrenamiento
- Clasificación
- Pos- clasificación
- Mapeo

**3.2.3.1 Entrenamiento.** Consiste en seleccionar muestras en forma de zonas de pixeles que serán asignadas a una clase concreta basándose en el conocimiento previo de la zona de estudio, para que la clasificación funcione deben ser asignado un mínimo de dos zonas por cada clase.

**Figura 5. Fase de Entrenamiento**



**3.2.3.2 Clasificación.** Lo primero que se debe hacer es seleccionar uno de los clasificadores que están disponibles en el programa, el clasificador toma el conjunto de características de los pixeles para producir como salida una clase temática, en este caso el análisis será hecho utilizando tres diferentes como son:

- **Clasificador Maxver.** Es el método más común, considera la ponderación de las distancias entre medias de los niveles digitales de las clases utilizando parámetros estadísticos. El clasificador a partir de los conjuntos

de entrenamiento define el diagrama de las clases y sus distribuciones de probabilidad, considerando cada clase como una distribución de probabilidad normal.

En determinado caso donde dos curvas se sobreponen, indicando que determinado pixel tiene igual probabilidad de pertenecer a dos clases, en esta situación se establece un criterio de decisión a partir de la definición de umbrales.

El umbral de aceptación indica el porcentaje de pixeles de la distribución de probabilidad de una clase que será clasificado como perteneciente a dicha clase, un umbral de 99%, toma el 99% de los pixeles y el 1% de los pixeles que tengan menor probabilidad serán ignorados con esto se compensa la posibilidad de algunos pixeles de haber sido introducidos erróneamente en determinada clase, o estar entre dos clases. Si se utiliza un umbral del 100% se obtendrá una imagen clasificada sin rechazos, es decir, todos los pixeles serán clasificados.

- **Clasificador Maxver- Icm.** Este clasificador en una primera fase clasifica la imagen por el algoritmo de MAXVER atribuyendo clases a los pixeles, considerando los valores de niveles digitales, en la segunda fase se considera la información contextual de la imagen, es decir, la clase atribuida depende tanto del valor observado en el pixel como de las clases atribuidas a los vecinos.

El algoritmo atribuye clases a un determinado pixel considerando la interacción por vecindad, este proceso finaliza cuando es alcanzado el porcentaje de pixeles que son reclasificados, este es definido con anterioridad.

El software SPRING ofrece diferentes probabilidades como por ejemplo 5% lo que significa que la retribución de clases a los píxeles es interrumpida cuando es alterado el 5% o menos del total de píxeles de la imagen.

- **Clasificador Mínima Distancia Euclidiana.** Este método de clasificación utiliza la distancia Euclidiana para asociar un píxel a una determinada clase. En esta clasificación cada píxel será incorporado a una clase a través del análisis de la medida de similitud de distancia Euclidiana.

El clasificador compara la distancia Euclidiana del píxel a la media de cada grupo. El píxel será incorporado al grupo que presente la menor distancia. Este procedimiento es repetido hasta que toda la imagen quede clasificada.

Se puede indicar un umbral para cada clase indicando la máxima distancia permitida para asignar la pertenencia a esa clase, así se puede otorgar parámetros a las distintas distancias máximas para cada clase en función del grado de concentración que presentan los píxeles.

Después de elegir el clasificador se procede a realizar el análisis de la matriz de clasificación de las muestras, esta nos presenta la distribución del porcentaje de píxeles clasificados correctamente e incorrectamente.

El resultado de este análisis nos presenta:

- ✓ **Desempeño Medio:** Es el porcentaje de píxeles sobre los que se tiene certeza de su buena clasificación.
- ✓ **Abstención Media:** Indica el porcentaje de píxeles que no fue clasificado en ninguna categoría.
- ✓ **Confusión Media:** Este valor determina el porcentaje de píxeles que no están bien clasificados.

Lo ideal sería una matriz de clasificación con un Desempeño medio de 100% lo cual indicaría que no hubo confusión entre las clases, sin embargo esta situación

es demasiado difícil de lograr con imágenes con características espectrales semejantes.

Para disminuir la confusión entre las clases se realiza un análisis entre las muestras adquiridas para cada clase esto nos permite observar que muestras tienen gran certeza de pertenecer a la clase asignada, en la figura X se observa que la muestra 19 tiene un 87.5% de certeza de pertenecer a la clase asignada este es un valor aceptable que genera alta confianza, mientras que si el valor estuviera distribuido un 50- 50 entre dos clases esto obligaría a eliminar la muestra.

Para culminar esta fase se procede a activar la opción clasificar la cual nos permitirá observar la matriz de clasificación obtenida con cada uno de los clasificadores.

**3.2.3.3 Post- clasificación.** Esta fase nos permite realizar el filtraje de las imágenes, lo que nos permitirá obtener temas más uniformes eliminando puntos aislados o clasificados por fuera de su vecindad, esto ayuda a la eliminación del ruido.

En este momento debe ser otorgado un peso el cual definirá el número de veces que se considerara la frecuencia del punto central y un umbral que será el valor por encima del cual será modificado el punto central.

La definición del peso y el umbral fue de 4, este valor depende de las características de la imagen clasificada, entre menor sea el peso y el umbral se realizara un número de sustituciones mayor. En esta fase se debe tener cuidado ya que por tratar de obtener zonas más homogéneas y fáciles de interpretar se puede estar perdiendo exactitud, debe buscarse un equilibrio entre los dos.

**3.2.3.4 Mapeo.** Consiste en generar los mapas definitivos donde cada tema generado debe ser otorgado a una clase, en un modelo de datos Temático, el

mapeo definitivo fue el correspondiente al clasificador Maxver con un umbral del 100% ya que este es el que nos genera mayor confianza

Después de desarrollados todos los procesos para la clasificación el modelo matricial debe ser transformado a un modelo vectorial, este proceso es más complicado que si se transformara de vector a matriz ya que además de extraer los contornos de los objetos, se deben crear también las relaciones espaciales entre ellos, tales como relaciones de vecindad y pertenencia entre polígonos, y conectividad entre arcos. Este proceso solo es aplicado para los datos donde los objetos presentes tienen extensión en área, o sea polígonos.

A partir de la imagen original, el algoritmo genera una imagen binaria conteniendo apenas las fronteras entre los objetos presentes esto es desarrollado de la siguiente manera

- Las fronteras son construidas entre los “píxeles”: si la imagen original tiene formato  $(n \times n)$ , donde  $n$  es el número de líneas y el número de columnas, la imagen binaria tendrá tamaño  $(2n + 1) \times (2n + 1)$ .
- Durante la conversión de la imagen para el formato binario, se detectan también los nodos.
- A continuación, los contornos de los objetos son extraídos (vectorizados) a partir de la imagen binaria y suavizados para minimizar el “efecto de escalera”, característico de la representación raster.
- Finalmente, se construyen los polígonos y las relaciones espaciales (vecindad y pertenencia entre polígonos, y conectividad entre arcos).

Este proceso permite suavizar las regiones de la imagen para permitir una mejor interpretación.

## **4 ANALISIS DE RESULTADOS**

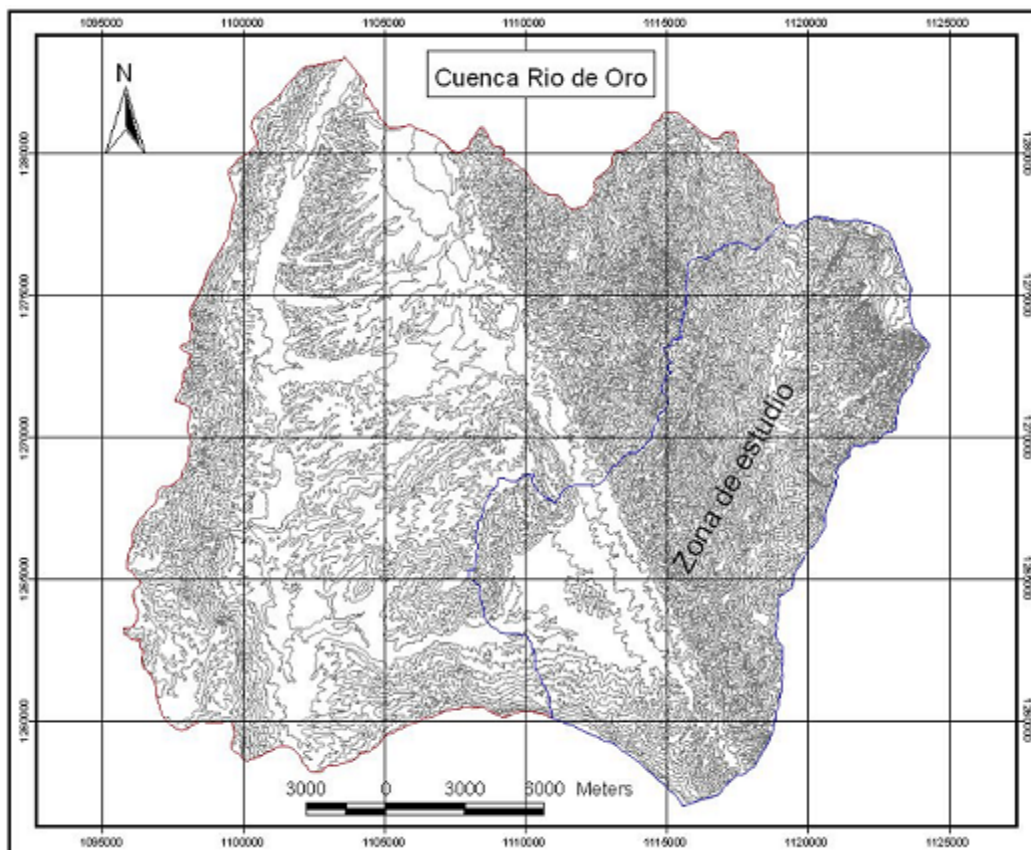
En esta parte del proyecto se procederá a validar los Modelos Digitales de Elevaciones generados a partir de la cartografía, esto se hará utilizando el cálculo del Error Medio Cuadrático el cual comparara los datos obtenidos en el Modelo con puntos Geo-referenciados por el IGAC.

En el caso de la Clasificación Supervisada de la Cobertura Vegetal y el Uso Actual del Suelo se procederá al reconocimiento de las clases observadas en campo y registradas por medio de fotografías para poder realizar la validación del Mapa Obtenido.

### **4.1 ANALISIS Y VALIDACION DE RESULTADOS MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES A PARTIR DE LA CARTOGRAFIA**

La validación del Modelo Digital de Elevaciones obtenido a partir de la cartografía digital disponible a escala 1:25000, será realizado a partir de 28 puntos geo-referenciados espacialmente tomados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) para la CDMB, de estos puntos muy pocos se encuentran dentro de la zona de estudio, por esta razón se decidió tomar el área que abarca la totalidad de la Cuenca de río de oro como se ilustra en la Figura 6. Los datos fueron tomados con GPS de doble frecuencia y ajustados a la red cartográfica de Colombia.

**Figura 6. Cartografía Utilizada para la Validación**



*Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi*

**Tabla 5. Puntos Georreferenciados IGAC**

<b>ID</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>ALTURA</b>	<b>UBICACIÓN</b>
<b>1</b>	<b>1106439.29</b>	<b>1277716.72</b>	<b>955.1857</b>	<b>PUERTA DEL SOL</b>
<b>2</b>	<b>1100949.86</b>	<b>1273148.15</b>	<b>701.3129</b>	<b>GIRON TRANSEJES</b>
<b>3</b>	<b>1107111.85</b>	<b>1275403.71</b>	<b>911.4272</b>	<b>TRINITARIOS PROVENZA</b>
<b>4</b>	<b>1104367.95</b>	<b>1266151.91</b>	<b>1092.18</b>	<b>ACAPULCO</b>
<b>5</b>	<b>1113586.97</b>	<b>1265492.23</b>	<b>1029.4646</b>	<b>BARRIO SAN FRANCISCO PIEDECUESTA</b>
<b>6</b>	<b>1108535.19</b>	<b>1279607.76</b>	<b>1298.3104</b>	<b>MOTEL LOS PIRINEOS VIA CUCUTA</b>

7	1109117.98	1276332.15	1022.18	<b>BARRIO LA TRINIDAD ENTRADA POR SAN BERNARDO</b>
8	1102837.13	1278962.27	900.276	<b>BARRIO LA FERIA</b>
9	1105861.92	1279075.43	993.672	<b>CDMB</b>
10	1103270.77	1276891.8	886.172	<b>CALLE 45 TRES ESTRELLAS</b>
11	1109792.46	1272010.45	974.993	<b>LA VIRGEN A LA SALIDA DE FLORIDA HACIA PIEDECUESTA</b>
12	1110437.25	1273578.61	1025.291	<b>TANQUE DEL ACUEDUCTO EN EL BARRIO CARACOLI FLORIDABLANCA</b>
13	1102687.47	1275187.9	744.1839	<b>AUTOPISTA A GIRON</b>
14	1104942.92	1276135.81	846.3871	<b>BARRIO BUCARAMANGA</b>
15	1108986.09	1273858.28	994.1021	<b>LA CUMBRE BELLAVISTA</b>
16	1100904.93	1277470.3	668.6288	<b>CENTRO ABASTOS</b>
17	1104079.9	1274933.73	884.192	<b>BARRIO EL PORVENIR</b>
18	1108413.36	1274836.93	1009.8335	<b>LA CUMBRE</b>
19	1112910.39	1270402.44	1389.023	<b>VEREDA MENSULI</b>
20	1111092.12	1269896.72	964.7925	<b>ENTRADA RUITOQUE GOLF COUNTRY CLUB POMARROSO</b>
21	1100300.01	1266064.9	841.4387	<b>VEREDA RUITOQUE CHOCOITA</b>
22	1113871.27	1267289.48	1249.151	<b>I.C.P</b>
23	1098535.7	1271012.18	1147.235	<b>VEREDA ALTO LA ALDEA</b>
24	1112470.45	1264088.13	1116.792	<b>CERRO LA CANTERA PIEDECUESTA</b>
25	1116744.18	1261014.46	1192.433	<b>HACIENDA EL BORE CERCA DE COOPROFESORES</b>
26	1100970.83	1262115.11	848.2901	<b>CHOCOITA</b>
27	1105925.32	1270934.52	890.462	<b>SPORT COUNTRY CLUB</b>
28	1115196.51	1256968.5	1681.653	<b>LA PUNTA MESA DE LOS SANTOS</b>

Con base a las cotas de estos puntos se calculó el error medio cuadrático (EMC) de acuerdo a la siguiente fórmula (Barringer y Lilburne, 1997; Chaplot et al., 2006):

$$EMC = \sqrt{\frac{\sum(Z_i - Z_o)^2}{n}}$$

Donde:

$n$  = número de puntos considerados

$Z_i$  = valor de cota estimado por el MDE

$Z_o$  = valor de cota observado obtenido de la CDMB

El EMC constituye una medida general del error del modelo, que surge de la comparación de los valores estimados en el DEM con los valores observados. El error permitido para un MDE cuyos valores de elevación han sido procesados, es de la mitad del intervalo entre curvas de nivel del mapa original (Instituto Geográfico Agustín Geográfico), para nuestro caso el intervalo entre curvas de nivel es de 50 m y teniendo en cuenta el enunciado anterior nuestro EMC permitido será de 25 m.

