

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE
LA SIERRA DE PERIJÁ MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE
IMÁGENES SATELITALES
LANDSAT 7 ETM**

(COORDENADAS 72°30' a 73°05' Long. Oeste
y 9°40' a 10°00' Lat. Norte)

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Caires S. Joao F.,
Jaimes M. Gerardo.
Para optar al Título de
Ingeniero Geólogo

Caracas, Junio de 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA
SIERRA DE PERIJÁ MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE
IMÁGENES SATELITALES
LANDSAT 7 ETM**

(COORDENADAS 72°30' a 73°05' Long. Oeste
y 9°40' a 10°00' Lat. Norte)

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ricardo Alezones

COTUTOR ACADÉMICO: Ing. Mauricio Hernández

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Caires S. Joao F.,
Jaimes M. Gerardo.
Para optar al Título de
Ingeniero Geólogo

Caracas, Junio de 2008

**Caires S. Joao F.,
Jaimes M. Gerardo.**

**ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA
SIERRA DE PERIJÁ MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE
IMÁGENES SATELITALES
LANDSAT 7 ETM**

(COORDENADAS 72°30' a 73°05' Long. Oeste
y 9°40' a 10°00' Lat. Norte)

Tutor Académico: Prof. Ricardo Alezones. Cotutor Académico: Ing. Mauricio Hernández. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geológica, Minas y Geofísica. 2008, 237 pag.

Palabras Claves: Imagen Satelital, Sensor Remoto, *LANDSAT 7*, Hiperespectral, *Software*, Firma Espectral, Bandas Espectrales.

Resumen. El presente trabajo consistió en la actualización de la cartografía geológica de la Sierra de Perijá mediante la utilización de imágenes satelitales *LANDSAT 7 ETM* (coordenadas 72°30' a 73°05' longitud oeste y 9°40' a 10°00' latitud norte). Este trabajo busca darle una solución alternativa a la problemática que representa la necesidad de la realización de un estudio geológico en aquellas zonas de difícil acceso. En búsqueda de una solución aplicable para todas aquellas regiones que puedan presentar esa misma problemática, se propone el uso de los *softwares ENVI 4.2, ERDAS Imagine 8.6 y ArcGis 9.1* para el procesamiento e interpretación de imágenes satelitales, sirviendo como herramienta útil para la actualización de datos geológicos de zonas de difícil acceso. Durante el procesamiento de las imágenes se obtuvo un grupo de subproductos, que de manera individual o conjunta, aportaron información para la generación del producto final, el mapa geológico

actualizado del área propuesta, que al ser comparado con información previa, a manera de tener una referencia visual de la zona, permitió demostrar que con la utilización de este tipo de estudio es posible llegar a resultados muy similares a los que se han obtenido con estudios de geología clásica.

Caracas, Junio de 2008

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Caires S. Joao F. y Jaimes M. Gerardo., titulado:

“ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA SIERRA DE PERIJÁ MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 7 ETM (COORDENADAS 72°30' a 73°05' Long. Oeste y 9°40' a 10°00' Lat. Norte)”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.

Prof.
Jurado

Prof.
Jurado

Prof. Ricardo Alezones
Tutor Académico

Ing. Mauricio Hernández
Cotutor Académico

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, la salud, el amor, y la maravillosa familia que tengo, eres lo máximo.

A mis padres por su apoyo, cariño y ayuda incondicional que siempre nos ofrecieron y sin los cuales no podríamos haber llegado hasta aquí.

Joao Caires



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

DEDICATORIA

A Dios, tu que siempre estas con nosotros y nos iluminas cuando más lo necesitamos, por eso te dedico este trabajo, gracias a ti todo se puede lograr en esta vida.

A mis padres por permitirme ser la persona que soy, y por brindarme todo el apoyo y cariño incondicional durante todo este tiempo. Este logro les pertenece.

Gerardo Jaimes



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

AGRADECIMIENTOS

- ❖ Agradezco enormemente a mi familia, por influir en la persona que soy hoy en día; mi madre y padre por demostrarme los verdaderos valores de una familia, por criarme de la manera en que lo hicieron... con amor sobre todas las cosas! A mis bellas hermanas por enseñarme los valores sentimentales que debe portar un hombre del bien; mi cuñado por darme palabras de aliento cuando lo he necesitado, mi sobrino Alvaro por darnos esa gota de presencia que siempre aporta alegría! A todos por creer en mí. Los quiero muchísimo...

 - ❖ A mi bella gafita (Analis Sillet)... desde que estamos juntos no has hecho más que preocuparte por mi y ayudarme en lo que siempre hayas podido; agradezco por aquellas noches de desvelo que pasamos estudiando juntos, o que simplemente te trasnochabas junto a mí para ayudarme en trabajos... simplemente eres tú! La mujer excepcional que incondicionalmente me ha apoyado y creído en mi... TE AMO muy por encima de muchas cosas y quiero que sepas que nunca lo he dejado de sentir...

 - ❖ A mi hermano del alma Fermín Quiros; extendiendo mis profundos agradecimientos a ti por ser la persona que desde pequeños ha sido la de mayor influencia para mi persona, siempre con los consejos adecuados y tomando el camino del bien... la verdad es que no sé qué sería de mi persona si no hubiese compartido tantos años de amistad contigo, y realmente espero compartir con tus nietos la gran persona que eres! Se te quiere mucho hermano...

 - ❖ A mis hermanos y hermanas: Christian Diaz, Jesus Dubront, Liliana Nuñez, Katuska Valdez y Adriana Perdomo; sin ustedes no creería que la amistad de la adolescencia pudiera durar toda la vida... gracias por creer en mí, por siempre estar allí cada vez que los he necesitado, lo cual espero que sea por siempre!
-

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- ❖ A mi compañero de tesis, amigo y hermano Gerardo Jaimes; por ser una guía y ejemplo a seguir durante la carrera, por compartir tantos momentos buenos en mi vida y ayudarme a superar los malos, por saber mantener esta bella amistad durante esta tesis, amistad que espero dure mucho mas allá de poder ver a nuestros hijos jugar futbol juntos!

 - ❖ A mi hermano y compañero de tesis Hernán Semprúm, por ser un amigo incondicional, esa persona que sabe valorar que la amistad no es solo estar en los momentos de decadencia, sino que también es compartir momentos de alegría! Hermano... de verdad que infinitas gracias por siempre ayudarme a recuperarme cuando estoy mal y apoyarme cuando lo he necesitado... la amistad se basa en confianza y respeto... por eso sé que la nuestra durará por siempre! Se te quiere full Viejito!

 - ❖ A la familia Semprúm-González; definitivamente sin el apoyo de ustedes no estuviera escribiendo estas líneas en este Trabajo Especial de Grado... a la señora Fela por hacerme sentir como a un hijo mas, a Anabel por consentirme y por esa compañía incondicional durante esos días de martirio; a Javi (El sobrino...) quiero que sepas que en verdad te considero como mi sobrino mayor! Y agradezco por compartir conmigo horas de desvelo... a Javier y el señor Hernán! por siempre alentarnos a terminar lo más pronto posible! Además de tratarnos como a unos hermanos e hijos más... a Juani por esos cafés que llegaban en el momento justo cuando las energías se agotaban! sepan que se les quiere full y nunca olvidare toda la ayuda y su apoyo infranqueable... mil gracias!

 - ❖ A mi gran amigo, compañero de tesis y hermano Carlos Galindo; aparte de aportarnos una inmensa ayuda en la instalación de los programas, agradezco tú siempre ayuda incondicional en cualquier ámbito de la vida... gracias viejito y espero poder compartir esas metas que nos hemos trazado y tenemos en común...
-

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- ❖ Al gran Juancito! (Juana) gracias por compartir todos estos años conmigo y valorar la amistad por encima de todo... ojala y esta fraternidad la lleguen a compartir mis hijos con ustedes...
 - ❖ A la gran Patota de la uni: Humberto, el chino, Guenis, el negro, Gian Franco, Ebelio, Reinaldo, rosita, Johana, mi cuñi (Marijor)... que de alguna u otra forma aportaron a mi formación como Ingeniero Geólogo, por compartir tantos bellos momentos de alegría y enseñarme la humildad de la amistad... gracias por existir!
 - ❖ A mis Tías bellas: Cira, Yoya, Omaira y Tina... gracias por nunca dudar de mi y siempre apoyarme cuando lo he necesitado... las quiero mucho!!
 - ❖ A mi gente de San cristobal por estar siempre pendientes de nosotros... los extraño y quiero mucho!!
 - ❖ A la familia Falcón Marquez; Aida por adoptarme como a un hijo mas y siempre darme esas palabras sabias que necesitaba escuchar... infinitamente agradecido estoy por ello; Fernando porque siempre a pesar de tus problemas tenias cabida para los míos... eres mi hermano menor y espero que siempre lo tengas presente! Se les quiere y extraña full...
 - ❖ A mis grandes hermanos Federico Moreno y Julio Constenla! Lo mas grande de nuestra amistad es que el destino nos unió y hemos sabido mantenerla con el pasar de los años... agradecido estoy por estar allí en esos momentos que mas los he necesitado y por brindarme palabras de aliento que me dan fuerzas para arrancar de nuevo... son de verdad personas de admirar y con las cuales nunca quisiera dejar de compartir... los quiero hermanos!
-

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- ❖ A Chino (Gerler) y Nacho (Oliver); gracias por ser unos compañeros mas de esta tesis! Por siempre estar dispuestos a ayudarnos y hacerlo en el momento que lo necesitamos! Gracias colegas!!