El error medio cuadrático obtenido para cada uno de los MDE generados a partir de los diferentes interpoladores se representa en la Tabla 6

**Tabla 6. Resultados calculo Error Medio Cuadrático**

<i>interpolador</i>	<i>EMC</i>	<i>unidades</i>
<i>TIN - Raster</i>	<i>5.07</i>	<i>m</i>
<i>IDW</i>	<i>7.47</i>	<i>m</i>

<i>spline</i>	7.6	<i>m</i>
---------------	-----	----------

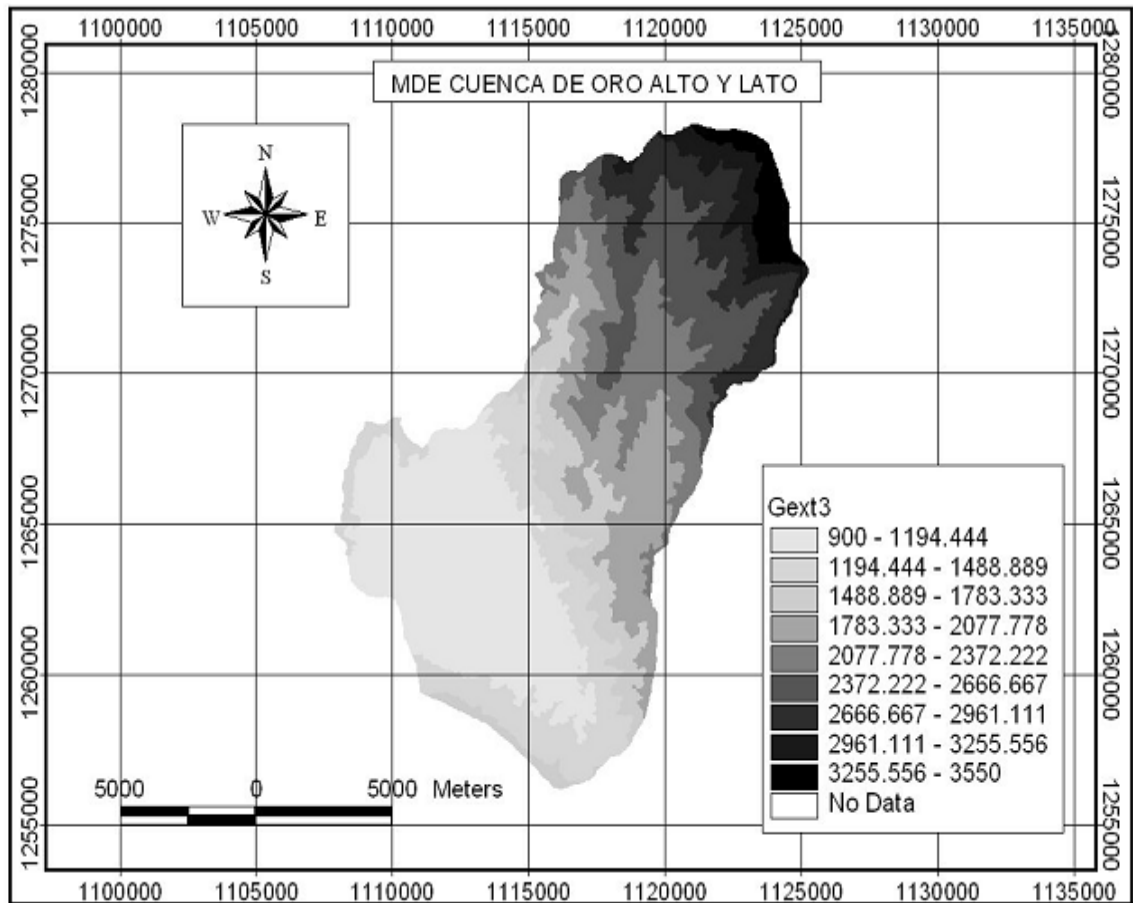
Como se observa en la tabla 6 el menor error se presenta al crear un MDE según la estructura TIN y después generar un MDE de matriz regular a partir de esta estructura, ya que es la que representa en un rango aceptable la superficie del terreno.

Al inicio del proyecto se trato de hacer una integración entre la cartografía digital y los datos SRTM para lograr en una densificación de datos en las zonas con carencia de información, esta operación no se pudo realizar debido a que la información contenida en estos dos archivos se encuentran referidas a datum verticales diferentes y no se ha elaborado un método que permita relacionarlas, por esta razón se planteo elaborar dos modelos digitales de elevación, uno a partir de la cartografía digital y el otro a partir de los datos SRTM,, y dejar a disposición del usuario la elección sobre el modelo con el cual se desea trabajar.

**4.1.1 Modelo Digital de Elevaciones Cuenca Superior Rio de Oro.** La figura 7 representa el modelo digital de elevaciones para la zona de estudio. La variación de las elevaciones va desde los 900 m.s.n.m. hasta los 3550 m.s.n.m. El modelo final fue generado con un tamaño de celda de 30m. Y un error medio cuadrático de 5 m de altura.

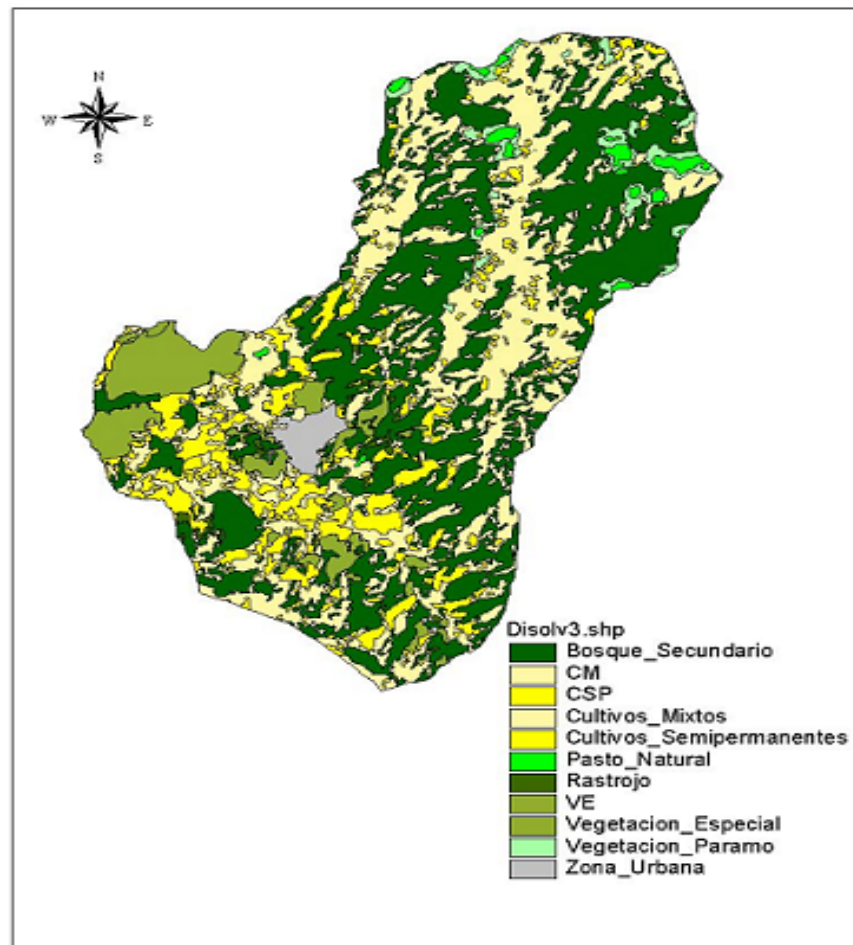
Elaborado a partir de la cartografía colombiana con coordenadas planas (proyección Gauss-Kruger modelo de la tierra Hayford o internacional y datum horizontal Bogotá) y cotas geoidales referidas al cero oficial (Buenaventura).

Figura 7. Modelo Digital de Elevaciones Definitivo para la Cuenca



## 4.2 ANALISIS Y VALIDACION DE RESULTADOS CLASIFICACION SUPERVISADA

Figura 8. Mapa Definitivo Maxver Umbral 100%



El modelo generado que se utilizó es aquel en el cual se utilizó el clasificador Maxver con un 100% de Umbral ya que este fue el que presentó un porcentaje de desempeño medio mayor, además la representación cartográfica obtenida es la más ajustada a la utilizada como referencia. Para realizar este procedimiento se generó un eje Temático para cada uno de los subgrupos mostrados a continuación:

- Zona Urbana ZU
- Cultivos Mixtos CM
- Cultivos Semi-Permanentes CSP
- Pastos Naturales P
- Cultivos, Pastos, Rastrojos C-P-R
- Caña Caracolí C-C
- Secundario BS
- Rastrojo R
- Bosque Plantado BP
- Vegetación Especial VE
- Vegetación de Paramo VP
- Erosión E

Estos temas fueron analizados en repetidas ocasiones lo que genero que los Temas de CM y C-C fueran adicionados al CSP, esto mismo sucedió con BP el cual se fusiono con BS, además de estos cambios el Tema de Erosión fue eliminado por completo ya que generaba demasiada confusión.

A continuación se presenta los resultados del Análisis de Muestras con Clasificador Maxver 100% de Umbral.

- Desempeño Medio = 67.8%
- Abstención Media = 0%
- Confusión Media = 32.2%

El desempeño medio nos señala el porcentaje de pixeles de los cuales el programa tiene la certeza de haberlos clasificado bien este porcentaje es la suficiente para seguir con la clasificación ya que es aceptable para el tipo de imágenes utilizadas.

La abstención media indica el porcentaje de pixeles que no fueron clasificados, mientras que la confusión media como su nombre lo indica es el porcentaje de pixeles sobre los cuales el programa no tiene confianza en la clasificación.

Para evitar esto último es recomendable analizar las muestras tomadas en este tema para observar las que presentan mayor error, el procedimiento para corregirlas sería revisar el entrenamiento pero si el error persiste es mejor borrar la muestra.

En forma más explícita los porcentajes que se presentan al analizar las muestras nos señalan el número de pixeles que están clasificados en cada tema, debe buscarse que el porcentaje que aparece en el tema al cual fue asignada la muestra sea lo mayor posible

**Tabla 7. Matriz de Confusión del Tema**

<i>Tema</i>	<i>BS</i>	<i>CPR</i>	<i>CSP</i>	<i>PN</i>	<i>R</i>	<i>VE</i>	<i>VP</i>	<i>ZU</i>
<i>BS</i>	<b>64.46</b>	<b>2.68</b>	<b>0.00</b>	<b>1.39</b>	<b>6.67</b>	<b>0.90</b>	<b>2.00</b>	<b>0.00</b>
<i>CPR</i>	<b>21.94</b>	<b>51.72</b>	<b>9.78</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>30.00</b>	<b>0.00</b>
<i>CSP</i>	<b>0.94</b>	<b>26.05</b>	<b>73.91</b>	<b>0.00</b>	<b>4.17</b>	<b>8.11</b>	<b>8.00</b>	<b>0.00</b>
<i>PN</i>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>97.92</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<i>R</i>	<b>0.63</b>	<b>11.11</b>	<b>7.07</b>	<b>0.00</b>	<b>55.83</b>	<b>10.81</b>	<b>12.00</b>	<b>4.17</b>
<i>VE</i>	<b>5.02</b>	<b>4.21</b>	<b>3.80</b>	<b>0.00</b>	<b>29.17</b>	<b>74.77</b>	<b>0.00</b>	<b>5.56</b>
<i>VP</i>	<b>3.30</b>	<b>4.21</b>	<b>5.43</b>	<b>0.69</b>	<b>1.67</b>	<b>0.00</b>	<b>48.00</b>	<b>1.39</b>
<i>ZU</i>	<b>4.08</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>2.50</b>	<b>5.41</b>	<b>0.00</b>	<b>88.89</b>

La Matriz de confusión del tema muestra los resultados en forma porcentual del nivel de aceptación de cada uno de los ejes Temáticos generados para realizar la Clasificación Supervisada. Si la clasificación fuera perfecta los valores en la diagonal principal sería cercanos al 100% pero esto es casi imposible de lograr ya que las imágenes utilizadas presentan características espectrales semejantes.

Los valores por fuera de la diagonal principal por ejemplo el de 21.94 de la línea 2 columna 1 indica que el 21.94% del área de la clase Bosque Secundario fue clasificada como Cultivos\_Pastos\_Rastrojo, esto mismo sucede con los demás valores.

Las matrices que se muestran a continuación son las de Confusión de la Muestra y señalan en forma porcentual la posibilidad de cada muestra asignada de pertenecer a cada uno de los temas.

Los valores de la muestra 5 indican que el 53.13% de los pixeles son clasificados como Bosque Secundario, 1.56% como Cultivos Semipermanentes, el 25 % como vegetación especial y el 20.31 % como Zona Urbana, esto indica que la muestra es aceptable, mientras que si se observa la muestra 1 esta genera una confiabilidad absoluta.

**Tabla 8. Matriz Confusión Bosque Secundario**

<b>MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>BS</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>38.33</b>	<b>37.50</b>	<b>53.13</b>	<b>100.00</b>	<b>59.52</b>
<b>CPR</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>58.33</b>	<b>58.33</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>16.67</b>
<b>CSP</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>2.08</b>	<b>1.56</b>	<b>0.00</b>	<b>2.38</b>
<b>PN</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>R</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>3.33</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>VE</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>25.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>VP</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>2.08</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>21.43</b>
<b>ZU</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>20.31</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

**Tabla 9. Matriz Confusión Cultivos\_Pastos\_Rastrojo**

<b>MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>BS</b>	<b>4.17</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>6.82</b>
<b>CPR</b>	<b>87.50</b>	<b>38.46</b>	<b>71.43</b>	<b>32.95</b>
<b>CSP</b>	<b>8.33</b>	<b>41.54</b>	<b>22.62</b>	<b>22.73</b>
<b>PN</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>R</b>	<b>0.00</b>	<b>1.54</b>	<b>0.00</b>	<b>31.82</b>
<b>VE</b>	<b>0.00</b>	<b>9.23</b>	<b>2.38</b>	<b>3.41</b>
<b>VP</b>	<b>0.00</b>	<b>9.23</b>	<b>3.57</b>	<b>2.27</b>
<b>ZU</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

**Tabla 10. Matriz Confusión Cultivos Semipermanentes**

<b>MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>BS</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>CPR</b>	<b>3.90</b>	<b>5.56</b>	<b>0.00</b>	<b>33.33</b>	<b>0.00</b>
<b>CSP</b>	<b>75.32</b>	<b>85.19</b>	<b>100.00</b>	<b>50.00</b>	<b>62.50</b>
<b>PN</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>R</b>	<b>11.69</b>	<b>3.70</b>	<b>3.33</b>	<b>5.56</b>	<b>0.00</b>
<b>VE</b>	<b>0.00</b>	<b>5.56</b>	<b>0.00</b>	<b>2.78</b>	<b>37.50</b>
<b>VP</b>	<b>9.09</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>8.33</b>	<b>0.00</b>
<b>ZU</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

**Tabla 11. Matriz Confusión Pasto Natural**

<b>MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>BS</b>	<b>2.50</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>CPR</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>CSP</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>PN</b>	<b>97.50</b>	<b>96.43</b>	<b>100.00</b>
<b>R</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>VE</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>VP</b>	<b>0.00</b>	<b>3.57</b>	<b>0.00</b>
<b>ZU</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

**Tabla 12. Matriz Confusión Rastrojo**

<b>MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>BS</b>	<b>5.56</b>	<b>8.33</b>
<b>CPR</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>CSP</b>	<b>4.17</b>	<b>4.17</b>
<b>PN</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>R</b>	<b>51.39</b>	<b>62.50</b>
<b>VE</b>	<b>31.94</b>	<b>25.00</b>
<b>VP</b>	<b>2.78</b>	<b>0.00</b>
<b>ZU</b>	<b>4.17</b>	<b>0.00</b>

**Tabla 13. Matriz Confusión Vegetación Especial**

<b>MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>BS</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>2.08</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>CPR</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>CSP</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>18.75</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>PN</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>R</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>14.58</b>	<b>15.38</b>	<b>50.00</b>
<b>VE</b>	<b>75.00</b>	<b>100.00</b>	<b>64.58</b>	<b>84.62</b>	<b>50.00</b>
<b>VP</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>ZU</b>	<b>25.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

**Tabla 14. Matriz Confusión Vegetación Paramo**

<b>MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>BS</b>	<b>2.86</b>	<b>0.00</b>
<b>CPR</b>	<b>42.86</b>	<b>0.00</b>
<b>CSP</b>	<b>11.43</b>	<b>0.00</b>
<b>PN</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>R</b>	<b>17.14</b>	<b>0.00</b>
<b>VE</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>VP</b>	<b>25.71</b>	<b>100.00</b>
<b>ZU</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

**Tabla 15. Matriz Confusión Zona Urbana**

<b>MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>BS</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>CPR</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>CSP</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>PN</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>R</b>	<b>6.25</b>	<b>0.00</b>	<b>8.33</b>	<b>0.00</b>
<b>VE</b>	<b>12.50</b>	<b>0.00</b>	<b>8.33</b>	<b>0.00</b>
<b>VP</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>4.17</b>	<b>0.00</b>
<b>ZU</b>	<b>81.25</b>	<b>100.00</b>	<b>79.17</b>	<b>100.00</b>

Después de culminar los procesos el proceso de clasificación se procede a obtener los resultados. Esto nos permite estimar las áreas que fueron clasificadas en cada grupo esto nos permite generar los Histogramas que facilitan el análisis.

**Tabla 16. Áreas de clasificación obtenidas en cada grupo**

<b>Plano de Información: CLASIFICACION/VEGETACION-T</b>	
<b>Representación: Mapa Vectorial</b>	
<b>Área (km x km)</b>	
<b>Bosque_Secundario</b>	<b>75.567166</b>
<b>Bosque _ plantado</b>	<b>0.003384</b>
<b>Cultivos _ mixtos</b>	<b>65.630288</b>
<b>Cultivos_Semipermanentes</b>	<b>27.88444</b>
<b>Pasto _ natural</b>	<b>2.541271</b>
<b>Rastrojo</b>	<b>5.978714</b>

<b><i>Vegetación _ especial</i></b>	<b>5.698993</b>
<b><i>Vegetación _ páramo</i></b>	<b>4.304282</b>
<b><i>Zona _ urbana</i></b>	<b>7.015063</b>
<b><i>Área total de las clases</i></b>	<b>194.623601</b>
<b><i>Área total de los Polígonos no clasificados</i></b>	<b>0</b>

Figura 9. Áreas de Clasificación Obtenidas

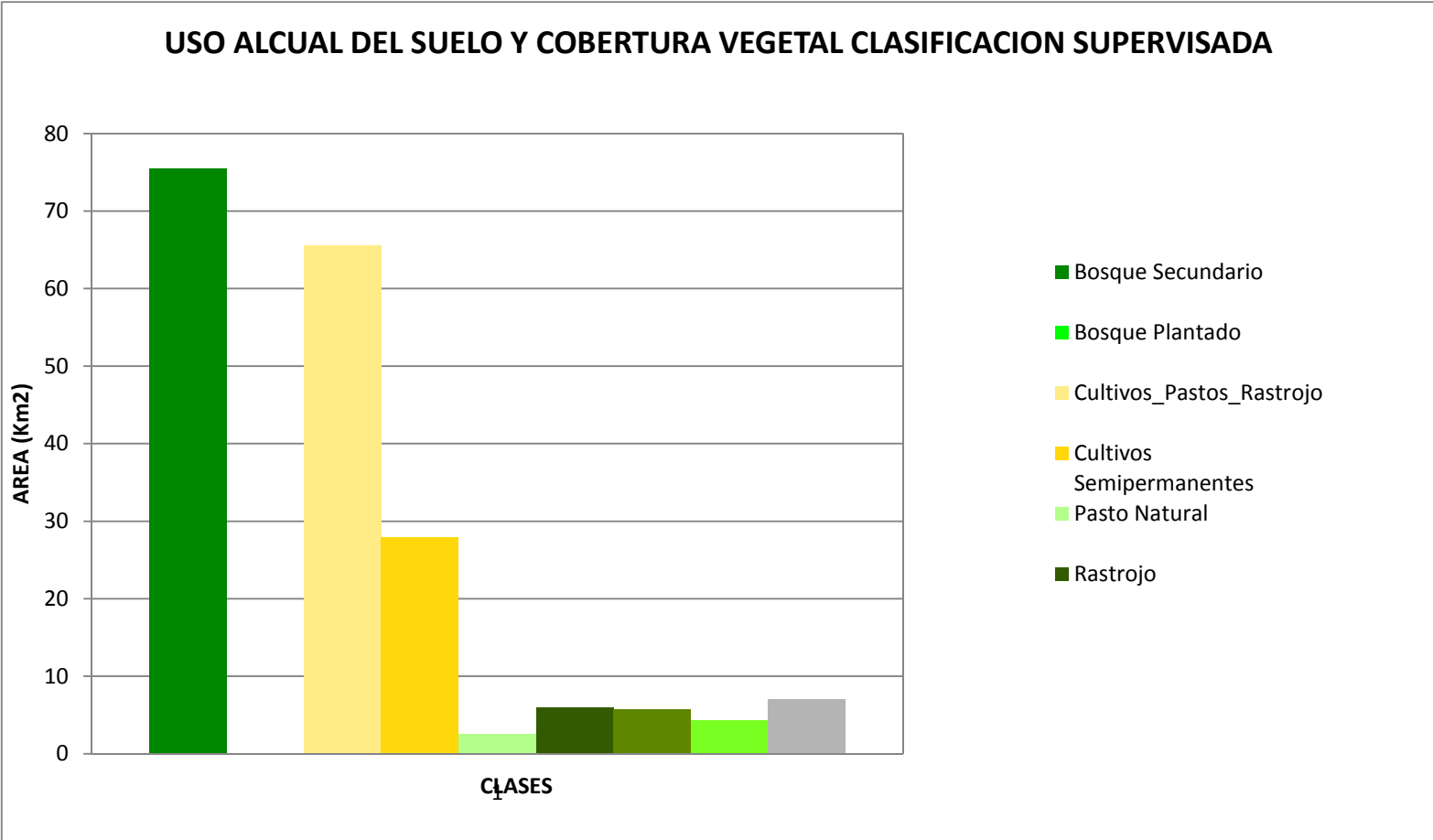
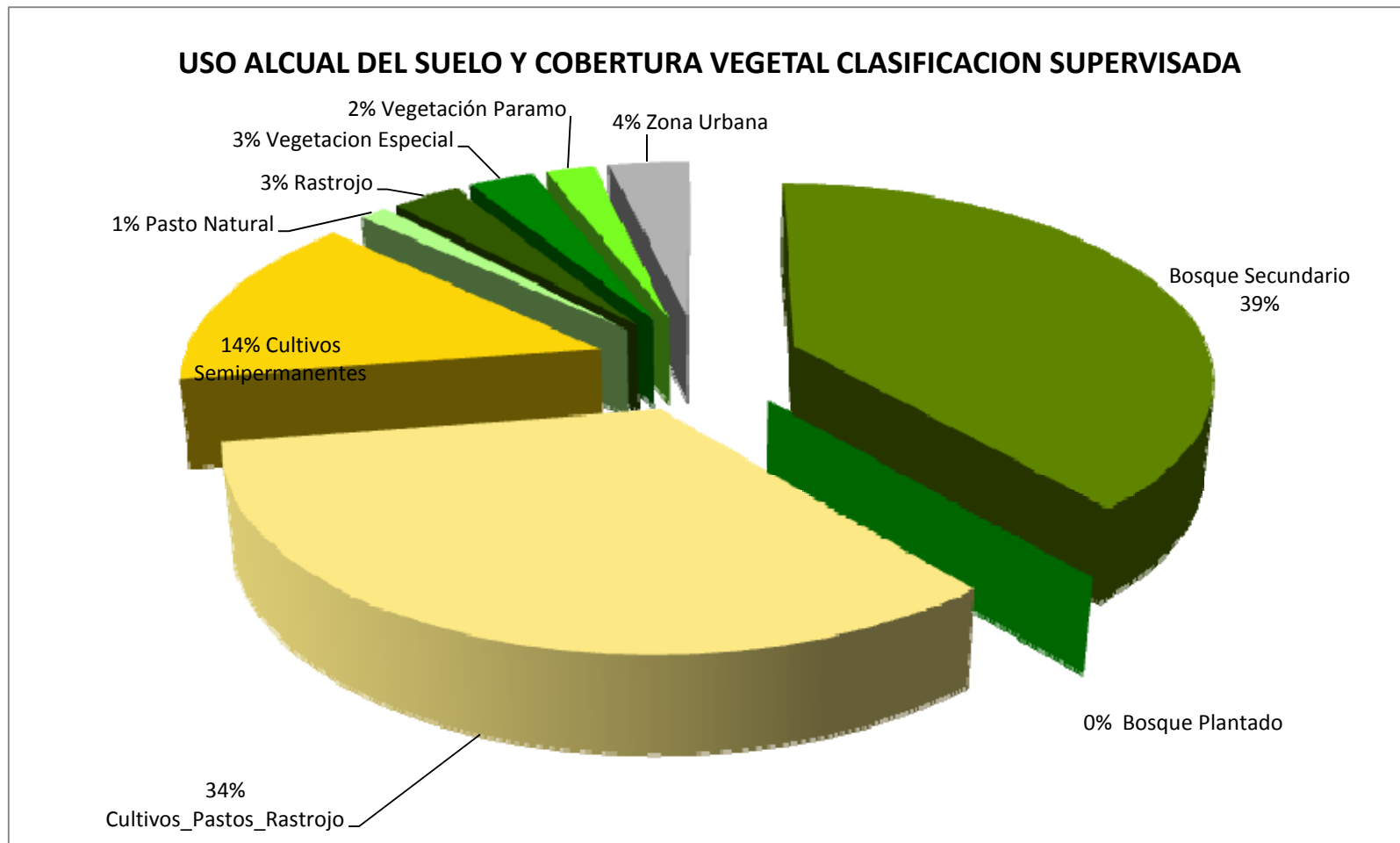


Figura 10. Porcentaje de Área representativo a cada Tema



Para la validación de los resultados obtenidos se realizaron salidas de campo para el reconocimiento de la zona de estudio, allí se ubicaron 17 puntos a los cuales se le tomaron las coordenadas (Con GPS) y una secuencia de fotos a su alrededor. Estos puntos fueron ubicados sobre el mapa definitivo del cual se tomo se respectiva clasificación.

**Tabla 17. Datos Puntos Tomados en Campo**

<b>ESTACION</b>	<b>COORDENADAS</b>		<b>RESULTADO CLASIFICACION</b>	<b>IMÁGENES TOMADAS</b>
	<b>N</b>	<b>E</b>		
<b>1</b>	<b>1119100</b>	<b>1276167</b>	<b>Cultivos_Pastos_Rastrojo</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>1119457</b>	<b>1276467</b>	<b>Cultivos_Pastos_Rastrojo</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>1119306</b>	<b>1276144</b>	<b>Cultivos_Pastos_Rastrojo</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>1119381</b>	<b>1275947</b>	<b>Bosque Secundario</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>1119600</b>	<b>1274757</b>	<b>Vegetación de Páramo</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>1119699</b>	<b>1273780</b>	<b>Cultivos_Pastos_Rastrojo</b>	<b>5</b>
<b>7</b>	<b>1119505</b>	<b>1272697</b>	<b>Cultivos_Pastos_Rastrojo</b>	<b>9</b>
<b>8</b>	<b>1119893</b>	<b>1270333</b>	<b>Cultivos_Pastos_Rastrojo</b>	<b>5</b>
<b>9</b>	<b>1119671</b>	<b>1270105</b>	<b>Cultivos_Pastos_Rastrojo</b>	<b>11</b>
<b>10</b>	<b>1119551</b>	<b>1269386</b>	<b>Cultivos_Pastos_Rastrojo</b>	<b>9</b>
<b>11</b>	<b>1119341</b>	<b>1266852</b>	<b>Cultivos Semipermanentes</b>	<b>5</b>
<b>12</b>	<b>1119358</b>	<b>1266448</b>	<b>Cultivos_Pastos_Rastrojo</b>	<b>4</b>
<b>13</b>	<b>1119045</b>	<b>1271619</b>	<b>Cultivos Semipermanentes</b>	<b>10</b>
<b>14</b>	<b>1118771</b>	<b>1270643</b>	<b>Bosque Secundario</b>	<b>5</b>
<b>15</b>	<b>1118160</b>	<b>1269212</b>	<b>Cultivos_Pastos_Rastrojo</b>	<b>12</b>
<b>16</b>	<b>1117600</b>	<b>1268092</b>	<b>Bosque Secundario</b>	<b>10</b>
<b>17</b>	<b>1116994</b>	<b>1266960</b>	<b>Bosque Secundario</b>	<b>8</b>

Para la validación de la clasificación se analizaron las fotografías tomadas en campo para determinar el tipo vegetación que allí se encuentra. A continuación se muestran las estaciones en las cuales se consiguió resultados similares tanto en el modelo como en lo observado en campo.

ETACION 1



ESTACIÓN 3



ESTACIÓN 2



ESTACIÓN 6



ESTACIÓN 8



ESTACIÓN 10



ESTACIÓN 9



ESTACIÓN 15



En las imágenes anteriores se puede observar que la cobertura vegetal en todas tiene características similares que según nuestro conocimiento se refiere a Pasto mezclado con Rastrojo y en algunos casos cultivos, en las fotografías se observa claramente que ninguno de los tres sobresale sobre los demás. Por es ta razón la clasificación a la que pertenecen es Cultivos\_Pastos\_Rastrojo

ESTACIÓN 4



ESTACIÓN 17



En estas imágenes se observa la presencia de material boscoso no muy denso lo que ocasiona que sea clasificado como Bosque Secundario.

ESTACION 11



ESTACIÓN 13



Se observa a simple vista que existen zonas de cultivos de mora, piña y caña los cuales son cultivos cuyo ciclo dura alrededor de un año tiempo después del cual son retirados, por esto son llamados Cultivos Semipermanentes.

Las demás estaciones sobre las cuales se realizó el reconocimiento presentaron diferentes tipos de vegetación a la que se suponían deberían haber sido clasificadas.

Como solo se tomaron 17 puntos los cuales son muy pocos para poder validar el modelo, los resultados obtenidos fueron que 12 estaciones se clasificaron correctamente lo que nos genera un porcentaje del 70% de certeza en el modelo, este porcentaje es cercano al que nos determino el programa SPRING.

## CONCLUSIONES

- En el estudio fueron obtenidos dos mapas con información topográfica de la Cuenca Superior del Rio de Oro con una resolución de 30 x 30, el primero fue desarrollado con la cartografía disponible a una escala de 1:25000, mientras que el segundo es el resultado de la manipulación de la información obtenida del Lanzamiento de la Misión Topográfica de Radar de la Nasa. Actualmente solamente el primero puede ser validado debido a que el segundo se encuentra referenciado al Geoide Internacional y aun no existe un método para cambiar la referencia de la coordenada Z.
- La utilización de las bandas 3, 4, 5 de las Imágenes Landsat 7 ETM+ para realizar la Clasificación de la Cobertura Vegetal y Uso Actual del Suelo, permite generar un mapa de resolución 30 x 30m el cual nos genero un 67.8% de desempeño en cuanto a pixeles clasificados, esto es aceptable debido a que las bandas utilizadas poseen características espectrales parecidas, lo que genera incertidumbre. El mapa obtenido en este trabajo puede ser utilizado en modelos hidrológicos que requieran formato raster y/o vectorial.
- La exactitud de los interpoladores, fue estimada a partir de la técnica de validación del Error Medio Cuadrático la cual compara los datos obtenidos en el Modelo Digital de Elevaciones con datos observados, la técnica fue aplicada a los diferentes modelos generados a partir de los interpoladores presentes en el software ArcView GIS 3.1, el resultado obtenido nos presenta que utilizando la Red Irregular de Triángulos se logra un error menor equivalente en nuestro caso a 5.07m.

- El resultado del estudio de la clasificación de la Cobertura Vegetal y el Uso Actual del suelo permitió observar que el clasificador Maxver con un Umbral del 100%, el cual se encarga de tomar el conjunto de características presentes en los pixeles de la imagen para producir como salida una clase etiquetada, genera un desempeño del 67.8 % el cual es mayor que el logrado con los otros clasificadores.

## RECOMENDACIONES

- Antes de comenzar con los procesos de análisis lo primero que se debe realizar es un reconocimiento del terreno donde se va a trabajar ya que esto a la hora de realizar los análisis y validaciones va a facilitar el trabajo.
- La toma de puntos de validación para la Clasificación Supervisada debe ser más numerosa posible, es decir, deben tomarse puntos alrededor de toda la zona ya que esto permite certificar los estudios.
- Las clases que se obtuvieron finalmente son aptas para estudios ambientales, ya que la zona abarca un área bastante amplia como para obtener resultados de tipo predial, en caso de que la finalidad fuera esta es recomendable trabajar con imágenes de satélite con una mayor resolución espacial.
- A la hora de geo-referenciar las imágenes a clasificar es aconsejable tomar puntos de fácil adquisición y reconocimiento visual ya que esto facilita el proceso, además como la cartografía que se desea generar es de tipo temática de la Cobertura Vegetal lo más aconsejable es que el error obtenido por los puntos de control no supere los 5 píxeles.
- Se recomienda para efectos de disminuir el tiempo y efectuar de manera más precisa la validación de la clasificación contar en el grupo de trabajo con una persona capacitada en lo que al tema se refiere.
- Para aprobar el MDE se debe contar con el mayor número de puntos geo-referenciados ya que esto genera una mayor confianza.