- ❖ A mis tutores: Mauricio Hernandez y Ricardo Alezones... por apoyarme y creer en mi capacidad como estudiante, por aconsejarme y ayudarme a lograr que este trabajo fuese digno de un estudiante de la Universidad Central de Venezuela!

Joao Caires

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

AGRADECIMIENTOS

- ❖ Ante todo le agradezco a Dios por estar presente en cada momento de mi vida, guiándome y mostrándome el camino a seguir. Le agradezco también por haberme dado unos padres y una hermana tan maravillosos y especiales; por haber puesto en mi camino a lo largo de mi vida y de mi carrera universitaria seres tan especiales que de una u otra manera han compartido a mi lado y me han aportado un grano de arena en mi formación como persona y como profesional.

 - ❖ A ti mami, el mayor de los agradecimientos porque siempre has estado junto a mí, apoyándome en las buenas y en las malas, escuchándome y aconsejándome, orientándome y guiándome, pero sobre todo, brindándome el mayor de los cariños y el amor tan incondicional que solo una madre le da a sus hijos. Sin ti hubiese sido muy difícil llegar aquí, tu eres uno de los motivos por los cuales hoy me encuentro convirtiéndome en lo que soñaste que fuera, un profesional, un Ingeniero. Este título también es para ti, por ser la Ingeniero de la familia, de la casa, por siempre remar más fuerte que todos y darnos tantas fuerzas en los momentos más difíciles, por cada vez que te preocupaste por mis trasnochos de estudio. Te quiero mucho mami!!!

 - ❖ A ti papá porque nunca has dejado que nos falte nada, por habernos inculcado valores tan importantes como la honestidad, el respeto, la responsabilidad y el trabajo. Gracias por siempre estar tan pendiente de mí y sin que haya necesidad de que digas una palabra poder decir “te quiero mucho hijo querido”. Se cumplió uno de tus sueños, tu segundo hijo también convirtiéndose en un profesional, en un hombre de bien aunque tu me has enseñado que una profesión no da valores, los valores los hace el hombre con sus acciones. Gracias papá, te quiero mucho!!!
-

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- ❖ Nunca tendré palabras para poder agradecerles tantas cosas a los dos, porque gracias a ustedes dos, quienes me han dado todas las oportunidades, hoy se cumple esta meta que no la considero solo mía, sino suya también. Los amo!!!

 - ❖ A mi querida hermana quien siempre ha estado presente brindándome su apoyo, tratando de enseñarme el camino correcto, demostrándome cuanto me quiere y preocuparse por mí. Eres mi ejemplo de constancia y dedicación, de lucha por lo que quiere. Hermanita lo logramos!! Llegamos todos juntos a esta meta, que no es la última pues quedan muchas más. Te quiero mucho Andre!!!

 - ❖ A ti loquita (Yeli), porque llegaste a mi vida y me has acompañado durante gran parte de mi carrera universitaria, enseñándome lo que es el amor y estar enamorado, llenando mi vida de muchas cosas bellas y momentos muy especiales, gracias por cuidarme tantas veces, por darme animos para seguir, por impulsarme a seguir siempre adelante. Gracias por haber llegado a mi vida y por estar a mi lado. La vida nos ha puesto muchas pruebas difíciles que hemos superado pero hoy solo Dios sabe que nos depara el destino aunque se que siempre estaras en mi corazón y que siempre te amare. Te amo mucho loquita!!!

 - ❖ A mi hermano, amigo, compañero de cancha, compañero de campo, compañero de tesis, compañero en las buenas y en las malas. Gracias por levantarme cada vez que estuve abatido por algún motivo, gracias por escucharme y aconsejarme, has sido uno de mis más fuertes apoyos durante estos años. Gracias por ayudarme a sacar adelante este trabajo de grado, por haberte esforzado y no dejar que el pesimismo y el cansancio me ganaran en algún momento. El futbol nos unió y la carrera permitió que creciera esta amistad. Un día te dije que íbamos a salir graduados juntos del aula magna y así será. Gracias portu se te quiere hermanazo (Joao)!!!
-

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- ❖ A mis compañeros de tesis, Hernan y Carlos, gracias por acompañarnos y trabajar con nosotros tantos días y noches, pero sobre todo muchas gracias por la amistad brindada, eso vale mucho más que cualquier otra cosa. Mucha suerte en todos sus proyectos y que todo salga tal como lo deseen, mucho éxito y seguiremos reuniéndonos para jugar poker, wii o comand en casa de Hernan, para una buena parrilla en casa de Carlos o para cualquier otra cosa, eso si colegas, “AA TRABAJAR.....!!!!”.
 - ❖ A mi amiga y más que jefa, Gabriela Medina (Gaby), gracias por darme la oportunidad de trabajar tantos años a tu lado, por darme tu confianza y amistad, y por siempre estar pendiente de mis estudios. Gracias por darme la oportunidad de aprender del maravilloso mundo de la fotografía, gracias por enseñarme que trabajando con gusto y pasión en lo que a uno le gusta, no importan las vicisitudes que se presenten. Te quiero amiga!!!
 - ❖ A Ani, ante todo muchas gracias por la amistad, por todo el apoyo y ayuda durante estos años, fueron muchas veces las ocasiones que estuviste con nosotros acompañándonos y ayudándonos en algún trabajo. Sin ti terminar este trabajo de seguro hubiese sido mucho más difícil, nos apoyaste y nos ayudaste como siempre y nos impulsaste a trabajar con mucha más fuerza y dedicación. Muchas gracias amiga, te quiero mucho!!!
 - ❖ Gracias a mis tías, María y Adelia por quererme tanto, por siempre estar pendiente de mi, por siempre acordarse de mi y por siempre compartir un poco de lo que tienen con nosotros. Las quiero mucho tías!!!
 - ❖ A mi primo Alfre “El Socio”, porque a la distancia siempre me apoyo para que me convirtiera en un profesional y porque nunca me olvidare que me abrió las puertas de su casa y de su familia cuando estuve lejos de la mía. Muchas gracias!!!
-

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- ❖ Tía Delsy, familia y primo Alirio, nunca olvidare su apoyo en mis primeros momentos de búsqueda de oportunidades de estudio, cuando me recibieron en sus casas y me hicieron sentir uno más de la familia. Muchas gracias!!!

Quiero darles las gracias a cuatro familias muy especiales:

- ❖ Familia Caires-Silva, porque durante todos estos años de estudio me abrieron las puertas de su casa, sobre todo durante la realización de este trabajo de grado y no solo para que estudiáramos sino por permitirme compartir tantos momentos familiares haciéndome sentir uno más de la familia. Gracias Sra. Ada por su cordialidad y cariño; gracias Sr. Satirio por regalarnos esa alegría y felicidad por la vida que nos hizo reír tantas veces; gracias Aiixa por ser la compañera de angustia jajaja y recuerda EhEhEh La Guaira!!!!
 - ❖ Familia Rodriguez-Gavidea (Sr. Baudilio, Sra. Maritza, Jose Luis, Oswaldo, Jose Gregorio “Negro”, Yaritza, Edgar, Victor y demás niños), muchas gracias a todos por estar pendiente de mí y por preocuparse por mi persona, por brindarme su aprecio y cariño. A mi gordita (Ma. Fernanda), huesitos (Rances), Jeico, Stephanie, puchi (Keiderlyn) y Albert, gracias por ser unos niños tan especiales y que Dios me los bendiga, los quiero mucho!!!!. Mi gordita, eres la luz de mis ojos, te quiero mucho!!!
 - ❖ Familia Semprun (Sra. Fela, Anabel, Javier, Javi, Freddy y más recientemente Sr. Hernan), no tengo palabras para darle las gracias a todos y cada uno de ustedes, por darnos tanto apoyo, compañía y sobre todo aprecio durante el desarrollo de este trabajo de grado. Gracias por ser tan especiales y por habernos abierto las puertas de su casa y recibirnos sin importar el día o la hora. Ustedes nos sirvieron de impulso para terminar a tiempo. Gracias también a Juani por recoger nuestros desastres. Muchas Gracias!!!!
-

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- ❖ Familia Fuentes-Caires (Ana, Rafael y Alvarito) porque nos permitieron utilizar su casa como centro de estudio durante los primeros momentos de esta tesis, cuando apenas comenzaba este proyecto.

- ❖ A los compañeros de este proyecto. Al Prof. Mauricio Hernández por darnos la oportunidad de desarrollar este proyecto. Al Prof. Ricardo Alezones por aceptar ser nuestro tutor y por las enseñanzas a lo largo de la carrera. A Gerler “Chino” y Oliver “Nacho”, por pasar unas cuantas tardes tratando de descifrar los programas y por brindarnos su accesoria incondicional y a cualquier hora.

- ❖ Gracias a mis amigos que desde el inicio de la carrera y otros que se fueron uniendo luego, me ofrecieron su apoyo y amistad, y con los cuales compartí tantos momentos de estudio y distracción. Prefiero no colocar nombres para no pecar de dejar a nadie por fuera pero muchas gracias a todos!!!. Gracias a mi gran familia del fútbol con los cuales he compartido este maravilloso deporte. A todas aquellas personas que por motivos de espacio no he podido nombrar o que se me escaparon de los pensamientos en este momento y que de una u otra manera me han apoyado a lo largo de estos años.