- Como lo que se desea es obtener el MDE que más se ajuste a la realidad se recomienda obtener cartografía que necesite el menor tratamiento posible ya que esto a la hora de validar genera un error menor.

## BIBLIOGRAFIA

AGUILAR, F, Evaluación de Diferentes Técnicas de Interpolación Espacial para la Generación de Modelos Digitales de Terreno Agrícola. Proyecto del Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Almería, España, 2001.

BUENAHORA, Carlos y OSORIO, Henry. Desarrollo del Modelo Digital de Elevaciones de la cuenca Rio Sucio, Municipio de Tona, Departamento de Santander, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2005

CDMB, Estudio de Plan de Ordenamiento Ambiental de la Cuenca del Rio de Oro, Área de jurisdicción de la CDMB, Bucaramanga, 2003.

GOMEZ J.H.; ROJAS E.J; HERRERO E., ArcVIEW GIS Curso Básico-Autoaprendizaje, UIS.

FELICISIMO, A. 1994. Modelos Digitales del Terreno. Asturias (España), [Online] <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/>.

FORERO, J.C. GOMEZ, S., Avance de la aplicación de un Modelo hidrogeológico en la cuenca superior del Rio de Oro, Santander. III Congreso Colombiano de Hidrogeología, Bogotá. 2009.

GUZMAN Jorge A., ANAYA Ángel, NIÑO Edward, GOMEZ Sully, COLEGIAL Juan D. Cuenca Experimental Rio Sucio, Municipio de Tona, Santander, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2005

GUZMAN, Jorge A. y CHU, Ma. L., 2009; SPELL-Map.

IGAC, Tipos de Coordenadas Manejadas en Colombia, 2004

LOPEZ, Wilson y OSORIO, Rafael. Modelo Digital de Elevación para la cuenca Rio de Oro, Universidad Industrial de Santander, 2005

MARTINEZ, R, Análisis de las metodologías habituales para la generación de Modelos Digitales de Terreno, Mapping °71, 2001.

MUÑOZ, R y LEON, J. Intensidad extractiva del Uso Actual del Suelo y Cobertura Vegetal de la Subcuenca Rio Tona basada en Sensores Remotos, Universidad Industrial de Santander, 2003.

PINTO, Jorge, Curso Teledetección Geología, Universidad Industrial de Santander, 2003.

QUINTERO Wilson, Modelo Digital de Elevación para Colombia, Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero- Ambiental y Nuclear, Bogotá, 2001.

ROLDAN, I. Mapa De Coberturas del Suelo de la estación experimental forestal San Juan Tetla y sus alrededores elaborado con base en diferentes métodos de Clasificación Supervisada, Tesis, 2003.

RUIZ, Diego y SALCEDO, Jhon, Análisis comparativo de Herramientas software especializadas para el tratamiento digital de Imágenes de Satélite, Universidad Industrial de Santander, 2005

VILLAMIZAR, J, Generación del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) correspondiente a la mesa de Barichara limitada por los Ríos Fonce, Suárez y Chicamocha, Universidad Industrial de Santander, 2006.

PAGINAS WEB DE INTERES:

<http://www.jpl.nasa.gov/strm/>

<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>

[www.dpi.inpe.br/spring](http://www.dpi.inpe.br/spring)

<http://3dnature.com>

<http://glovis.usgs.gov/ImgViewer/ImgViewer.html>

# **ANEXOS**

**ANEXO A: MANUAL DE  
PROCESAMIENTO PARA  
ELABORACION DE MODELOS  
DIGITALES DE ELEVACION EN  
SOFTWARE ArcView GIS 3.1**

Basado en Curso Básico de ArcView GIS. Material de soporte para la Clase de Sistemas de Información Geográfica, UIS, J.H. Gómez, E.J.Rojas, E. Herrera, 2003

## **TABLA DE CONTENIDO**

**1. GENERACION NUEVOS PROYECTOS**

**2. CREAR UNA VISTA**

**3. PROPIEDADES DE LA VISTA**

**4. AÑADIR TEMAS A LA VISTA**

**5. TEMAS CON FORMATO SHAPE**

**6. INTERPOLADORES**

**CRAEAR UN ARCHIVO TIN**

**Peso proporcional al Inverso de la distancia (IDW)**

**Interpolación por método SPLINE**

**7. IMPORTAR Y RECORTAR MASCARA.**

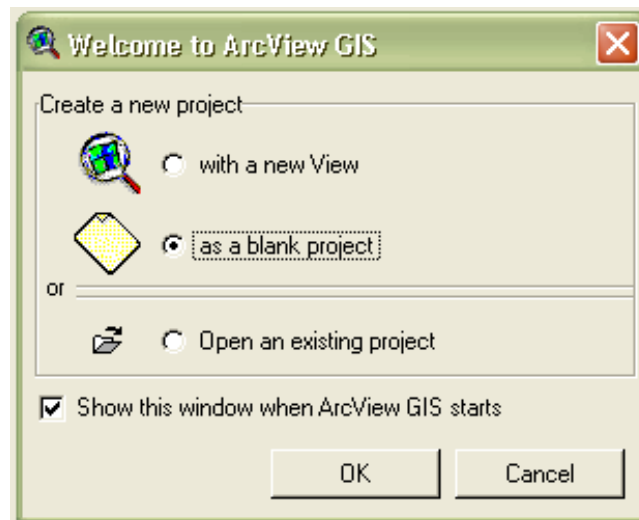
**8. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN DE A PARTIR DE DATOS SRTM**

**8.1. IMPORTACION DE DATOS STRM A ARCVIEW**

**9. IMPORTAR Y RECORTAR MASCARA**

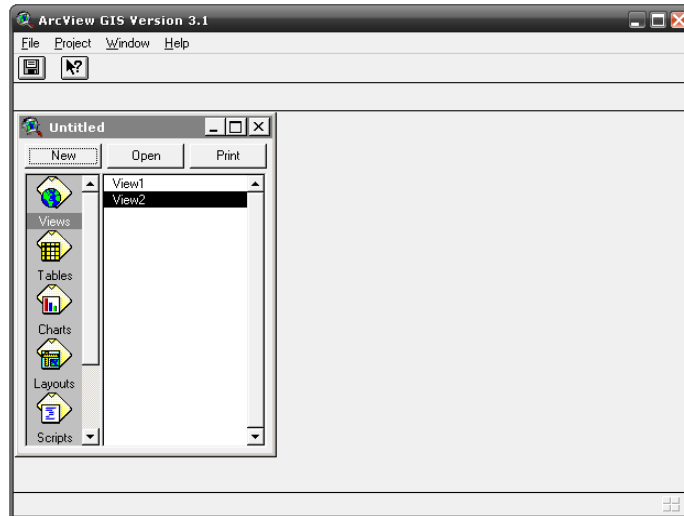
## 1. GENERACION NUEVOS PROYECTOS

Cuando se pone en marcha ArcView, aparece la pantalla inicial sobre la que se despliega un cuadro de diálogo, que permite elegir entre crear un proyecto nuevo o abrir uno ya existente. Al aceptar la opción de crear un proyecto nuevo desaparece el cuadro de diálogo, permitiendo visualizar por completo la ventana de aplicación de ArcView.



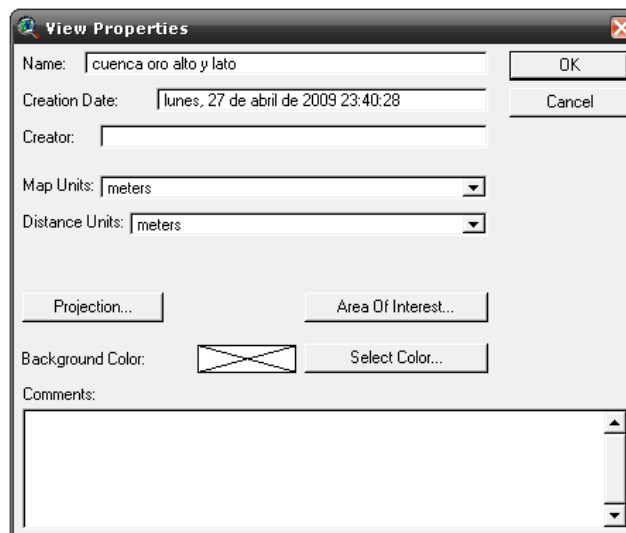
## 2. CREAR UNA VISTA

Una vista es un mapa interactivo que contiene las distintas capas de información geográfica. En la **Ventana del proyecto**, seleccionamos la Interface “Vistas”, y creamos una **vista** nueva pulsando el botón **New** que aparece en la parte superior de la ventana.



### 3. PROPIEDADES DE LA VISTA


En el menú **View**, seleccionamos la opción **Properties**. Allí, podemos establecer las propiedades de la vista. Es muy importante seleccionar las unidades de la cartografía (unidades en las que fue construida la cartografía) y las unidades de distancia que usaremos para esa vista.



#### 4. AÑADIR TEMAS A LA VISTA

Dentro de una vista, podemos agregar diferentes tipos de “temas” o capas de información cartográfica: vectoriales, raster, etc. Los temas o capas del tipo “vectoriales” representan elementos geográficos, mediante tres formas básicas: puntos, líneas y polígonos. Los temas pueden ser creados desde una variedad de fuentes, incluso mapas digitales existentes, imágenes y ficheros tabulares.

Para cargar dibujos CAD como archivos DWG, DXF, DGN hace falta cargar la extensión ‘CAD Reader’. Asimismo, para que ArcView pueda visualizar archivos de imágenes satelitales del tipo “raster” (img, tiff, etc.), también debemos cargar las extensiones pertinentes. -Añadimos los temas, que van a formar parte de la vista, eligiendo la opción **Add Themes**, dentro del menú

**View**, o pulsando sobre el botón .

#### 5. TEMAS CON FORMATO SHAPE

Es el formato nativo de ArcView GIS para almacenar localizaciones y atributos de los elementos espaciales. Los archivos shapes pueden ser creados a partir de fuentes de información espacial existente, o pueden ser generados desde ArcView, donde podemos añadir y dibujar los elementos. Estos archivos tienen gran rapidez en el despliegue y visualización, y pueden ser editados. Aunque desde ArcView un fichero se trata como un solo archivo, en realidad consta de tres o más archivos con el mismo nombre y extensiones diferentes:

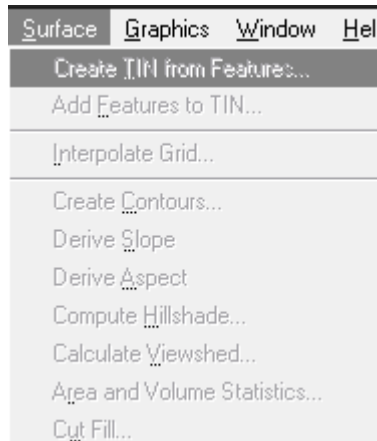
Podemos convertir una capa de información proveniente de un archivo de CAD, en un tema con formato shape. Cargamos a nuestro proyecto el tema en cuestión. Desde el menú **Theme**, seleccionamos **Convert to shape**.

#### 6. INTERPOLADORES

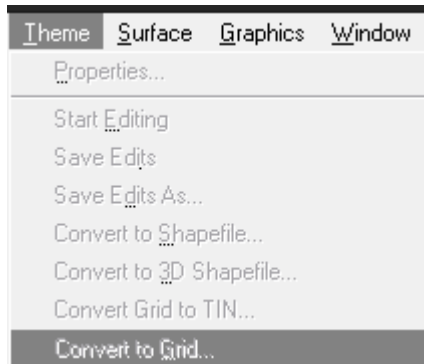
ArcView utiliza métodos de interpolación locales usan la información proveniente de los vecinos para calcular el valor del atributo.

### 6.1. CREAR UN ARCHIVO TIN

Esto consiste en generar una Red Irregular de Triángulos los cuales se construyen ajustando un plano a tres puntos cercanos no colineales y se agrupan formando un mosaico que puede adaptarse a la superficie con diferentes grados de detalle en función de la complejidad del relieve, para esto en la opción **Menú- Surface- Create TIN From Features**. Después de esto aparecerá una ventana llamada Create New TIN, en la opción Height Source se busca el campo Elevación y se presiona OK. Se debe ubicar el TIN en la carpeta que se está trabajando y se le debe otorgar un nombre.



A partir del tema construido se elabora una grilla para esto usamos la opción **Menú- Theme-Convert to Grid** y muestra una ventana en la cual se especifica la carpeta para guardar el archivo luego de esto se debe especificar el tamaño de la celda o pixel se da **Enter** y **Ok**. El programa nos pregunta si queremos añadir la grid a la vista y damos **Ok**.

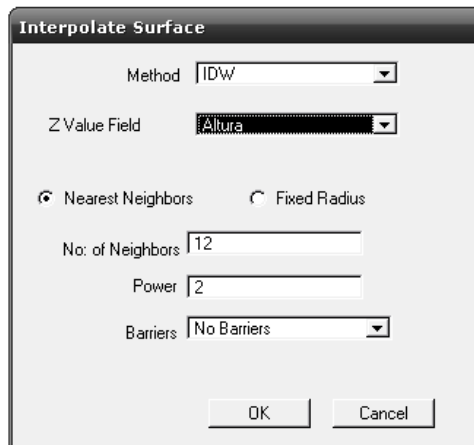


## 6.2. Peso proporcional al Inverso de la distancia (IDW)

Cada punto de la muestra ejerce una influencia sobre el punto a determinar y disminuye en función de la distancia. Así cada punto vecino contará con un “peso” en la determinación de la cota del punto a interpolar, que será mayor cuanto más cerca se encuentre, siguiendo el principio de correlación espacial.

IDW se presenta en Spatial Analyst como dos opciones: Con un radio de búsqueda fijo y un radio de búsqueda variable. Para el primero de ellos el radio del círculo usado para buscar entradas de puntos es igual para cada celda interpolada. Para especificar una cantidad mínima se puede asegurar que dentro del radio fijo, al menos un número mínimo de puntos de entrada será usado en el cálculo de cada celda interpolada.

Con un radio variable, la cantidad representa el número de puntos usados en calcular el valor de la celda interpolada. Esto hace variable la búsqueda del radio para cada píxel interpolado, dependiendo de cómo tenga que estirarse para alcanzar el número especificado de los puntos de la entrada.



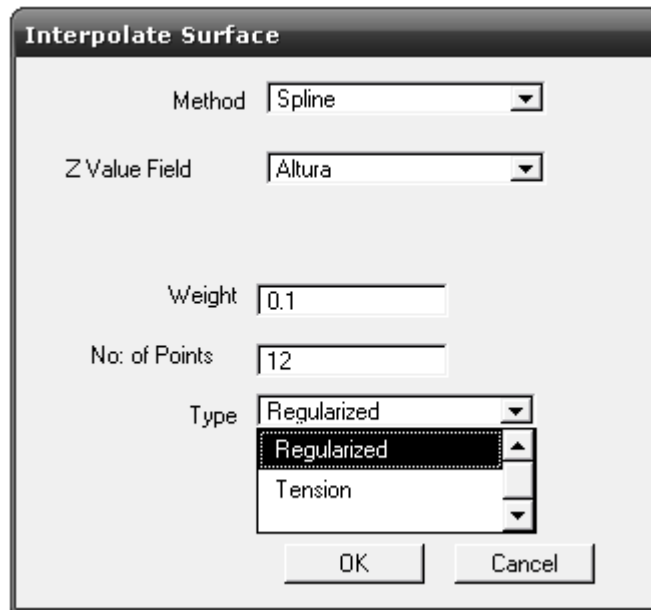
### 6.3. Interpolación por método SPLINE

Spline estima valores usando una función matemática que reduce al mínimo la curvatura de la superficial total, dando como resultado una superficie lisa que pasa exactamente a través de los puntos muestreados. Este método es el mejor para con cuidado variar superficies como la elevación, alturas de superficie del agua, o concentraciones de contaminación.