- ❖ Un agradecimiento muy especial a mi abuela Ana y a mi “nona” quienes ya no están con nosotros pero que desde donde quiera que estén me siguen cuidando y dando sus bendiciones. Estoy seguro que se encuentran felices en este momento viendo a su nieto convirtiéndose en profesional.

- ❖ A Eika que en su momento me dio tantos momentos de felicidad y compañía. A Dana quien ha devuelto la alegría de una mascota en casa, que en realidad se convierte en una parte más de la familia.

Gerardo Jaimes

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xxiv
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xxv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xxvi
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	4
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.4. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. CONCEPTOS BÁSICOS	9
2.1.1. Geomática	9
2.1.1.1. Áreas que integran la Geomática	9
2.1.2. Componentes del sistema de percepción remota	11
2.1.3. Algunas aplicaciones de la percepción remota	12
2.1.4. Ventana atmosférica y reflectancia espectral.....	13
2.1.5. Ventajas de la observación espacial.....	15
2.1.6. Inconvenientes de la observación espacial	16
2.2. IMÁGENES <i>LANDSAT 7</i>	16
2.3. CONCEPTOS DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	17
2.3.1. Temas y capas.....	18
2.3.2. Capas continuas	19
2.3.3. Capas Temáticas	20

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.4. ENTRADA DE DATOS	20
2.5. FUNCIONES DE UN SIG	21
2.5.1. Tipo de codificación de los datos geográficos	22
2.5.2. Utilidad de los SIG	22
2.6. <i>SOFTWARE ENVIROMENT FOR VISUALIZING IMAGES (ENVI)</i> ⁽⁵¹⁾	23
2.6.1 Conceptos Básicos	23
2.6.1.1 Corrección Radiométrica	23
2.6.1.2 Calibración de la Radiancia	24
2.6.2 Pre-procesamientos ejecutables en <i>ENVI</i>	24
2.6.2.1 Calibración de la imagen ETM	25
2.6.2.2 <i>Layer Stacking</i>	25
2.6.2.3 Conversión a formato <i>BIL</i>	25
2.6.2.4 Corrección Atmosférica (<i>FLAASH</i>)	26
2.6.3 Procesamiento Hiperespectral para el Análisis de Datos Multiespectrales	26
2.6.3.1 Máscara de Nubosidad	27
2.6.3.2 Transformación de la Fracción Mínima del Ruido (<i>MNF</i>)	27
2.6.3.3 Índice de Pureza del Pixel (<i>PPI</i>)	27
2.6.3.4 Visualizador N-Dimensional	28
2.6.3.5 <i>Spectral Angle Mapper (SAM)</i>	28
2.6.3.6 Modelo Digital de Elevación (en inglés <i>DEM</i>)	29
2.7 <i>SOFTWARE ERDAS IMAGINE</i>	30
2.7.1 Fundamentos de <i>ERDAS Imagine</i>	30
2.7.1.1 Datos de la imagen	30

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.7.1.2 Bandas.....	31
2.7.1.3 Percepción Remota.....	31
2.7.1.4 Resolución.....	32
2.7.1.5 Entrada de datos	32
2.7.1.6 Datos Geocodificados	34
a. Georeferenciacion	34
b. Geocodificación	35
2.7.1.7 Uso de datos de imágenes en un SIG	35
2.7.1.8 Subconjuntos (<i>Subset</i>).....	36
2.7.1.9 Mosaicos	36
2.7.1.10 Clasificación Multiespectral.....	36
2.7.1.11 Edición de datos <i>Raster</i>	37
2.7.1.12 Colores	38
2.7.1.13 Cañones de color	38
2.7.1.14 Despliegue de capas <i>Raster</i>	38
a. Despliegue de capas Raster Continúas.....	38
b. Despliegue de capas Raster Temáticas	39
2.7.1.15 Uso de visor (<i>Viewer</i>).....	40
2.7.1.16 Enlace de visores.....	40
2.7.2 Procesamiento de imágenes en el <i>Software ERDAS Imagine</i>	41
2.7.2.1 Proceso de clasificación	41
2.7.2.1.1 Reconocimiento de patrones.....	41
2.7.2.1.1 Clasificación No Supervisada.....	41
2.7.2.1.1 Clasificación Supervisada	42
2.7.2 Análisis del terreno	43
2.8 <i>SOFTWARE ARCGIS</i>	43

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.8.1	Fundamentos del <i>ArcGis</i>	43
2.8.2	Extensión en <i>ArcGis</i>	44
2.8.3	Módulo de Análisis Espacial de <i>ArcView</i>	44
2.8.4	Modelo de Datos.....	45
2.8.5	Modelo de Datos Geográficos.....	45
2.9	Interfaz gráfica de ArcMap	46
2.10	Simbología: Formato y/o resumen de información tabular.....	47
2.11	Layer Files.....	48
CAPÍTULO III: GEOLOGÍA REGIONAL.....		49
3.1.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	49
3.1.1.	Inventario de Estructuras de mayor importancia dentro de la Sierra de Perijá	51
3.1.1.1.	Fallas	51
a.	Falla Perijá	52
b.	Alineamiento de las Fallas Cuiba-Socuy	52
c.	Alineamiento de las Fallas Arena Blanca- Ariguasa.....	52
d.	Fallamiento de Macoa y de la zona del Totumo	53
e.	Falla el Tigre	53
f.	Falla de Oca	53
3.1.1.2.	Pliegues	53
a.	Anticlinal de Río Negro.	54
3.2.	ESTRATIGRAFÍA	55
3.2.1.	Sucesión Paleozoica.....	56
3.2.2.	Sucesión Mesozoica-Cenozoica	56
3.2.2.1.	Supersecuencia A (JURÁSICO): Extensión.....	57
➤	Grupo La Gé.....	59

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

○ Formación La Quinta.....	59
3.2.2.2. Supersecuencia B (CRETÁCICO): Margen Pasivo.....	60
➤ Formación Río Negro.....	61
➤ Grupo Cogollo.....	61
○ Formación Apón.....	62
○ Formación Lisure.....	62
➤ Formación La Luna	63
3.2.2.3. Supersecuencia C (CRETÁCICO TARDÍO-PALEOCENO TEMPRANO): Margen Transicional de Pasivo a Activo.....	64
a. Secuencia K6 (Campaniense Superior-Mastrichtiense).....	64
➤ Formación Colón.....	65
➤ Formación Mito Juan.....	65
b. Secuencia K7 y K8 (Mastrinchiense Superior-Paleoceno Inferior).....	66
➤ Grupo Orocue	66
○ Formación Catatumbo	67
○ Formación Barco	67
○ Formación Los Cuervos.....	68
3.2.2.4. Supersecuencia D (PALEOCENO SUPERIOR-EOCENO MEDIO): Cuencas Colisionales	68
➤ Formación Mirador	69
3.2.2.5. Supersecuencia E (EOCENO TARDÍO-MIOCENO TEMPRANO): Cuencas Colisionales	70
➤ Formación Carbonera.....	71
➤ Formación La Sierra.....	72
➤ Grupo El Fausto	72
3.2.2.6. Supersecuencia F (MIOCENO MEDIO-PLEISTOCENO): Cuencas Colisionales.....	73
➤ Formación La Villa	74

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	76
4.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y MATERIAL CARTOGRÁFICO	76
4.2 TRABAJO DE OFICINA	76
4.2.1 Preparación de Imágenes <i>Landsat</i> ETM para la Corrección Atmosférica.....	77
4.2.1.1 Calibración de las Imágenes <i>LANDSAT 7</i> ETM en <i>radiancia</i> mediante la utilización del <i>software</i> ENVI 4.2.....	77
4.2.1.2 Generación del archivo con las 6 bandas calibradas.....	81
4.2.1.3 Transformación del archivo de la unión de las bandas calibradas a formato <i>BIL</i>	85
4.2.2 Corrección Atmosférica de la Imagen <i>LANDSAT 7</i>	87
4.2.3 Procesamiento Hiperespectral de Imágenes <i>LANDSAT 7</i> mediante la utilización del <i>Software ENVI 4.2</i>	94
4.2.3.1 Generación de archivos <i>shapefile</i>	94
4.2.3.2 Importación del archivo <i>Shapefile</i> al <i>software ENVI 4.2</i>	102
4.2.3.3 Construcción de la Máscara	108
4.2.3.4 Transformación de la Fracción Mínima de Ruido (MNF).....	110
4.2.3.4 Índice de Pureza del Pixel (PPI).....	113
4.2.3.5 Distribución en rangos de los <i>PPI</i> seleccionados y su cantidad en píxeles	116
4.2.3.6 Convertir los <i>PPI</i> en <i>ROI</i>	118
4.2.3.6 Visualizador <i>N-Dimensional</i>	122
4.2.3.7 Spectral Angle Mapper	129
4.2.3.8 Generación del Modelo Digital de Elevación (MDE) (en inglés <i>DEM</i>).....	133