Hay dos métodos Spline: Regularidad y tensión (Regularizado y Tensión)

Regularidad: El método Regularizado crea una superficie suave, de manera gradual cambiando la superficie con los valores que pueden estar fuera de la gama de datos de la muestra.

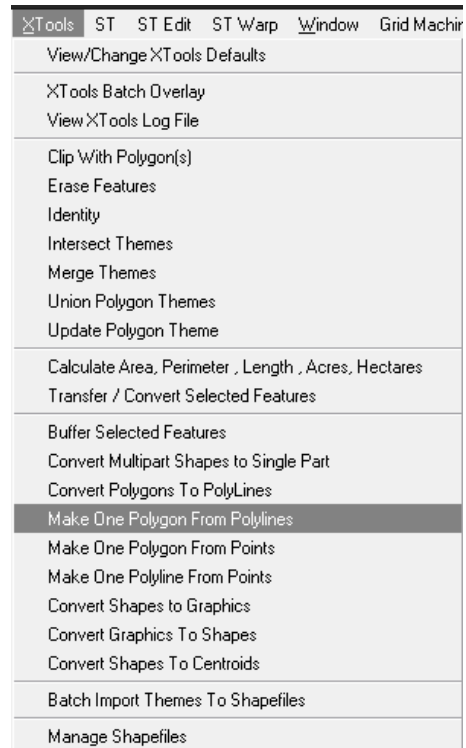
Tensión: El método de Tensión suaviza la rigidez de la superficie según el carácter del fenómeno modelado. Esto crea la superficie lisa con valores estrechamente obligados por la gama de datos de la muestra.



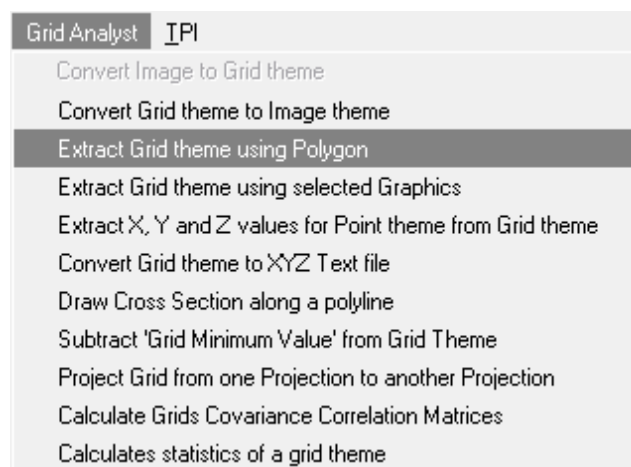
## 7. IMPORTAR Y RECORTAR MASCARA.

El primer paso es importar un tema que contenga la delimitación del área de interés, para esto se debe importar el archivo tipo **CAD** y convertirlo a formato **Shape** siguiendo los pasos anteriormente mencionados.

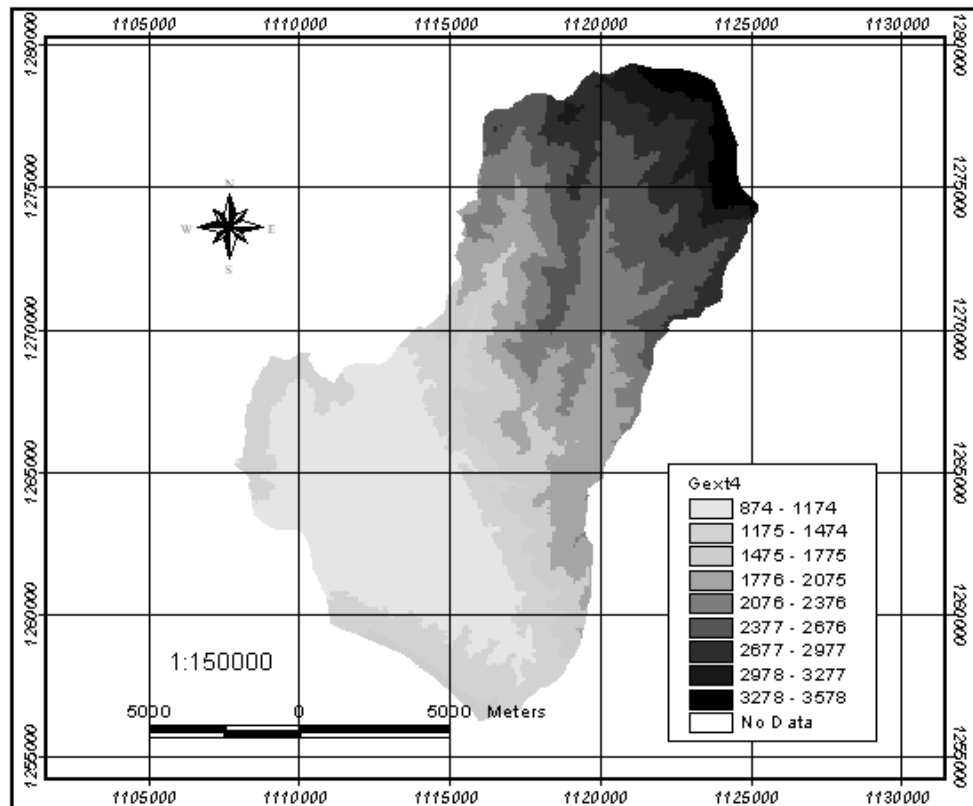
A partir de este tema generamos un polígono para esto utilizamos el **Menú-Xtools-Make One Polygon From Polylines** nos pregunta que si queremos construir a partir del tema seleccionado y damos **Ok** y especificamos la carpeta en la que queremos guardar el archivo.



Para recortar de la Grid la parte seleccionada se va a **Menú Grid Analyst-Extract Grid Theme Using Polygon** y damos **Ok** y especificamos el polígono del cual se desea realizar el recorte y damos **Ok**.



Con esto el programa genera un archivo tipo Grid que contiene el área delimitada por el polígono generando el Modelo Digital de Elevaciones para las curvas de nivel analizadas.

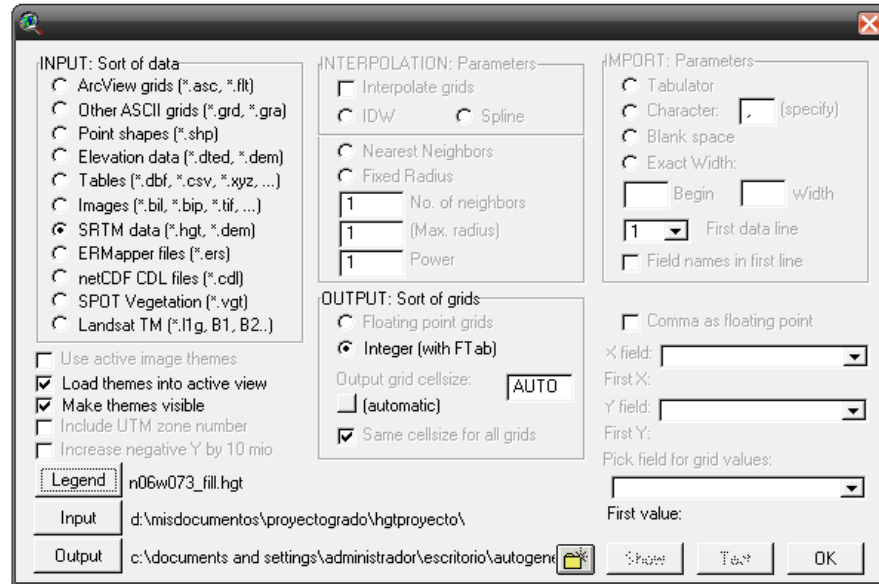


## 8. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN DE A PARTIR DE DATOS SRTM.

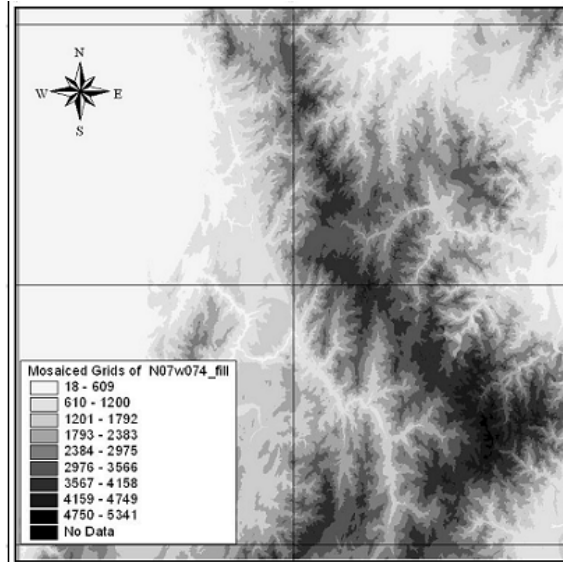
Para realizar la integración entre los datos cedidos por el formato **RASTER** de la **SRTM** (lanzamiento de la Misión Topográfica de Radar) y el **SIG ArcView** se utilizó la extensión **Gridmachine** facilitada como una versión de prueba para estudiantes por la página Web ECOGIS ([www.ecogis.de](http://www.ecogis.de)), esta extensión se ejecuta y ella automáticamente se anexa en la carpeta extensión del programa, y se activa en el **Menú File-Exten.**

### 8.1. IMPORTACION DE DATOS STRM A ARCVIEW

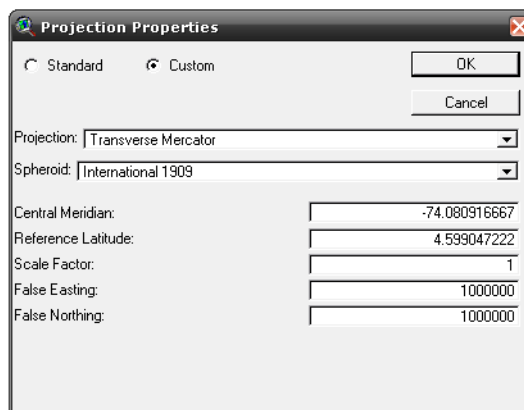
Para importar los datos **SRTM a ArcView** vamos a **Menú GirdMachine-Import Machine**, esta nos despliega una ventada en la cal se debe especificar el tipo de dato, la carpeta donde se encuentran recopilados los datos y la carpeta de salida y damos **Ok**.



Para generar el modelo definitivo fue necesaria la utilización de cuatro archivos diferentes de la misión **SRTM**, con estos archivos se debe generar un mosaico; esta se logra a través de Menú **Transformation-Mosaic**, esto genera un Modelo continuo y sin costuras.



Los datos **SRTM** se encuentran en coordenadas geográficas (latitud y longitud); estos deben ser proyectados al sistemas de coordenadas planas trabajado en Colombia (**Proyección Transverse de Mercator o Gauss Krugger Medele de la Tierra Hayford o Internacional**), esto se realiza a través de **Menú Grid Analyst-Project Grid From one Projection to another Projection**, y nos pide que especifiquemos las unidades en las cuales queremos trabajar y seleccionamos metros, y damos **Ok**, se abre una ventana en la incluimos los parámetros para la definición del sistema de coordenadas de Colombia y damos **Ok**.



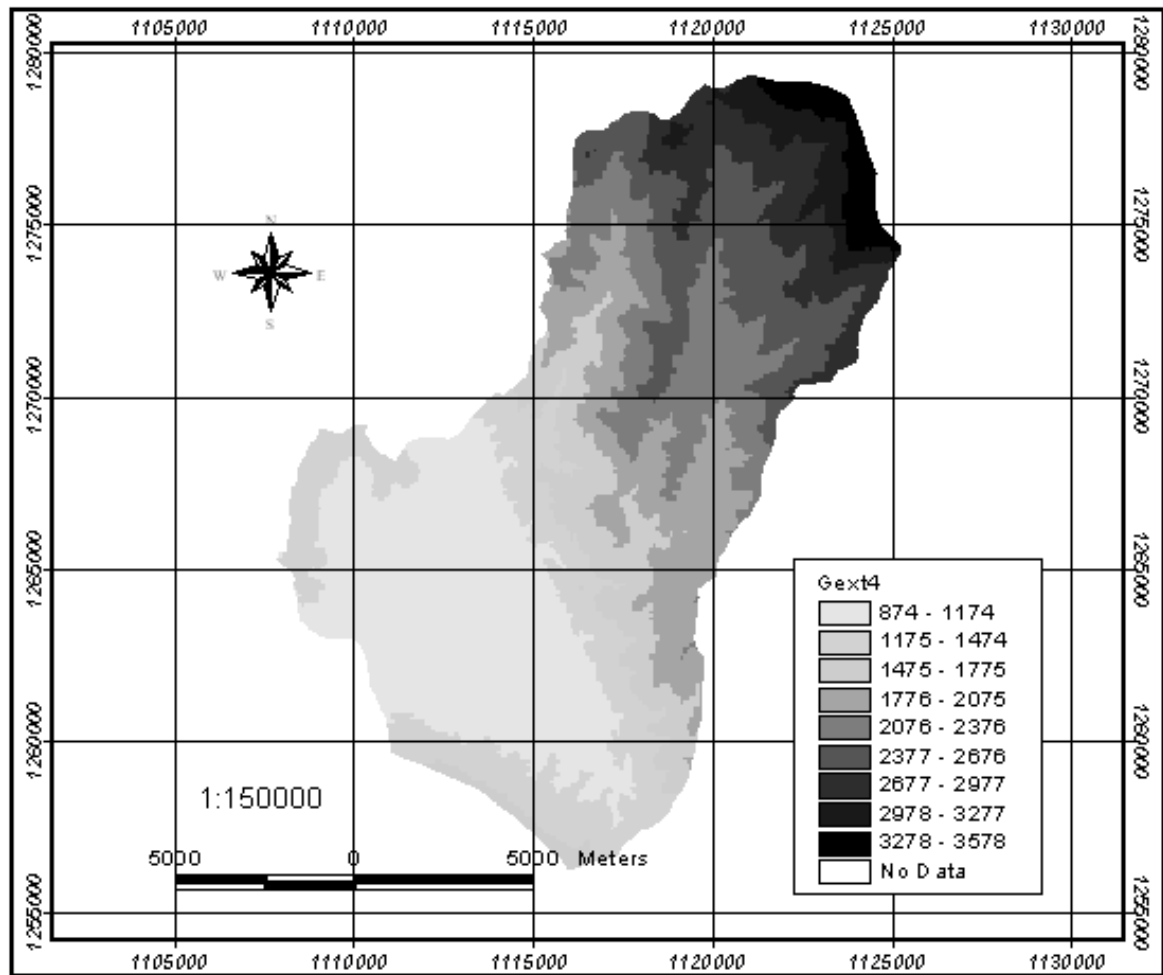
## 9. IMPORTAR Y RECORTAR MASCARA.

El primer paso es importar un tema que contenga la delimitación del área de interés, para esto se debe importar el archivo tipo **CAD** y convertirlo a formato **Shape** siguiendo los pasos anteriormente mencionados.

A partir de este tema generamos un polígono para esto utilizamos el **Menú-Xtools-Make One Polygon From Polylines** nos pregunta que si queremos construir a partir del tema seleccionado y damos **Ok** y especificamos la carpeta en la que queremos guardar el archivo.

Para recortar de la Grid la parte seleccionada se va a **Menú Grid Analyst-Extract Grid Theme Using Polygon** y damos **Ok** y especificamos el polígono del cual se desea realizar el recorte y damos **Ok**.

Con esto el programa genera un archivo tipo Grid que contiene el área delimitada por el polígono, generando el Modelo Digital de Elevaciones para la información obtenida de la **SRTM**.