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

4.2.4 Transformación de imágenes a formato .img para su procesamiento en <i>Software ERDAS Imagine</i>	138
4.2.5 Realización de la Clasificación NO Supervisada	141
4.2.6 Realización de la Clasificación Supervisada	148
4.2.7 Goereferenciación de los Mapas Topográficos	155
4.2.8 Generación del mapa geológico.....	164
CAPÍTULO V: INTERPRETACIÓN DE LA IMAGEN	165
5.1 IMAGEN <i>FLAASH</i>	165
5.2 IMAGEN <i>MNF</i>	167
5.3 IMAGEN <i>PPI</i>	170
5.4 N-DIMENSIONAL.....	171
5.5 IMAGEN <i>SAM</i>	172
5.6 CLASIFICACION NO SUPERVISADA	172
5.7 CLASIFICACIÓN SUPERVISADA.....	175
5.7.1 Ejemplo 1: Formación La Quinta	177
5.7.2 Ejemplo 2: Formación La Villa	178
5.7.3 Ejemplo 3: Formación Mirador	180
5.8 COMBINACIÓN DE BANDAS	181
5.8.1 Combinación de bandas 3-2-1	181
5.8.2 Combinación de bandas 4-5-3	182
5.8.3 Combinación de bandas 4-5-6	182
5.8.4 Combinación de bandas 3-4-5	184
5.9 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN	185
5.10 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL MAPA GENERADO	187

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

5.10.1 Drenajes	187
5.10.2 Estructuras	189
5.10.3 Litología.....	191
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	196
RECOMENDACIONES	200
BIBLIOGRAFÍA	202

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1. Tabla de correlación de formaciones del occidente de Venezuela..... 55

TABLA N° 2. En esta tabla se aprecia la distribución de las clases generadas por el
software ERDAS Imagine 8.6 y corresponde con la imagen FIGURA 5. 5..... 174

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA N° 1. Firma espectral de diversas características naturales de la superficie de la tierra. (Tomado de <http://www.fao.org/DOCREP/003/T0446S/T0446S04.htm>.) 13

GRÁFICA N° 2. Gráfico que hace referencia al Índice de Pureza de Pixeles. 28

GRÁFICA N° 3. Unidad básica del MDE “Z” que acompaña los valores “X” e “Y”. (Tomado de www.ciat.cgiar.org) 29

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1. 1. Ubicación de la zona de estudio según su Situación Relativa Nacional. La zona de estudio se encuentra identificada con un recuadro negro. (Tomado y modificado de la Hoja 5545, Río Sirocuay, Venezuela.).....	7
FIGURA N° 1. 2. Ubicación de la zona de estudio según su Situación Relativa Regional. La zona de estudio se encuentra identificada con el área rayada. (Tomado y modificado de la Hoja 5545, Río Sirocuay, Venezuela.).....	8
FIGURA N° 2. 1. La energía electromagnética. (Tomado del Curso introductorio de la Geomática, Freddy F, 2006).....	10
FIGURA N° 2. 2. Reflectividad de diferentes elementos. (Tomado y modificado de www.javeriana.edu.co)	14
FIGURA N° 2. 3. Dos ejemplos de MDE. A la izquierda muestra un 3D Pseudo Color 10 m DEM Pensilvana E.E.U.U; a la derecha 3D Mapa Topográfico 10 m DEM Pensilvana E.E.U.U. (Tomado de www.satimagingcorp.es)	29
FIGURA N° 3. 1. Principales estructuras en la zona noroccidental de Venezuela. (Tomado de www.pdv.com)	51
FIGURA N° 3. 2. Distribución de las rocas jurásicas en Venezuela, mostrando que las mismas se encuentran	58
FIGURA N° 3. 3. Ubicación de las formaciones que conforman el área de estudio dentro de La Sierra de Perija. (Tomado y modificado de HACKLEY, P., URBANI, F., KARLSEN, A., and GARRITY, C. (2006) Mapa Geológico de Venezuela, Escala: 1:750.000).....	75
FIGURA N° 4. 1. Ventana del menú principal de ENVI 4.2 donde se despliegan las subsiguientes pestañas y se selecciona la opción “Landsat TM”.	78
FIGURA N° 4. 2. Ventana “TM Calibration Input File” de donde se despliega “Open > New File”.	78

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FIGURA N° 4. 3. Ventana donde se selecciona el archivo de la banda a importar al ENVI 4.2. 79

FIGURA N° 4. 4. Ventana “*TM Calibration Input File*” con la banda a procesar. 79

FIGURA N° 4. 5. Ventana “*TM Calibration Parameters*” donde se vacían los datos de la *Metadata* y se colocan las especificaciones de salida del archivo. 80

FIGURA N° 4. 6. Archivo *Metadata* con los parámetros a utilizar resaltados..... 81

FIGURA N° 4. 7. Ventana del menú principal de ENVI 4.2 donde se despliega la subsiguiente pestaña y se selecciona la función “*Layer Stacking*”..... 82

FIGURA N° 4. 8. Ventana “*Layer Stacking Parameters*”..... 82

FIGURA N° 4. 9. Ventana “*Layer Stacking Input File*”. 83

FIGURA N° 4. 10. Ventana “*Layer Stacking Input File*” con los datos del “Output Map Projection”. 84

FIGURA N° 4. 11. Ventana “*Layer Stacking Input File*” con los nuevos parámetros. 84

FIGURA N° 4. 12. Ventana del menú principal de ENVI 4.2 donde se despliega la subsiguiente pestaña..... 85

FIGURA N° 4. 13. Ventana “*Convert File Input File*” donde se selecciona la unión de las bandas. 86

FIGURA N° 4. 14. Ventana “*Convert File Parameters*” con los datos de salida del archivo *BIL*..... 86

FIGURA N° 4. 15. Ventana del menú principal de ENVI 4.2 donde se despliegan las subsiguientes pestañas y se selecciona la función “*FLAASH*”..... 87

FIGURA N° 4. 16. Ventana “*FLAASH Input File*” del comando “*Input Radiance Image*” perteneciente a la ventana “*FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters*”. 88

FIGURA N° 4. 17. Ventana “*Enter ASCII Filename containing wavelengths and fwhm*” del comando “*Input Radiance Image*” perteneciente a la ventana “*FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters*”..... 89

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FIGURA N° 4. 18. Ventana “ <i>Input ASCII File</i> ” del comando “ <i>Input Radiance Image</i> ” perteneciente a la ventana “ <i>FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters</i> ”.....	89
FIGURA N° 4. 19. Ventana “ <i>Radiance Scale Factors</i> ” del comando “ <i>Input Radiance Image</i> ” perteneciente a la ventana “ <i>FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters</i> ”.....	90
FIGURA N° 4. 20. Ventana “ <i>FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters</i> ” con los parámetros “ <i>Output Reflectance File</i> ” y “ <i>Output Directory for Flaash File</i> ” completados.....	90
FIGURA N° 4. 21. Ventana “ <i>FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters</i> ” con los parámetros de la generación de la imagen completos.....	91
FIGURA N° 4. 22. Archivo “ <i>Metadata</i> ” con los parámetros a utilizar en la ventana “ <i>FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters</i> ” resaltados.....	91
FIGURA N° 4. 23. Ventana “ <i>FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters</i> ” con la selección del tipo de sensor que proporcione la imagen.....	92
FIGURA N° 4. 24. Ventana “ <i>Multispectral Settings</i> ” con todas las modificaciones realizadas.....	93
FIGURA N° 4. 25. Ventana “ <i>FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters</i> ” con todos los parámetros completamente llenos.....	94
FIGURA N° 4. 26. Ventana “ <i>ArcMap-ArcView</i> ” donde se resalta dentro de un círculo rojo en el menú de herramientas la opción “ <i>ArcCatalog</i> ”.....	95
FIGURA N° 4. 27. Ventana “ <i>ArcMap-ArcView</i> ” donde se selecciona la opción “ <i>Shapefile</i> ” para generar los archivos de este tipo.....	95
FIGURA N° 4. 28. Ventana “ <i>Create New Shapefile</i> ” con la selección de la “ <i>Spatial Reference</i> ” y encerrado en un círculo rojo la opción “ <i>Edit</i> ”.....	96
FIGURA N° 4. 29. Ventana “ <i>Propiedades de Spatial Reference</i> ” donde se hace click en el botón “ <i>Select</i> ”.....	96
FIGURA N° 4. 30. Ventana “ <i>Browse for Coordinate System</i> ” donde se selecciona la opción “ <i>Projected Coordinate Systems</i> ” y resaltado en rojo el botón “ <i>Add</i> ”.....	97

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FIGURA N° 4. 31. Ventana “*Browse for Coordinate System*” donde se selecciona la opción “*UTM*” y resaltado en rojo el botón “*Add*” 97

FIGURA N° 4. 32. Ventana “*Browse for Coordinate System*” donde se selecciona la opción “*Wgs 1984*” y resaltado en rojo el botón “*Add*” 98

FIGURA N° 4. 33. Ventana “*Browse for Coordinate System*” donde se selecciona la opción “*WGS 1984*” y resaltado en rojo el botón “*Add*” 98

FIGURA N° 4. 34. Ventana “*Propiedades de Spatial Reference*” donde se hace click en el botón “*Aceptar*” 99

FIGURA N° 4. 35. Ventana “*Create New Shapefile*” donde se hace click al botón “*OK*” 99

FIGURA N° 4. 36. Ventana “*ArcMap-ArcView*” donde se selecciona de su menú principal la opción “*File > Add Data..*” 100

FIGURA N° 4. 37. Ventana “*ArcMap*” donde se observa desplegado el menú de la función “*Editor*” y la opción “*Star Editing*” seleccionada..... 100

FIGURA N° 4. 38. Ventana “*ArcMap*” donde se observa encerrado en un círculo rojo la función “*Sketch Tool*” y en la imagen la secuencia de puntos que en este caso representan el cauce de uno de los drenajes..... 101

FIGURA N° 4. 39. Ventana “*ArcMap*” donde se observa desplegado el menú de la función “*Editor*” y la opción “*Save Editing*” seleccionada..... 101

FIGURA N° 4. 40. Ventana “*ArcMap*” donde se observa desplegado el menú de la función “*Editor*” y la opción “*Stop Editing*” seleccionada. 102

FIGURA N° 4. 41. Ventana del menú principal de *ENVI 4.2* donde se despliega la subsiguiente pestaña y se selecciona “*Open Image File*” 103

FIGURA N° 4. 42. Ventanas que se despliegan al abrir la imagen “*Reflectance*” 103

FIGURA N° 4. 43. Ventana del menú principal de *ENVI 4.2* donde se despliega la subsiguiente pestaña y se selecciona “*Open Vector Fie*” 104

FIGURA N° 4. 44. Ventana “*Select Vector Filenames*”, donde se busca y se selecciona el archivo *shapefile* de la máscara 104

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FIGURA N° 4. 45. Ventana “*Select Vector Filenames*” donde se selecciona el archivo *shapefile* de la máscara..... 105

FIGURA N° 4. 46. Ventana “*Available Vectors List*” donde se selecciona el archivo *shapefile* de la máscara..... 105

FIGURA N° 4. 47. Ventana “*Load Vector*” donde se selecciona la opción “*Display #1*”..... 106

FIGURA N° 4. 48. Ventana “*#1 Vecotr Parameters: Cursor*”. 107

FIGURA N° 4. 49. Ventana “*#1 Vector Parameters: Cursor*” donde se despliega una pestaña de la opción “*File*” y se selecciona la función “*Export Active Layer to ROIs...*”..... 107

FIGURA N° 4. 50. Ventana “*Export EVF Layers to ROP*” donde se selecciona la opción superior..... 108

FIGURA N° 4. 51. Ventana del menú principal de *ENVI 4.2* donde se despliegan las subsiguientes pestañas y se selecciona “*Buil Mask*”..... 109

FIGURA N° 4. 52. Ventana “*Mask Definitions*” con la opción “*Display #1*” seleccionada. 109

FIGURA N° 4. 53. Ventana “*#1 Mask Definitions*” donde se despliegan la subsiguiente pestaña y se selecciona “*Import ROIs...*”..... 110

FIGURA N° 4. 54. Ventana del menú principal de *ENVI 4.2* donde se despliega la subsiguiente pestaña y se selecciona “*Estimate Noise Statistics from Data*”..... 111

FIGURA N° 4. 55. Ventana “*MNF Transform Input File*” donde se llaman los archivos “*reflectance*” de la imagen y la mascara recién creada. 111

FIGURA N° 4. 56. Ventana “*Foward MNF Transform Parameters*” donde se colocan los datos de salida del archivo *MNF*..... 112

FIGURA N° 4. 57. Ventana “*MNF Eigenvalues*” , la cual muestra los autovalores *MNF* organizados en orden decreciente de la varianza una vez finalizado el proceso. 112

FIGURA N° 4. 58. Ventana del menú principal de *ENVI 4.2* donde se despliega la subsiguiente pestaña y se selecciona “*Estimate Noise Statistics from Data*”..... 113

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FIGURA N° 4. 59. Ventana “*Fast Pixel Purity Index Input Data File*” donde se selecciona el archivo *MNF*..... 114

FIGURA N° 4. 60. Ventana “*Subset by Imagine*” (derecha) que se abrió luego de seleccionar el botón “*Image*” en la ventana “*Select Spatial Subset*” (izquierda) , la cual a su vez se activo en el campo “*Spatial Subset*” en la ventana “*Fast Pixel Purity Index Input Data File*”..... 114

FIGURA N° 4. 61. Ventana “*Fast Pixel Purity Index Input Data File*” luego de aplicar el *subset*..... 115

FIGURA N° 4. 62. Ventana “*Fast Pixel Purity Parameters*” donde se colocan los parámetros de salida del archivo *PPI*..... 115

FIGURA N° 4. 63. Ventana “*Pixel Purity Parameters Plot*” una vez terminado el proceso del *PPI*..... 116

FIGURA N° 4. 64. Menú de la imagen *PPI* donde se despliega la pestaña y se selecciona la función “*Density Slice*”..... 116

FIGURA N° 4. 65. Ventana “*Density Slice Band Choice*” donde se selecciona el archivo *PPI*..... 117

FIGURA N° 4. 66. Ventana “*Density Slice*”..... 117

FIGURA N° 4. 67. Menú de la ventana de la imagen *PPI* donde se selecciona la función “*Band Threshold to ROIs..*”..... 118

FIGURA N° 4. 68. Ventana “*Band Threshold to ROIs Input Band*”..... 119

FIGURA N° 4. 69. Ventana “*Band Threshold to ROIs Parameters*” donde se colocan los valores mínimos y máximos..... 120

FIGURA N° 4. 70. Ventana “*ENVI Question*”..... 120

FIGURA N° 4. 71. Ventana “*#1 ROI Tool*” con el archivo “*Thresh (PPI)*” seleccionado..... 121

FIGURA N° 4. 72. Menú de la ventana “*#1 ROI Tool* ” donde se selecciona la opción “*Save ROIs..*”..... 121

FIGURA N° 4. 73. Ventana “*Save ROIs to File*”..... 122

FIGURA N° 4. 74. Menú de la ventana “*#1 ROI Tool* ” donde se selecciona la opción “*Export ROIs to n-D Visualizar...*”..... 123

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FIGURA N° 4. 75. Ventana “*Select Input Data File*” donde se selecciona el archivo *MNF*. 123

FIGURA N° 4. 76. Ventana “*n-D Visualizer Input ROIs* ” con el archivo “*Thresh (PPI)*” seleccionado..... 124

FIGURA N° 4. 77. Ventanas “*n-D Visualizer*” (Izquierda) y “*n-D Controls*” (Derecha)..... 124

FIGURA N° 4. 78. Ventanas “*n-D Visualizer*” donde se aprecian los tres ejes con los puntos (Izquierda) y “*n-D Controls*” (Derecha) con las tres bandas seleccionadas, las cuales representan los ejes. 125

FIGURA N° 4. 79. Ventanas “*n-D Visualizer*” (Izquierda) y “*n-D Controls*” (Derecha) con su menú desplegado y la función “*Show Axes*” seleccionada. 125

FIGURA N° 4. 80. Ventanas “*n-D Visualizer*” (Izquierda) y “*n-D Controls*” (Derecha) con su menú desplegado y el color que se le asigna a la nueva clase seleccionado. 126

FIGURA N° 4. 81. Ventanas “*n-D Visualizer*” (Izquierda) donde se puede apreciar el punto encerrado en el polígono azul (este único punto forma una clase a la cual se le asigno el color azul) y la ventana “*n-D Controls*” (Derecha). 126

FIGURA N° 4. 82. A la izquierda la ventana “*n-D Visualizer*”, donde se observan encerradas en círculos rojos algunas de las clases identificadas y a la derecha el menú de la ventana “*n-D Controls*” desplegado en la función “*Options*” con “*Export All*” seleccionada. 127

FIGURA N° 4. 83. Ventanas “*n-D Visualizer*” (Izquierda), “*n-D Controls*” (Derecha) y “*#1 ROI Tool*” (abajo a la derecha) donde se muestran las distintas clases reconocidas..... 127

FIGURA N° 4. 84. Ventanas “*n-D Visualizer*” (Izquierda), “*n-D Controls*” (Derecha) y “*#1 ROI Tool*” (Abajo a la derecha), la cual muestra su menú desplegado con la opción “*Save ROIs*” seleccionada. 128

FIGURA N° 4. 85. Ventanas “*n-D Visualizer*” (Izquierda), “*n-D Controls*” (Derecha), “*#1 ROI Tool*” (Abajo a la derecha) y “*Save ROIs to File*” (Centro), la

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

cual muestra las clases seleccionadas para exportar y el nombre y ubicación del nuevo archivo..... 128

FIGURA N° 4. 86. Ventana del menú principal de ENVI 4.2 donde se despliega la subsiguiente pestaña y se selecciona “*Estimate Noise Statistics from Data*”..... 129

FIGURA N° 4. 87. Ventanas “*Classification Input File*” y “*File Spectral Subset*” que se despliegan para abrir la imagen MNF. 130

FIGURA N° 4. 88. Ventana “*Endmember Collections SAM*” con su menu desplegado y en el cual se selecciona la opción “*from ROI/EVF from input file...*”..... 130

FIGURA N° 4. 89. Ventana “*Select Regions for Stats Calculation*” donde se pueden observar seleccionadas las clases que se determinaron en el “*n-D Visualaizer*”..... 131

FIGURA N° 4. 90. Ventana “*Endemember Collection SAM*” donde se van seleccionando las clases identificadas en el “*n-D Visualaizer*”..... 131

FIGURA N° 4. 91. Ventana “*Endemember Collection SAM*” donde se van seleccionando las clases identificadas en el “*n-D Visualaizer*”..... 132