**ANEXO B: MANUAL DE  
PROCESAMIENTO PARA ESTUDIO  
DE CUENCAS BASADO EN  
ANÁLISIS DE IMÁGENES  
SATELITALES EN EL SOFTWARE  
SPRING 5.0.4.**


Basado en el Taller de Clasificación de Imágenes. Material de soporte para la Especialización en Sistemas de Información en Geográfica, UIS, Jorge Pinto, 2003

## **TABLA DE CONTENIDO**

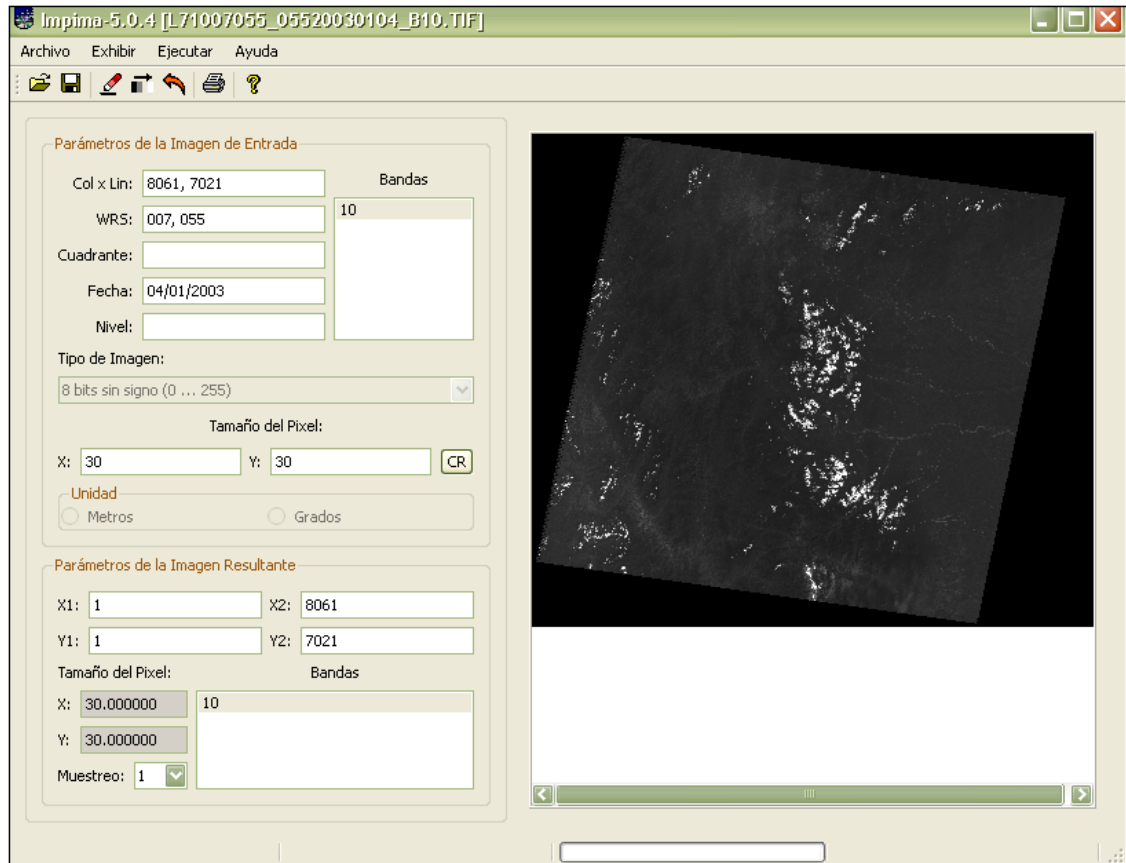
- 1. ADQUISICION DE LA IMAGEN POR IMPIMA**
- 2. GENERACION DE UN BANCO DE DATOS**
- 3. CREACION DE PROYECTOS SPRING**
- 4. REGISTRO DE UNA IMAGEN**
- 5. IMPORTAR IMÁGENES A SPRING**
- 6. CLASIFICACION SUPERVISADA POR PIXEL**
  - a. ENTRENAMIENTO**
  - b. CLASIFICACION**
  - c. POST- CLASIFICACION**
  - d. MAPEO**
- 7. IMPORTAR Y RECORTAR MASCARA**
- 8. ANALISIS MATRICIAL Y VECTORIAL**

## 1. ADQUISICION DE LA IMAGEN POR IMPIMA


Para trabajar una Imagen de Satélite en cualquiera de las versiones de SPRING lo más aconsejable es transformar el formato de la imagen ya sea tipo RAM (Formato crudo de adquisición de las imágenes otorgado por Satélite) o formato TIFF a formato GRIB. Para realizar este proceso SPRING ofrece una herramienta llamada IMPIMA que utiliza las imágenes y permite guardarlas en el formato deseado.

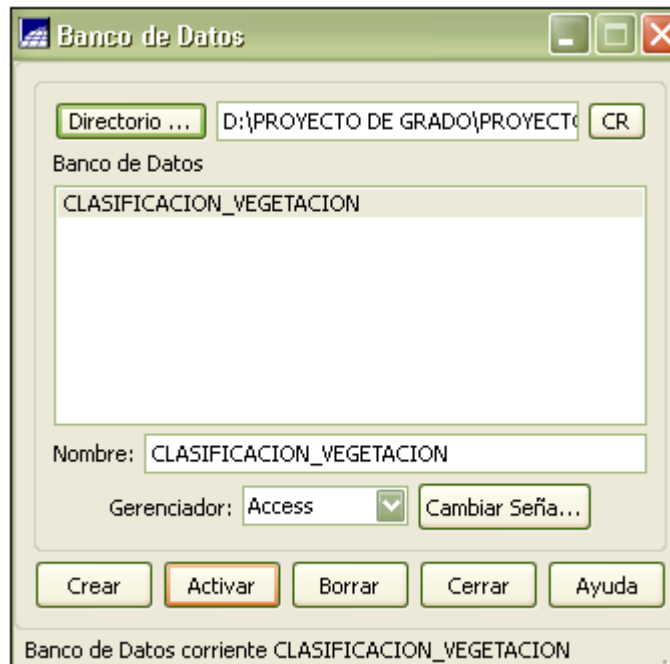
YA en IMPIMA se especifica el tipo de archivo que se va a abrir y se indican el número de columnas por filas que posee la imagen y la resolución de adquisición del satélite, se procede a señalar la banda y a visualizar la imagen dando clic en el botón visualizar .

Después de visualizada la imagen se guarda como archivo tipo SPG se señala la banda y se debe observar que el **Muestreo** sea 1 para que se mantenga la resolución a la hora de guardar la imagen. Este procedimiento debe realizarse para todas las bandas.



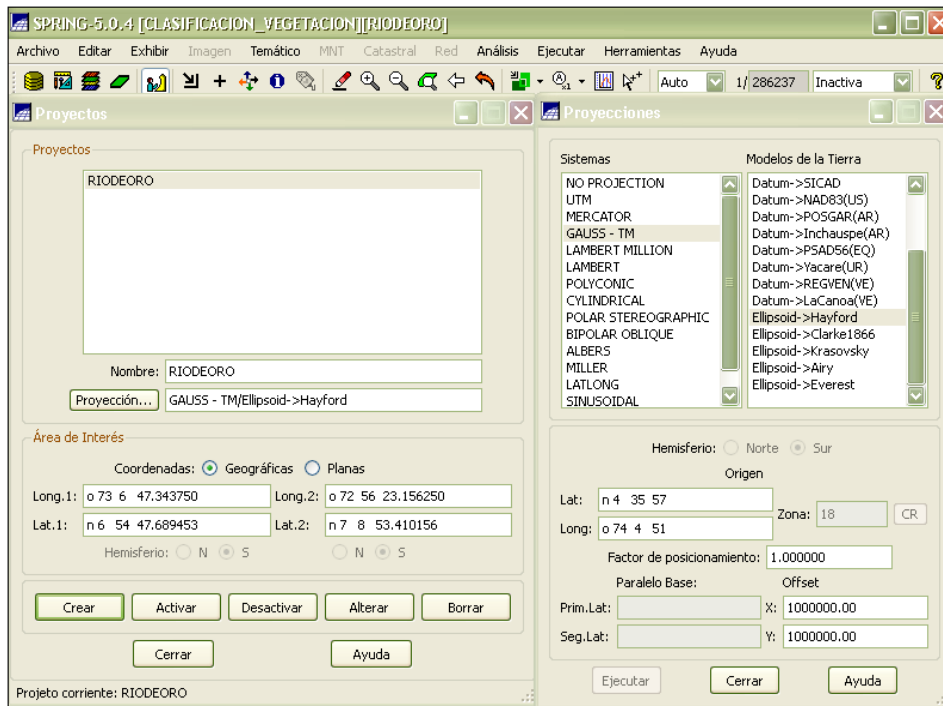
## 2. GENERACION DE UN BANCO DE DATOS


Una vez en la pantalla principal del Spring, con el botón  o por la Ruta **Archivo-Banco de Datos** abrimos el banco de datos sobre el cual se quiere trabajar, sino se ha creado ningún banco de datos dar un Nombre y el Tipo de formato en el que se quiera guardar la base de datos ya sea Dbase, Access o Oracle entre otras y se da clic en **Crear** y luego **Activar**. Si ya se ha creado uno previamente entonces sobre la ventana se selecciona el banco de datos y posteriormente se da clic en activar. Lo más recomendable es guardar el banco de datos en el Disco D del computador donde se está trabajando.




### 3. CREACION DE PROYECTOS SPRING

Para crear el proyecto en el que se trabajara es necesario determinar la proyección de las imágenes y las coordenadas del proyecto, este paso es de suma importancia: la proyección puede venir ya determinada por el tipo de imagen con la cual se está trabajando, para nuestro caso trabajamos con la proyección GAUSS- TM con el Elipsoide Hayford y tomando como origen Bogotá. Las coordenadas del proyecto deben ser mayores al área de las imágenes sobre las cuales vamos a trabajar para evitar errores de borde en la clasificación, para finalizar damos clic en **Ejecutar** y luego **Activar**



Cada vez que se desee activar el proyecto se puede proceder con el botón  o siguiendo la ruta **Archivo- Proyecto**

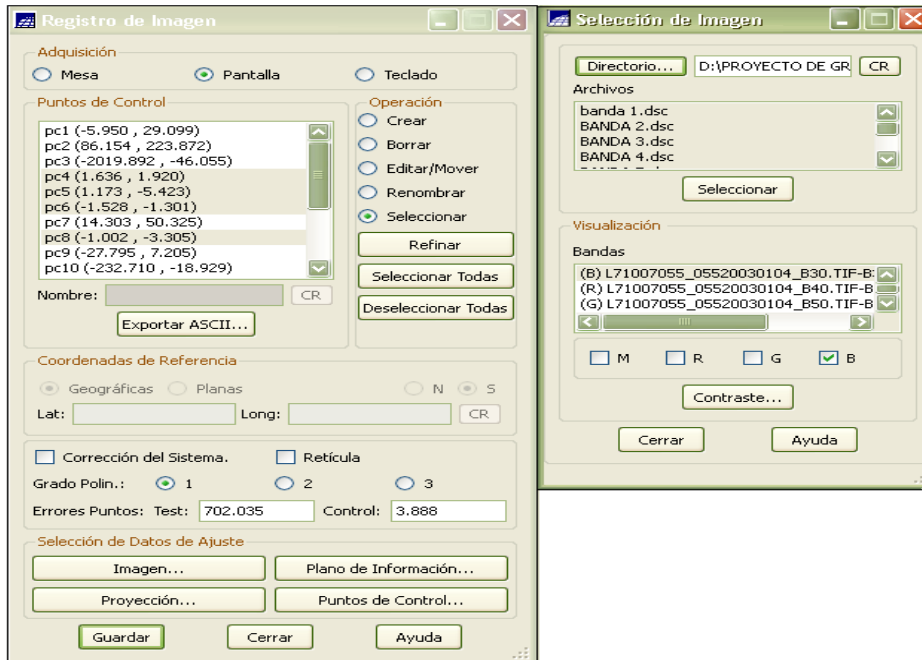
Es de gran importancia crear las categorías y sus respectivas clases antes de realizar el registro e importación de imágenes geo-referenciadas al proyecto, para esto se puede llamar al modelo de datos mediante el botón  o por la ruta **Archivo- Modelo de Datos**, aquí se crean las categorías con las que se trabajaran ya sean tipo Imagen, Temáticas, Objeto, Catastral, etc. Después de creadas las categorías y sus clases dar clic en **Ejecutar**.



#### 4. REGISTRO DE UNA IMAGEN

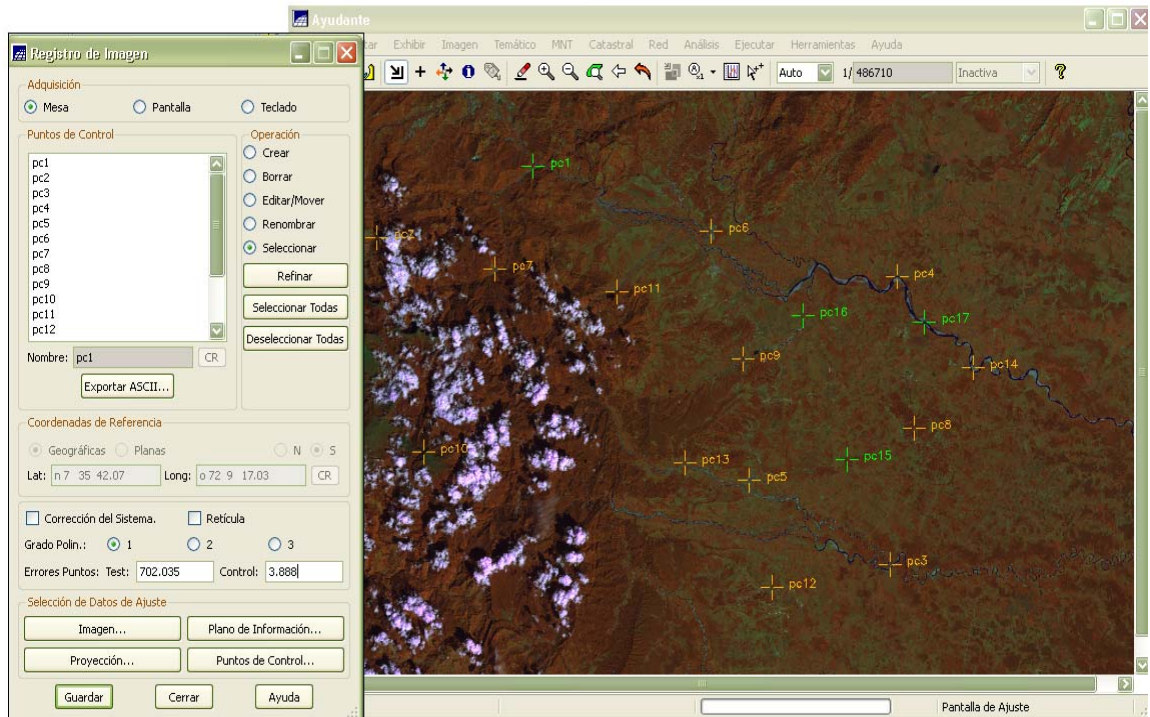
Para la Clasificación Supervisada es necesario que las imágenes sean geo-referenciadas y para esto se debe realizar primero el registro de la imagen en SPRING por la ruta **Archivo- Registro**.

Aparece de inmediato la pantalla **Ayudante** allí se visualizara la imagen y los puntos de control que se irán creando. En la selección Imagen se buscara la carpeta en donde se encuentran registradas las imágenes y se seleccionan las bandas con las que se va a trabajar, por ejemplo: 4®, 5(G), 3(B)



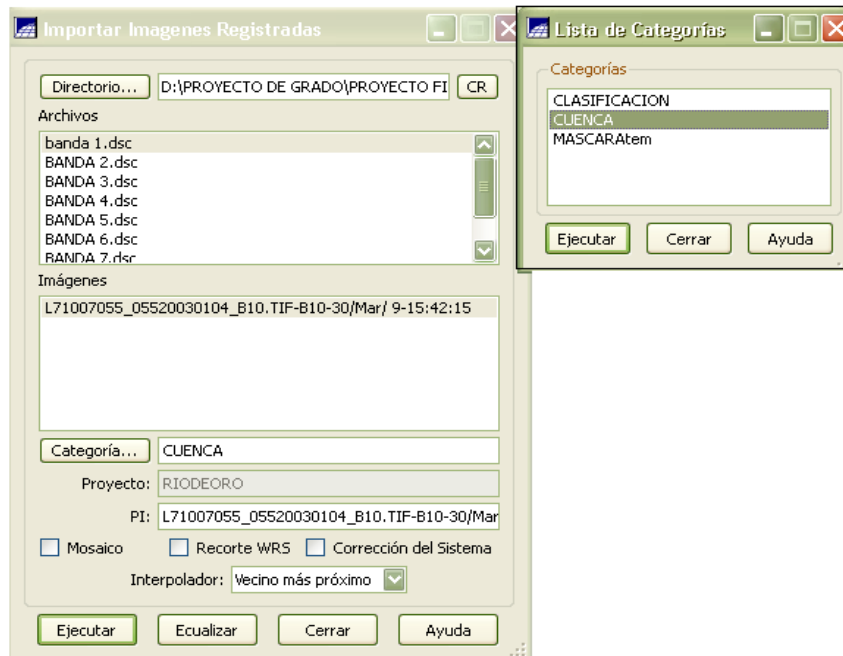
En registro de imagen se escoge el tipo de adquisición por **Teclado**, para activar la opción **Crear** en **Operación** y asignar un nombre al primer punto de control, puede ser PC1 y se hace clic en CR, luego en la pantalla Ayudante se ubica el punto de control (se recomienda ubicar puntos que sean fácilmente reconocidos a simple vista). Para finalizar se le otorga las **Coordenadas de Referencia** ya sean Planas o Geográficas y se da clic en **CR**.