FIGURA N° 4. 92. Ventana “*Endemember Collection SAM*” donde se van seleccionando las clases identificadas en el “*n-D Visualaizer*”..... 133

FIGURA N° 4. 93. Ventana del menú principal de ENVI 4.2 donde se despliega la subsiguiente pestaña y se selecciona “*Open Image File*”..... 133

FIGURA N° 4. 94. Ventanas que se despliegan al abrir la imagen “*Reflectance*”..... 134

FIGURA N° 4. 95. Ventana del ENVI 4.2 con la pestaña de la función “*Topographic*” desplegada y seleccionada “*3D SurfaceView*”..... 134

FIGURA N° 4. 96. Ventana “*Associated DEM Input File*” con la banda Tres (3) de la imagen *reflectance* seleccionada..... 135

FIGURA N° 4. 97. Ventana “*3D SurfaceView Input Parameters*” donde se hace click en “*Spatial Subset*”..... 135

FIGURA N° 4. 98. Ventana “*Select Spatial Subset*” donde se selecciona “*Image*”..... 136

FIGURA N° 4. 99. Ventana “*Subset by Image*” donde se observa encerrado en un cuadro rojo el área al cual se aplicara em MDE..... 136

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FIGURA N° 4. 100. Ventana “*Select Spatial Subset*” con los nuevo valores del área. 137

FIGURA N° 4. 101. Ventana “*3D SurfaceView Input Parameters*” donde se hace click en “*Spatial Subset*” 137

FIGURA N° 4. 102. Ventana “*3D SurfaceView*” que muestra el resultado del MDE. 138

FIGURA N° 4. 103. Ventana del menú principal de *ENVI 4.2* donde se despliega la pestaña “*File*” y se selecciona “*Open Imagine File*” 139

FIGURA N° 4. 104. Ventanas con la imagen corregida atmosféricamente desplegadas. 139

FIGURA N° 4. 105. Ventana “*#1(R: FLAASH(Layer(TM Cal.....)))*” donde se despliega la función “*File*” y se selecciona la opción “*Image File...*” 140

FIGURA N° 4. 106. Ventana “*Output Display to Image File*” con los datos de salida de la imagen .img. 140

FIGURA N° 4. 107. Ventana del menú principal del software *ERDAS Imagine* donde se resalta la función “*Classifier*”. Abajo se observa la ventana “*Classification*” donde se encuentra resaltada la función “*Unsupervised Classification...*” 141

FIGURA N° 4. 108. En primer plano la ventana “*Unsupervised Classification...*” luego de introducir todos los datos de salida. 142

FIGURA N° 4. 109. En primer plano la ventana “*Isodata...*”, la cual muestra el porcentaje de avance que tiene el proceso. 143

FIGURA N° 4. 110. Ventana “*Viewer #1: clasnosup.img (:Layer_1)*”, la cual muestra la imagen una vez terminado el proceso. 143

FIGURA N° 4. 111. Ventana “*Viewer #1: clasnosup.img (:Layer_1)*” con la pestaña de la función “*Raster*” desplegada, de donde se selecciona la función “*Tools*” 144

FIGURA N° 4. 112. Ventana “*Viewer #1: clasnosup.img (:Layer_1)*” (Izquierda) y ventana “*Raster*” (Derecha), en donde se selecciona la herramienta encerrada en un círculo rojo. 144

FIGURA N° 4. 113. En primer plano la ventana “*Raster Attribute Editor-clasnosup.img (:Layer_1)*” 145

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FIGURA N° 4. 114. Menú de colores que se despliega luego de hacer click sobre el color original de alguna de las clases que se encuentran en la ventana “*Raster Attribute Editor-clasnosup.img(:Layer_1)*”..... 146

FIGURA N° 4. 115. Ventana “*Raster Attribute Editor-clasnosup.img (:Layer_1)*” que muestra como se modifica el color de la clase seleccionada..... 146

FIGURA N° 4. 116. Ventana “*Viewer #1: clasnosup.img (:Layer_1)*” (Izquierda) donde se puede observar la modificación del color dentro de la imagen una vez modificado en la tabla de clases y ventana “*Raster*” (Derecha). 147

FIGURA N° 4. 117. Ventana “*Raster Attribute Editor-clasnosuper.img (:Layer_1)*” luego de identificar y agrupar las clases que se reconocen dentro de la imagen. 147

FIGURA N° 4. 118. Ventana “*Viewer #1: clasnosuper.img (:Layer_1)*” con el apariencia final, luego de realizada la clasificación..... 148

FIGURA N° 4. 119. Ventana con el menú principal del software *ERDAS Imagine* donde se resalta la función “*Viewer*”. Abajo se observa desplegada la ventana “*Viewer #1*” donde se despliega la pestaña de la “*File*” y se selecciona la función “*Open > AOI Layer...*”..... 149

FIGURA N° 4. 120. Ventana “*Select Layer to Add*”..... 149

FIGURA N° 4. 121. Ventana “*Viewer*” (Izquierda) la cual muestra abierta la imagen “*Reflectance*” y la ventana “*Classification*” (Derecha) donde se encuentra resaltada en un círculo rojo la función “*Signature Editor*”..... 150

FIGURA N° 4. 122. En primer plano la ventana “*Signature Editor*”..... 150

FIGURA N° 4. 123. Ventana “*Viewer #1*” con la pestaña de la función “*AOI*” desplegada, de donde se selecciona la función “*Tools...*”..... 151

FIGURA N° 4. 124. Ventana “*AOI*” (Derecha arriba) con la herramienta de dibujar polígonos encerrada en un círculo rojo. 151

FIGURA N° 4. 125. Ventana “*Signature Editor*” (Abajo a la derecha) con la opción para agregar clases encerrada en un círculo rojo. 152

FIGURA N° 4. 126. Ventana “*Signature Editor*” (Abajo a la derecha) con la nueva clase agregada. 152

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FIGURA N° 4. 127. Ventana con el menú principal del software *ERDAS Imagine* donde se resalta la función “*Classifierr*”. Abajo se observa desplegada la ventana “*Classification*” donde se selecciona la función “*Supervised Classification*”..... 153

FIGURA N° 4. 128. Ventana “*Supervised Classification*” donde se colocan los datos de entrada y salida..... 154

FIGURA N° 4. 129. Ventana “*Raster Attribute Editor-....*” donde se observan las clases establecidas..... 154

FIGURA N° 4. 130. Ventana “*Viewer #1: clasnosuper.img(:Layer_1)*” con el apariencia final de la clasificación supervisada..... 155

FIGURA N° 4. 131. Ventana “*ArcMap-ArcView*” donde se resalta dentro de un círculo rojo en el menú de herramientas la opción “*ArcCatalog*”..... 155

FIGURA N° 4. 132. Ventana “*ArcCatalog-ArcView*” donde se observa la pestaña que se despliega al hacer click con el botón derecho sobre el archivo “5545.img” y se selecciona la opción “*Properties..*”..... 156

FIGURA N° 4. 133. Ventana “*Raster Dataset Properties*” donde se selecciona la opción “*Edit*” en la “*Property > Spatail Reference*”..... 156

FIGURA N° 4. 134. Ventana “*Propiedades de Spatial Reference*” donde se hace click en el botón “*Select*”..... 157

FIGURA N° 4. 135. Ventana “*Browse for Coordinate System*” donde se selecciona la opción “*Proyected Coordinate Systems*” y resaltado en rojo el botón “*Add*”..... 157

FIGURA N° 4. 136. Ventana “*Browse for Coordinate System*” donde se selecciona la opción “*UTM*” y resaltado en rojo el botón “*Add*”..... 158

FIGURA N° 4. 137. Ventana “*Browse for Coordinate System*” donde se selecciona la opción “*Wgs 1984*” y resaltado en rojo el botón “*Add*”..... 158

FIGURA N° 4. 138. Ventana “*Browse for Coordinate System*” donde se selecciona la opción “*WGS 1984*” y resaltado en rojo el botón “*Add*”..... 159

FIGURA N° 4. 139. Ventana “*Propiedades de Spatial Reference*” donde se pueden observar todos los detalles del sistema de coordenadas seleccionado..... 159

FIGURA N° 4. 140. Ventana “*ArcMap-ArcView*” donde se selecciona de su menú principal la opción “*File > Add Data..*”..... 160

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FIGURA N° 4. 141. Ventana “*Add Data*” en primer plano, donde se selecciona el archivo que se desea abrir. 160

FIGURA N° 4. 142. Ventana “*ArcMap-ArcView*” con la imagen del mapa ya desplegada y en el extremo derecho de la barra de herramientas la opción “” encerrada en un círculo rojo. 161

FIGURA N° 4. 143. Ventana “*ArcMap-ArcView*” donde se pueden apreciar el punto seleccionado encerrado en un círculo rojo con sus respectivas coordenadas 161

FIGURA N° 4. 144. Ventana “*ArcMap-ArcView*” donde se observa el cruce de las líneas (de coordenadas conocidas) y la marca verde que se coloca sobre esta. 162

FIGURA N° 4. 145. Ventana “*ArcMap-ArcView*” donde se observa la pestaña se selecciona la opción “*Input X and Y...*”. 162

FIGURA N° 4. 146. Ventana “*ArcMap-ArcView*” donde se observan los nueve puntos que se utilizarón para referenciar el mapa marcados con una cruz roja y encerrados en un círculo verde. 163