Esta operación debe realizarse para un número considerable de puntos de control mínimo 6 si se trabaja con **Grado Polin1**, lo mejor es tomar el mayor número de puntos de control como lo sea posible y después seleccionar los que me generen un menor error. En el momento de escoger los puntos de control se debe observar el error por puntos de control que muestra SPRING automáticamente, este error no debe ser mayor a 5 Pixeles en caso de trabajar con USO DE TIERRA O COBERTURA VEGETAL.




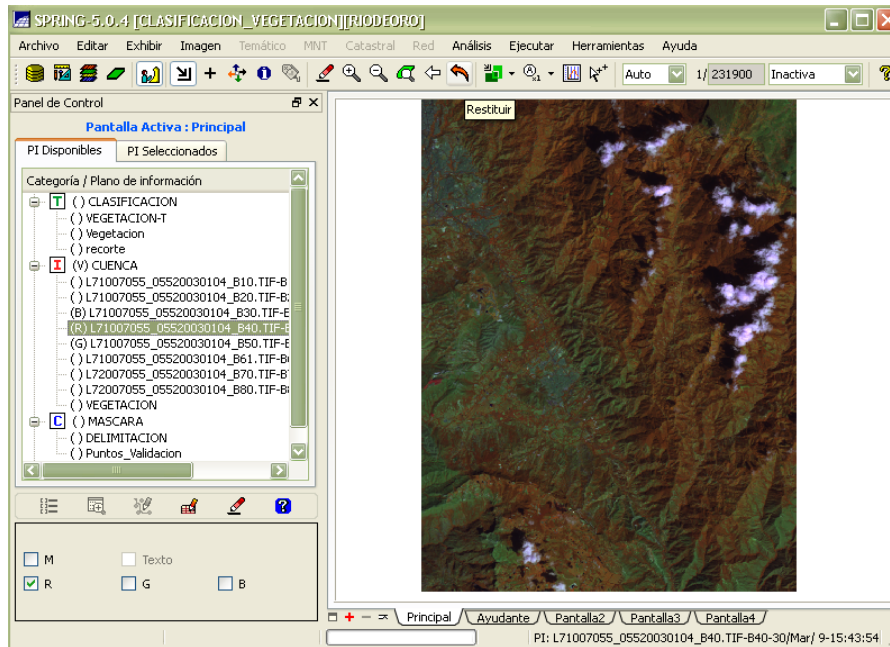
## 5. IMPORTAR IMÁGENES A SPRING

Es posible importar las bandas geo-referenciadas previamente a SPRING, mediante la ruta **Archivo- Importar Imágenes Registradas**. Aquí se busca el directorio donde se encuentran guardadas las imágenes y se selecciona una por una, seleccionando la categoría tipo Imagen a la que pertenecen, luego se le otorga el nombre al PI en el que se quiere guardar y se da clic en **Ejecutar**, estos se repite para todas las bandas.

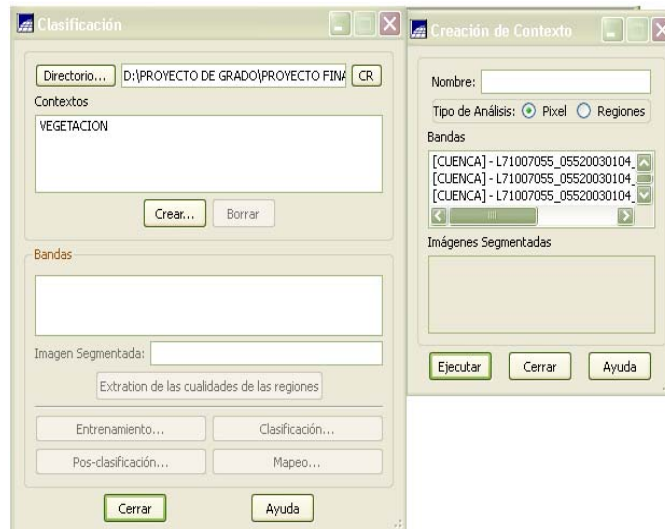


## 6. CLASIFICACION SUPERVISADA POR PIXEL

Para realizar la clasificación Pantalla principal se selecciona la categoría Imagen donde se encuentran guardadas las bandas y se genera en falso color la combinación de Bandas 4® , 5(G), 3(B) y se oprime el botón Restituir .



Después de esto se selecciona **Menú- Imagen- Clasificación** para comenzar con el proceso de clasificación. Lo primero que se debe hacer es hacer clic en **Crear** allí se le otorgara un nombre y se seleccionan las bandas con las que será realizada la clasificación y se presiona **Ejecutar** para que sea creado.

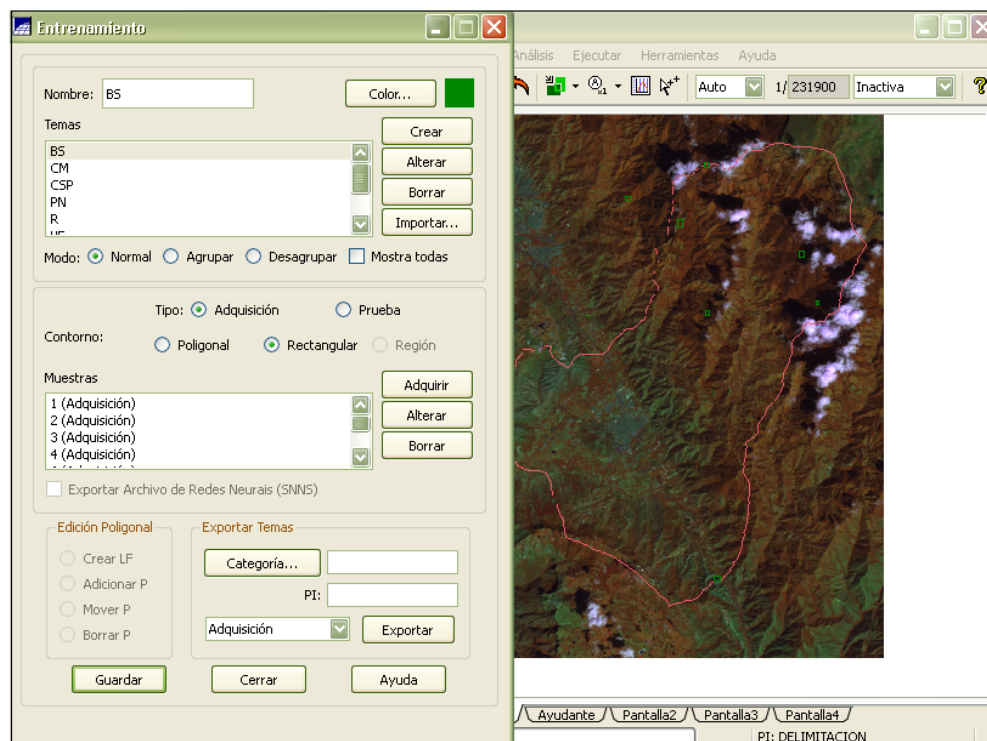


La clasificación se lleva a cabo en 4 pasos: Entrenamiento, Clasificación, Pos-Clasificación y Mapeo

### a. ENTRENAMIENTO

Una vez desplegada la ventana **Entrenamiento** se debe asignar el nombre del primer tema, se le asigna un color que concuerde con los asignados en el Modelo de Datos y se hace clic en **Crear**.

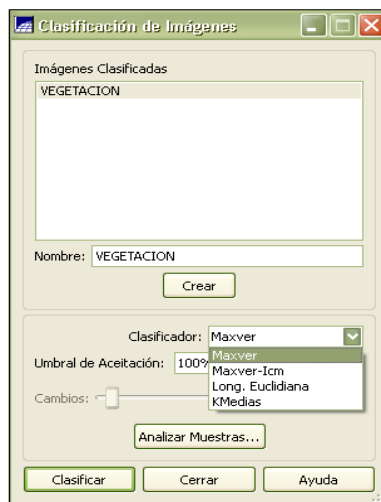
Se debe escoger el tipo de adquisición y se adquieren las muestras con un contorno en forma rectangular, seleccionando sobre la imagen como si se fuera a hacer un Zoom, una vez realizado esto se hace clic en Adquisición esto se repite para todos las muestras. Se deben adquirir por lo menos dos muestras para cada tema.



Una vez realizada la adquisición de las muestras se pueden visualizar entrando de nuevo en el menú entrenamiento y seleccionando cada uno de los temas o de las muestras que se desee visualizar, además se tiene la opción de alterar el tipo de muestras si se desea.

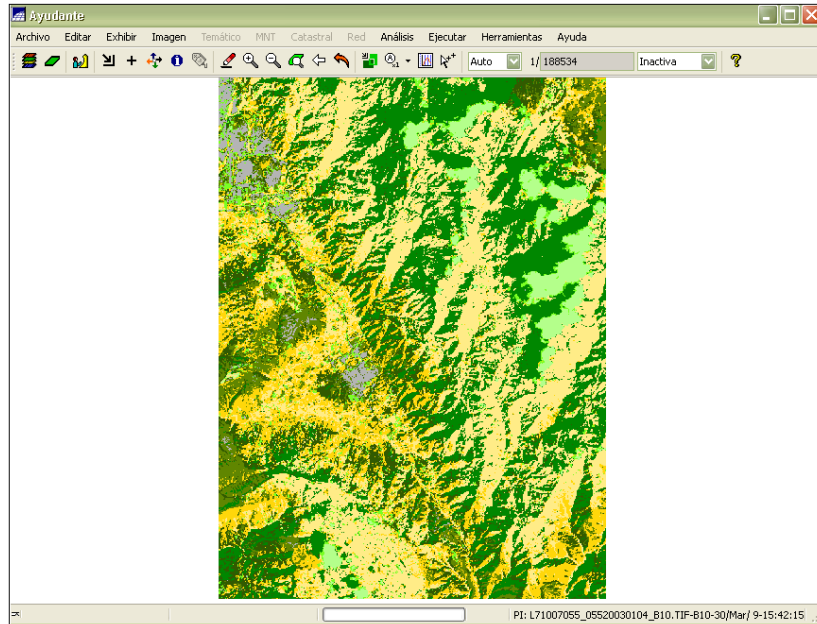
## b. CLASIFICACION

Una vez realizado el Entrenamiento, el paso siguiente es la clasificación, al entrar a esta opción se debe asignar un nombre, crear el archivo y luego seleccionar el clasificador que se va a utilizar se recomienda realizar la prueba varias veces cambiando el clasificador ya que cada uno realiza diferentes ajustes.

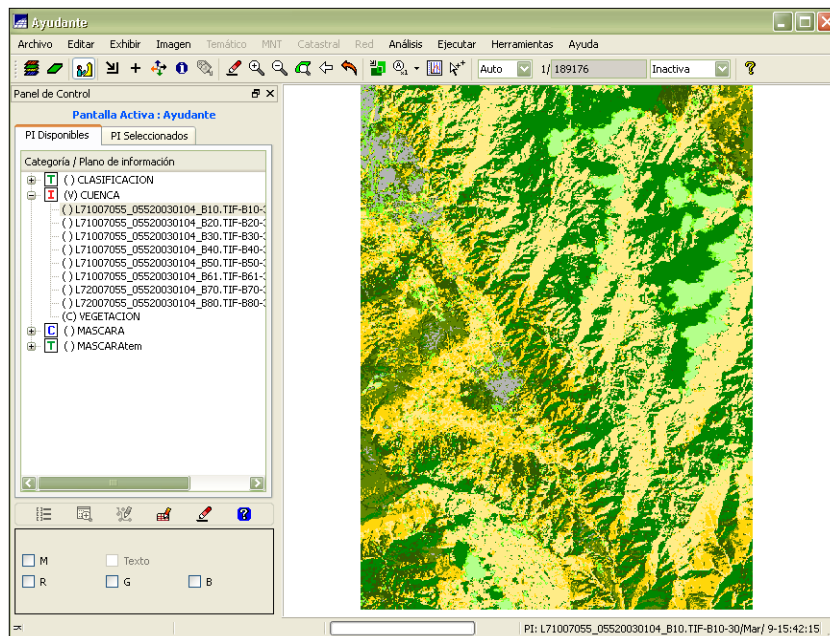


A continuación se muestran algunos ejemplos de los diferentes clasificadores para una misma zona de estudio

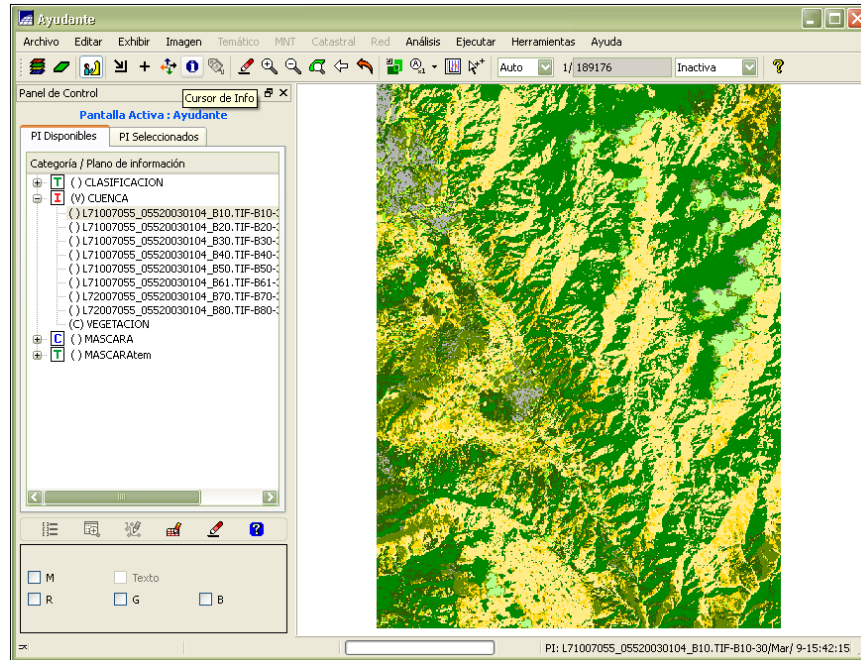
- Clasificador Maxver umbral 100%



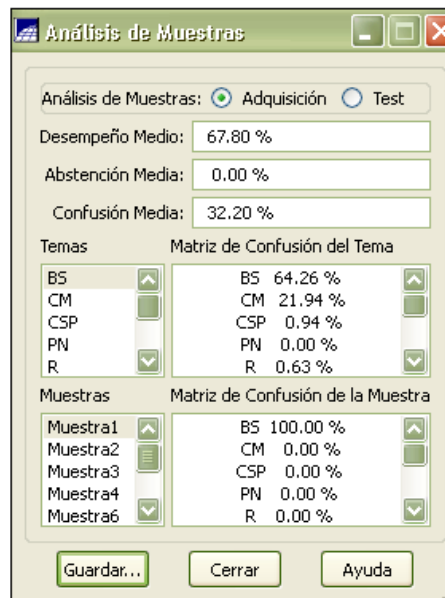
- Clasificador Maxver- Icm porcentaje de mudanza 5 % y umbral del 100%



- Clasificador Distancia Euclidiana



El Paso siguiente es Analizar las muestras tomadas



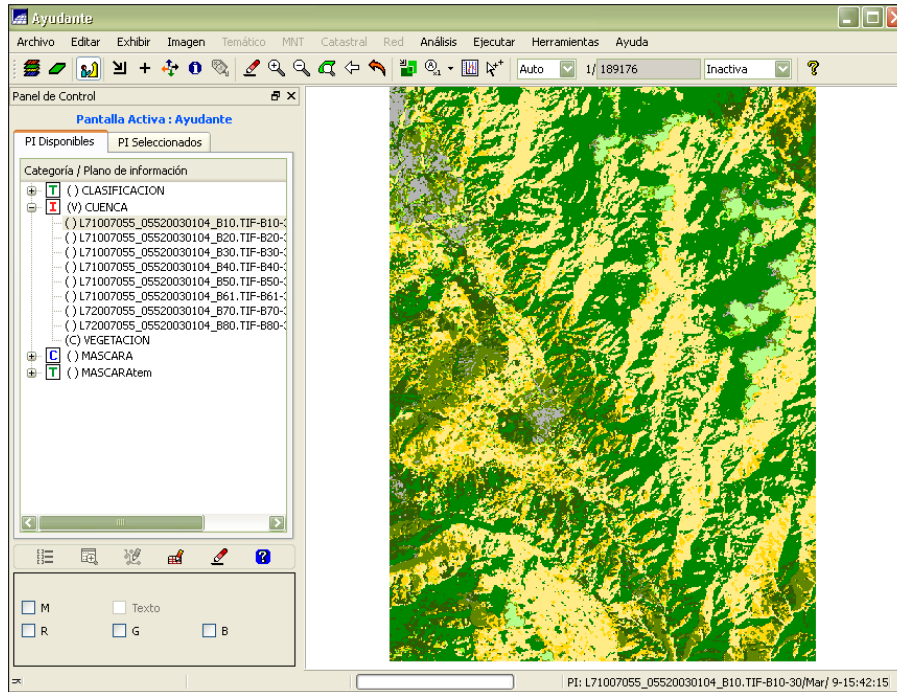
XXX

Si se presentan muestras que presentan una alta confusión, retornar al entrenamiento para edición. Si los resultados son aptos se guarda el archivo y se realiza la clasificación final de la imagen.