FIGURA N° 4. 147. Ventana “*ArcMap-ArcView*” donde se selecciona de la barra de herramienta la opción “*Georeferencing*” y se abre la pestaña en donde se selecciona la opción “*Upadate Georeferencing*”. 163

FIGURA N° 5. 1. Imagen corregida atmosféricamente en el *software ENVI 4.2*, con combinación de bandas 3-2-1. El área encerrada en el recuadro blanco representa la zona de estudio. 166

FIGURA N° 5. 2. Zona de la imagen *reflectance* (3-2-1) donde se aprecia la diferencia de colores en la vegetación, identificando del lado izquierdo, en color marrón-verdoso , depósitos cuaternarios, y del lado derecho la Formación La Villa, la cual se observa con un color más verdoso. 167

FIGURA N° 5. 3. Imagen *MNF* generada en el *software ENVI 4.2* a partir de la imagen *FLAASH*. En esta imagen la combinación de bandas utilizada es la 3-2-1 y el recuadro blanco en marca el área de estudio. 168

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FIGURA N° 5. 4. Imagen *MNF* donde son claramente identificables las variaciones de colores que se encuentran asociados a cambios en la litología. El área dentro del recuadro blanco representa la zona de estudio..... 169

FIGURA N° 5. 5. En la imagen *MNF* las flechas blancas indican la presencia de drenajes. Igualmente la variación de colores indica variaciones en la litología. 169

FIGURA N° 5. 6. Imagen *PPI* generada en el *software ENVI 4.2*, en el recuadro blanco se encuentra el área de estudio. 170

FIGURA N° 5. 7. Imagen *PPI* con el área de estudio encerrada en el recuadro azul. La línea roja representa el límite entre las zonas de mayor presencia de pixeles puros de las zonas de menor presencia de pixeles. 171

FIGURA N° 5. 8. Imagen que muestra las clases obtenidas luego de ejecutado el proceso del N-Dimensional..... 171

FIGURA N° 5. 9. A la izquierda la imagen *MNF* y a la derecha una de las clases identificadas en el proceso del N-Dimensional, donde se puede apreciar la cantidad de pixeles puros que representan esa clase y el espacio que ocupan en el área seleccionada. 172

FIGURA N° 5. 10. Imagen de la clasificación NO supervisada realizada a la imagen *reflectance*. 173

FIGURA N° 5. 11. Relación de la clasificación no supervisada con Duerto (1998).....175

FIGURA N° 5. 12. Relación de la clasificación no supervisada con el mapa producto. 175

FIGURA N° 5. 13. Se aprecia las diferencias entre las clases que identifican a las formaciones: Mirador (azul claro con tonos marrones), Carbonera (azul claro con tonos verde), La Sierra (azul claro, azul oscuro, naranja y rosado), La Villa (rosado) y Grupo Orocué (azul oscuro)..... 175

FIGURA N° 5. 14. Representación de las clases que integran la Clasificación Supervisada. 177

FIGURA N° 5. 15. La imagen muestra la Fm. La Quinta en el mapa de Chaplet (1999), el cual esta superpuesto en la imagen *FLAASH*.....178

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FIGURA N° 5. 16. La imagen muestra la Fm. La Quinta en el mapa de Chaplet (1999), el cual esta superpuesto en la imagen FLAASH..... 178

FIGURA N° 5. 17. La imagen muestra la una sección de la clasificación supervisada en donde el dominio del color azul representa a la Formación La Quinta (azul oscuro) , correspondiendo así con lo propuesto por Duerto (1998) y Chaplet (1999) 178

FIGURA N° 5. 18. Mapa de Chaplet (1999) donde se observa la Fm. La Villa en color rosado..... 179

FIGURA N° 5. 19. En la imagen las zonas con dominio de color fucsia representan la Fm. La Villa dentro de la clasificación supervisada. 179

FIGURA N° 5. 20. La imagen muéstra la Fm. Mirador en el mapa de Chaplet (1999), el cual esta superpuesto en la imagen FLAASH..... 180

FIGURA N° 5. 21. La imagen muestra la Fm. Mirador en el mapa de Chaplet (1999), el cual esta superpuesto en la imagen FLAASH..... 180

FIGURA N° 5. 22. En la imagen se observa a la Fm. Mirador representada por el dominio de color rojo dentro de la clasificación supervisada. 180

FIGURA N° 5. 23. La imagen muestra el archivo *FLAASH* abierto con la combinación 3-2-1 y en esta se observa como resaltan aquellas zonas donde hay cambios de vegetación, llegándose a diferenciar zonas de alto relieve y de relieve intermedio. 181

FIGURA N° 5. 24. Imagen *FLAASH* con la combinación de bandas 4-5-3. Se puede observar como con esta combinación resaltan los drenajes, la topografía y variaciones litológicas. Formación La Villa (diferenciada en el color verde claro). 182

FIGURA N° 5. 25. Imagen *FLAASH* con la combinación 4-5-6, en donde se puede apreciar resaltan principalmente los drenajes. 183

FIGURA N° 5. 26. Imagen *FLAASH* con la combinación 4-5-6, en donde resalta la topografía y las estructuras. 183

FIGURA N° 5. 27. Imagen *FLAASH* con la combinación 3-4-5, en donde resalta los cambios de vegetación. 184

FIGURA N° 5. 28. MDE donde se pueden observar la zona de cerros hacia la parte este del área de estudio y una zona de planicie hacia el sur-centro. Hacia el sureste se

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

puede apreciar un hundimiento imposible de determinar con vistas en planta o 2D.....	185
FIGURA N° 5. 29. Ejemplo del MDE que muestra los corrimientos presentes en la zona y su cierto paralelismo.....	186
FIGURA N° 5. 30. Ejemplo del MDE que muestra los corrimientos presentes en la zona y su cierto paralelismo.....	186
FIGURA N° 5. 31. <i>Shapefile</i> con drenajes interpretados y en el se pueden apreciar algunas de las características descritas anteriormente.	189
FIGURA N° 5. 32. <i>Shapefile</i> con las estructuras interpretadas por nosotros y las propuestas por otros autores.....	190
FIGURA N° 5. 33. Firmas espectrales que representan a las formaciones La Luna (verde oscuro), Colón Mito-Juan (sin diferenciar) en fucsia y el Grupo Cogollo (verde claro).....	192
FIGURA N° 5. 34. Firmas espectrales que representan a las formaciones La Sierra (amarillo) y el Grupo El Fausto (verde).....	193
FIGURA N° 5. 35. Firmas espectrales que representan a las formaciones Carbonera (anaranjado), Mirador (crema) y el Grupo Orocué (aquamarina).....	194
FIGURA N° 5. 36. Firmas espectrales que representan y diferencian al Grupo Cogollo en: Formacion Lisure (marrón) y Formación Apón (verde oliva).	195

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La utilización de sensores remotos dentro de los estudios geológicos ha sido desde su implantación una herramienta de mucha utilidad para reconocer, identificar y corroborar ciertos rasgos presentes en la superficie del planeta. Estos permiten explorar la zona de estudio sin tener que trasladarse al sitio, ya sea como parte previa a la fase de campo o como parte fundamental en la cual se base el estudio.

Una de las bondades de los sensores remotos, es que permite visualizar ciertos rasgos que quizás en campo serían imposibles de determinar e identificar, siendo de mucha utilidad entre otras cosas para la evaluación de los sistemas de drenajes existentes.

El empleo de los sensores remotos se remonta en un principio a la utilización de fotografías aéreas, pasando luego a las imágenes de radar hasta llegar en la actualidad a la interpretación de imágenes satelitales.

En la actualidad los sensores remotos incluyen fotografías, sensores aéreos y barredores satelitales sofisticados, sin embargo, un sistema satelital ofrece las siguientes ventajas sobre los demás:

- Los datos satelitales adquiridos por un sensor satelital pueden ser transmitidos a través de radio o de microondas y almacenados en cintas magnéticas, de manera que ellos pueden ser procesados y analizados fácilmente con la ayuda de computadores.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Muchos satélites en órbita sobre la tierra cubren la misma área de la superficie terrestre de una manera regular lo cual facilita la detección de cambios.
- Una vez que el satélite se ha lanzado, el costo de adquisición de datos es bastante menor que el de los datos obtenidos desde plataformas aéreas.
- Los satélites tienen una geometría muy estable, lo que significa que hay menos posibilidad de distorsión u oblicuidad en la imagen final.

Un sistema satelital esta compuesto de un barredor con sensores y de una plataforma satelital, a su vez, los sensores están compuestos de detectores. El barredor es el sistema completo de adquisición de datos, tal como el barredor TM de *Landsat*. El barredor incluye el sensor y los detectores.

El sensor es un dispositivo que recolecta energía, la convierte en señal eléctrica y la presenta de forma adecuada para obtener información sobre el medio ambiente (Colwell 1983).

Un detector es un dispositivo de un sistema sensor que registra la radiación electromagnética. En el caso del sistema sensor del barredor TM de *Landsat* existen 16 detectores por cada banda espectral (exceptuando la banda 6 que posee 4 detectores).