### c. POST- CLASIFICACION

En este paso se eliminan los ruidos de clasificación, para este proceso se escogen las imágenes clasificadas y se les asigna un peso, que para efectos de nuestro análisis será igual a 4, un umbral que será 4 y se ejecuta el proceso. Una vez realizado esto se visualiza la imagen resultante en el **Ayudante**. Es recomendable otorgar diferentes pesos y umbrales.





#### d. MAPEO

Este es el último paso en el cual se propone cartografías temas de la imagen clasificada para clases del Banco de datos

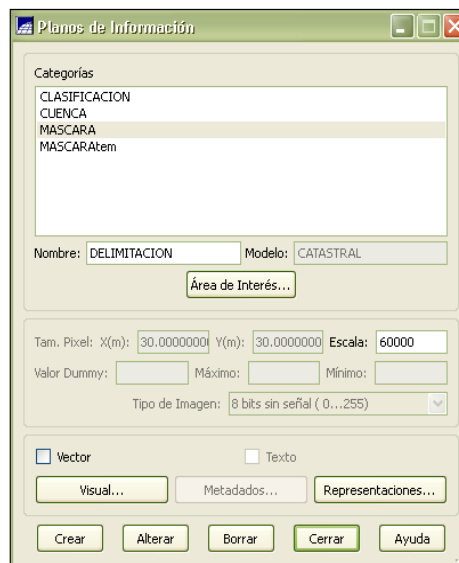


Se debe activar la opción **Mapeo** y una vez ahí se escoge la Categoría, Imagen Clasificada, Temas y Clase. Este proceso se debe repetir para todos los temas y para cada Tema debe haber una clase temática asociada.

## 7. IMPORTAR Y RECORTAR MASCARA

La imagen completa en falso color es muy grande para trabajar y requeriría mucho equipo para realizar los procesos de análisis matricial y vectorial. Por esto se debe recortar la imagen en el área de interés. Para realizar este proceso se debe importar un archivo en el que las coordenadas de la máscara coincidan con las del área del proyecto a trabajar, el formato de la máscara debe ser DXF.

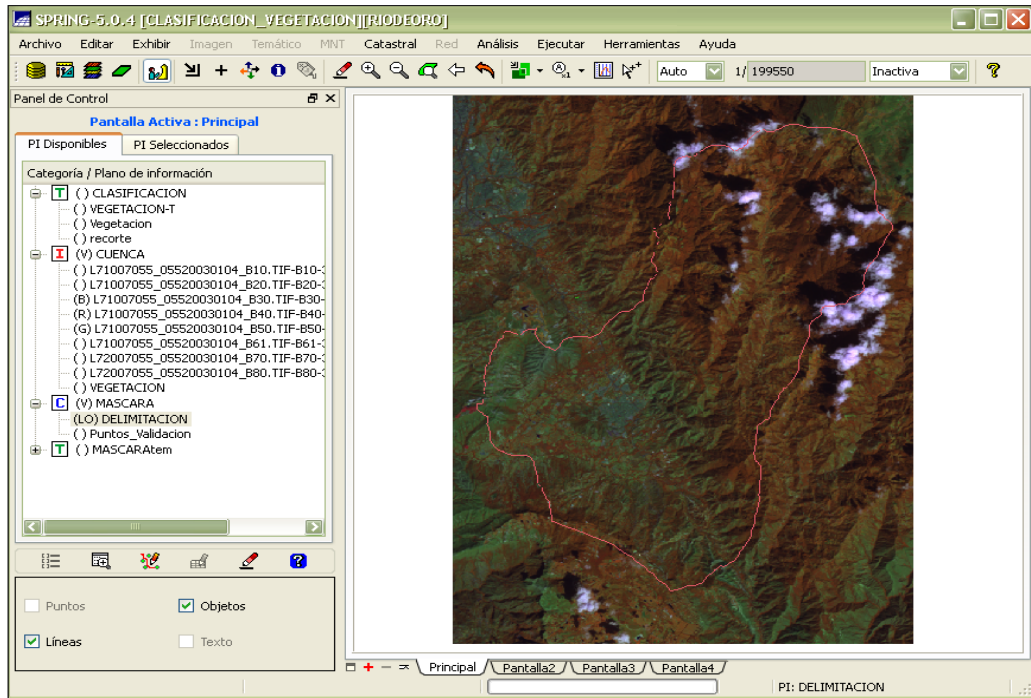
Antes de importar por la ruta **Editar- Plano de Información** se crea un tema en el modelo Catastral allí se debe otorgar el nombre con el que se va a guardar el archivo DXF.



Para importar archivos DXF se sigue la ruta **Archivo- Importar** aquí se señala el tipo de archivo que se importara en este caso DXF/R12, luego se selecciona el Layer que se va a importar y se da clic en **Ejecutar**

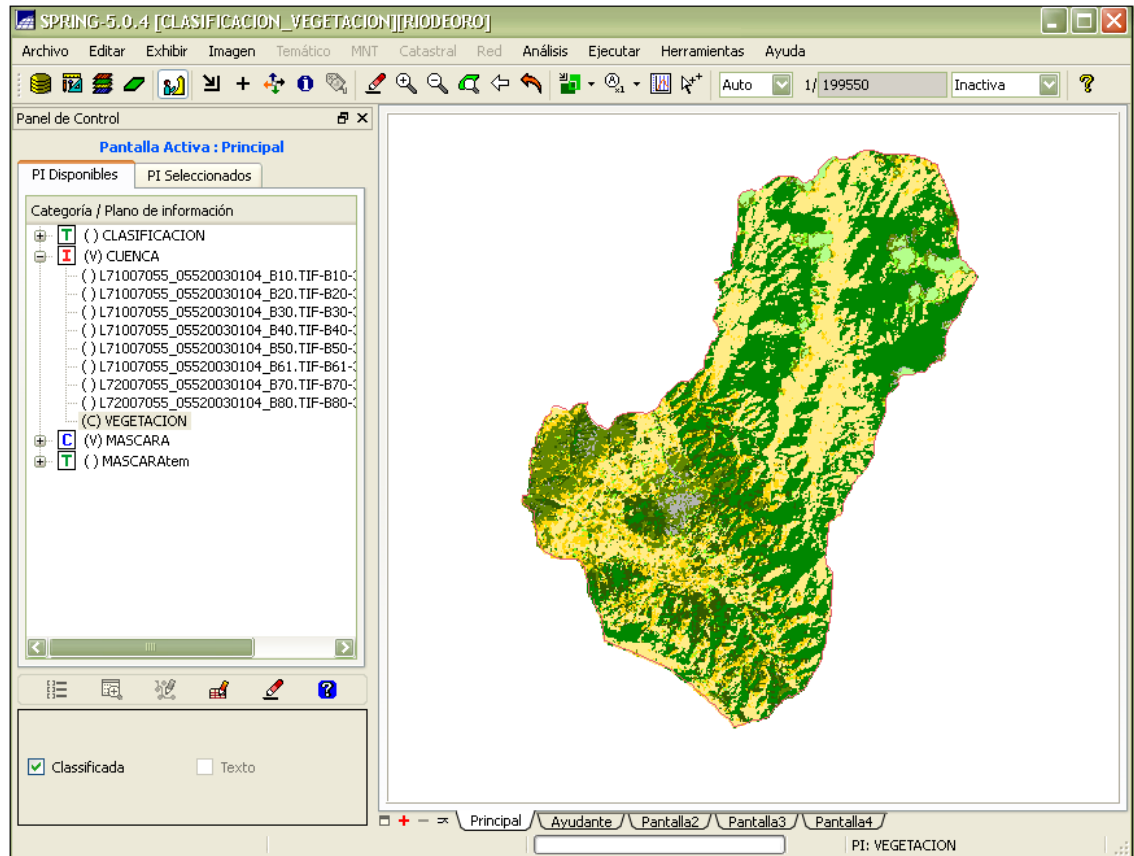


Después de importado se debe visualizar y chequear que coincida con la zona que se desea trabajar de los contrario hay que realizar los ajustes en AUTOCAD y repetir todo el proceso.



Después se recorta la zona de interés por la ruta **Herramientas- Recortar Plano de Información** aquí se selecciona la máscara y clic en **Ejecutar**, se activa el ayudante y se da clic dentro de la máscara seleccionada, el corte debe ser interior para que se conserve lo que está dentro de la máscara.

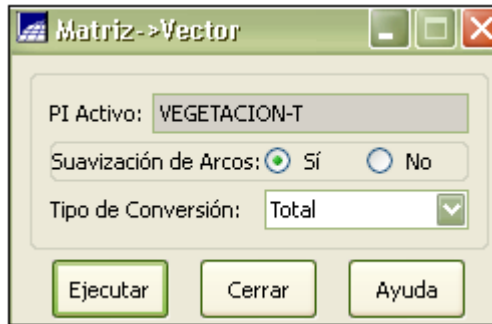




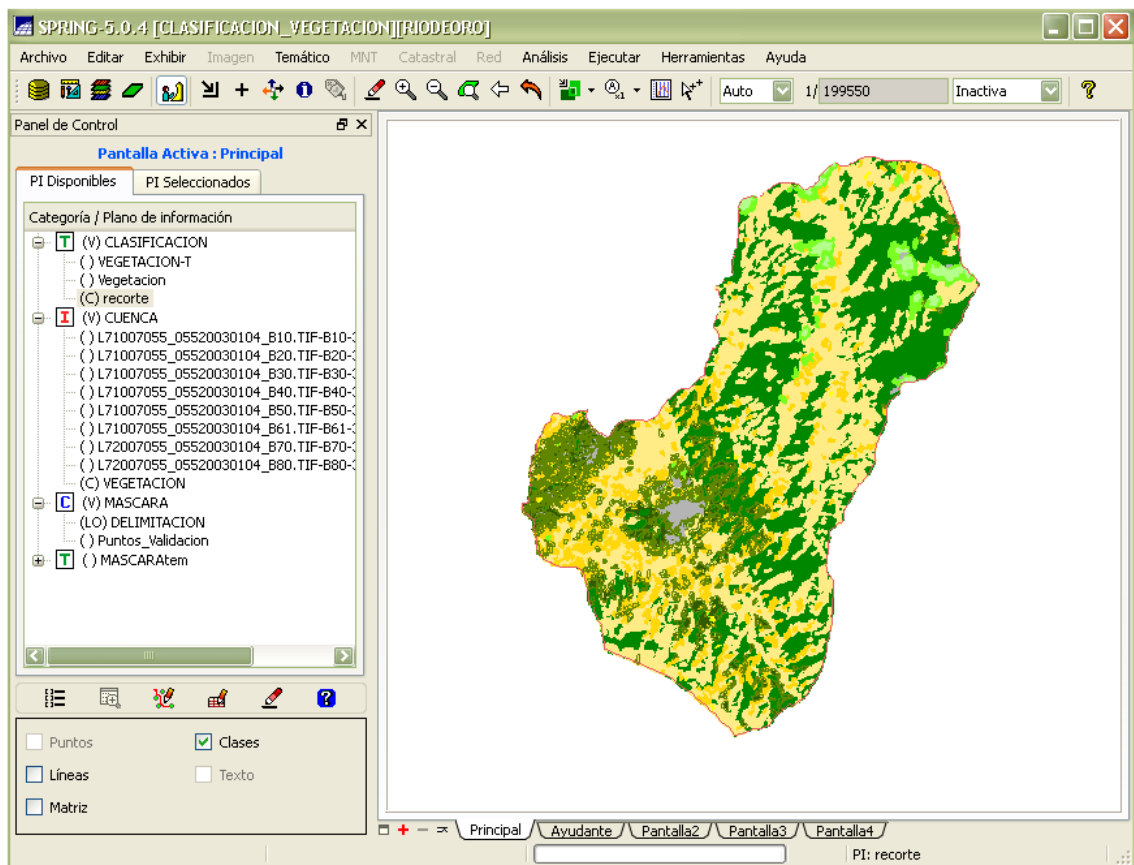
## 8. ANALISIS MATRICIAL Y VECTORIAL

Después de obtener el modelo temático del terreno es necesario transformar el terreno matricial a uno vectorial. Si el estudio no requiere un análisis tan detallado del terreno en el modelo vectorial es posible eliminar los polígonos de menor área.

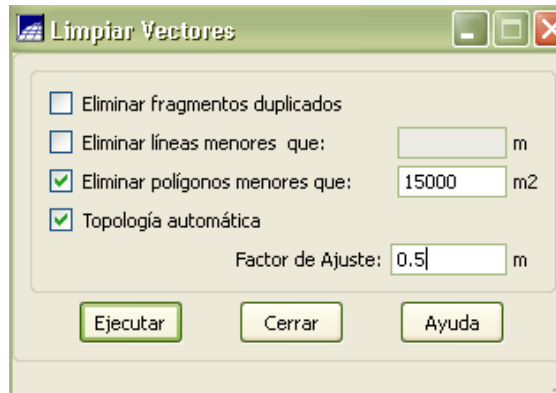
Para pasar de matricial a vectorial utilice la ruta **Temático- Matriz->Vector**



La representación vectorial y de las clases se vería de la siguiente manera.



Si se desea eliminar los polígonos muy pequeños para homogenizar mejor las regiones se puede utilizar por ejemplo 1.5 Ha siguiendo la ruta **Herramientas-Limpiar vectores**.



Aquí se debe asignar un valor de Topología automática igual a 0.5 m de ajuste que es aceptable para asegurar la corrección de posibles errores en el ajuste de polígonos.

Después de esto se debe ingresar a **Temático- Vector-> Matriz**, para generar el nuevo modelo matricial resultante.



Es posible que se generen vacíos en la matriz donde ninguna clase ha sido asignada para corregir estos errores por lo que se debe ir a **Temático- Edición Matricial** y basándose en el conocimiento de las clases se procede a completar los vacíos generados durante el proceso.

Se debe seleccionar la clase y generar el polígono en la región de vacío que corresponde y completar el modelo matricial. Después de terminadas las

respectivas correcciones ir a **Temático- Matriz->Vector** y reemplazar el modelo vectorial previo.

La clasificación consiste en un proceso de extracción de información en imágenes para reconocer patrones y objetos homogéneos, Los Clasificadores pixel a pixel utilizan únicamente la información espectral de cada pixel aisladamente para encontrar zonas homogéneas. El resultado final de la clasificación es una imagen digital que constituye un mapa de pixeles clasificados, representados por símbolos gráficos o colore