Por otro lado, las imágenes generadas por el *Landsat 7* adquiridas por el sensor ETM+ presentan una mejor relación costo-beneficio que los datos generados por satélites de resolución media (de 15 a 30 metros). Un *SIG* esta diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión; dicha información puede ser almacenada en formato raster o vectorial.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Adicionalmente, las imágenes satelitales pueden ser trabajadas en programas como el *ENVI*, *ERDAS* y *ArcGis*, siendo procesadas y digitalizadas para su posterior análisis. Los datos de una imagen obtenida mediante la percepción remota son una representación de la superficie de la tierra. Dichos programas proveen muchas herramientas diseñadas para extraer la información necesaria de las imágenes; almacenándolas en archivos de datos llamados archivos de imagen.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

1.1. OBJETIVO GENERAL

Generar un mapa geológico actualizado a escala 1:50.000 del área comprendida entre las coordenadas 9°40' a 10°00' latitud Oeste y 72°30' a 73°05' longitud Norte, a partir de las cartas Río Sirocuay (Hoja 5545) y El Tocuco (Hoja 5645) pertenecientes a la zona Occidental de la Sierra de Perijá, mediante la integración geológica de la información recopilada de datos bibliográficos y trabajos previos con los resultados del análisis de imágenes satelitales (Landsat 7 ETM).

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar alineaciones y estructuras a través de la interpretación de las imágenes satelitales.
- Determinar unidades espectrales a través de las diferentes combinaciones y cocientes de bandas de las imágenes Landsat 7.
- Realizar la clasificación supervisada y no supervisada de las características geológicas de las imágenes.
- Realizar el Modelo Digital de Elevación de la zona de estudio.
- Realizar la vectorización de la zona de estudio.
- Verificación de los datos obtenidos en el proceso de interpretación de las imágenes satelitales con respecto a la recopilación Bibliográfica.
- Generar un mapa geológico actualizado a escala 1:50.000 de la zona de estudio en ArcGis.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Realizar el informe final del Trabajo Especial de Grado con los resultados, análisis, conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron a través de las imágenes satelitales y sus atributos.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ubicada en la región Occidental de Venezuela, la Sierra de Perijá ha sido estudiada en anteriores oportunidades por diversos autores, cuyos trabajos aún no han podido generar una cartografía geológica tan enriquecida como la que existe de otras regiones del país. Esta situación se ha generado por las dificultades que existen para acceder a la zona, lo que ha hecho cada vez más difícil la realización de estudios geológicos dentro de la misma.

El área contemplada para desarrollar este Trabajo Especial de Grado se encuentra dentro de la Sierra de Perijá, la cual desde hace años y hasta la actualidad es considerada como una zona de difícil acceso, motivado principalmente a dos factores; el primero es el clima selvático reinante en la región, lo que por si solo ha representado un obstáculo para la penetración en la zona; y la segunda, es la presencia de grupos paramilitares y guerrilleros, que junto al desarrollo de otras actividades delictivas tales como el narcotráfico y los secuestros impiden el acceso a la región.

Debido a estos factores se hace complicado el desarrollo de estudios geológicos con el objetivo de actualizar la cartografía geológica de la zona mediante la aplicación de la geología clásica, por lo que se hace necesaria la búsqueda de nuevas herramientas que ayuden a cubrir la carencia de estudios geológicos de campo en la Sierra de Perijá.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

1.4. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Sierra de Perijá, región Occidental de Venezuela (ver FIGURA N°1.1), y comprende un área aproximada de 2330 Km², ubicada entre las coordenadas 72°30' a 73°05' longitud Oeste y 9°40' a 10°00' latitud Norte(UTM:710330E-774160E y 1069170N-1106160N)(ver FIGURA N° 1.2).

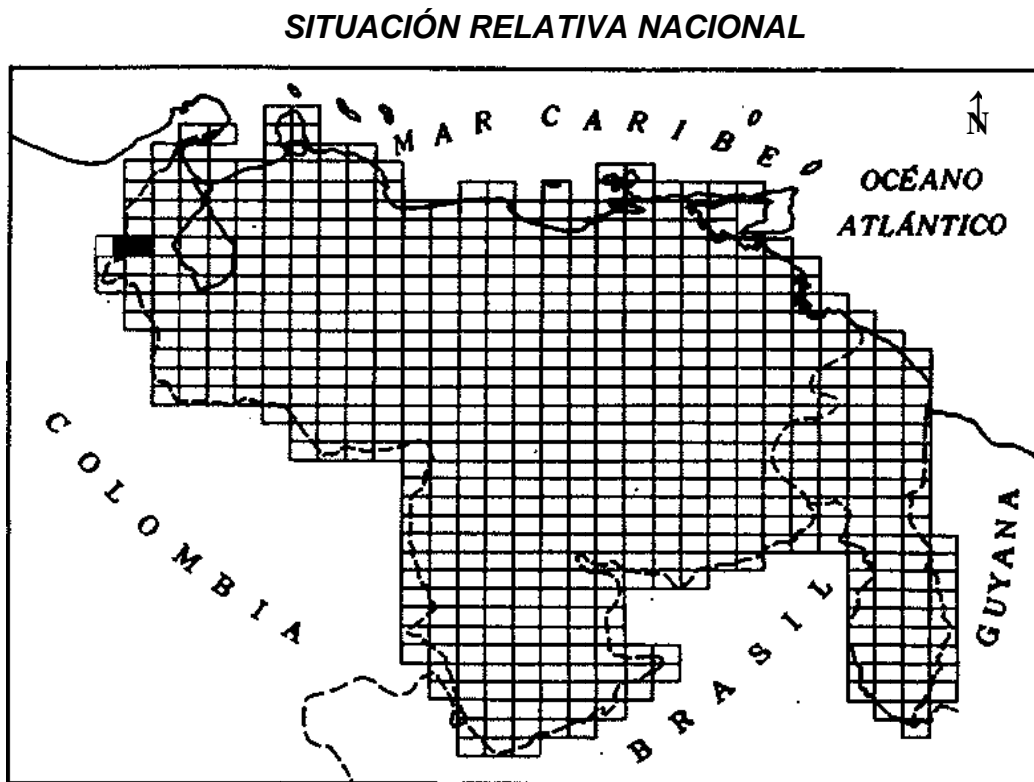


FIGURA N° 1. 1. Ubicación de la zona de estudio según su Situación Relativa Nacional. La zona de estudio se encuentra identificada con un recuadro negro. (Tomado y modificado de la Hoja 5545, Río Sirocuay, Venezuela.)

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

SITUACIÓN RELATIVA REGIONAL

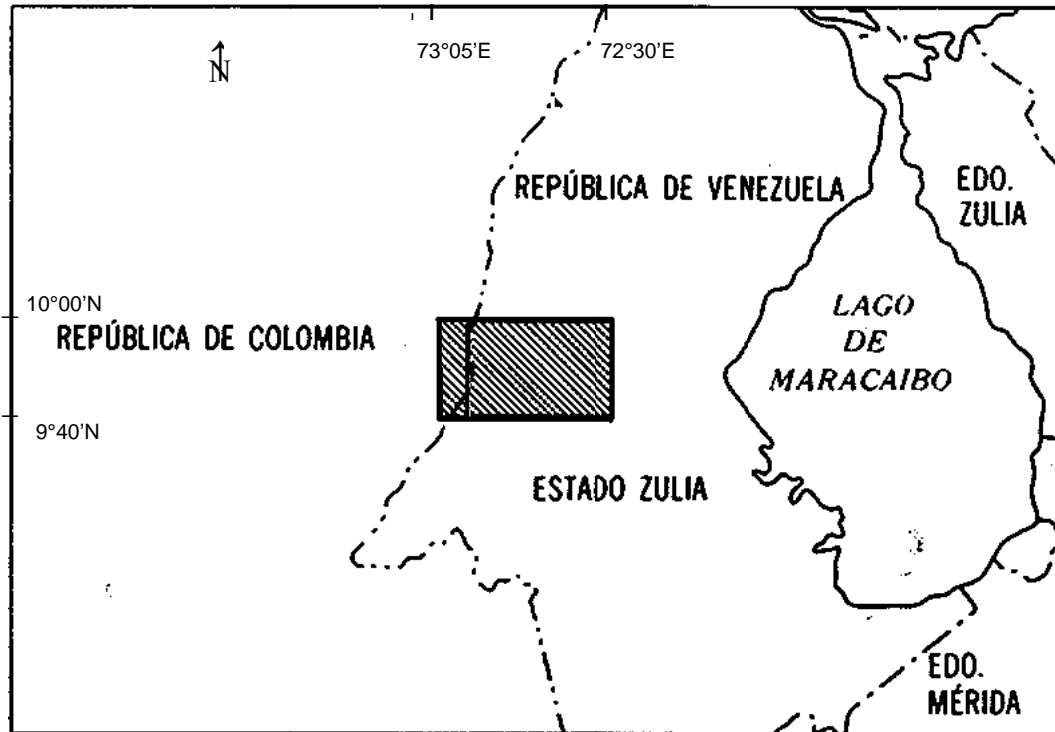


FIGURA N° 1. 2. Ubicación de la zona de estudio según su Situación Relativa Regional. La zona de estudio se encuentra identificada con el área rayada. (Tomado y modificado de la Hoja 5545, Río Sirocuay, Venezuela.)

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan las definiciones básicas relacionadas con la teoría de sensores remotos, así como también acerca de los programas a utilizar (*ArcGIS 9.1*; *ENVI 4.2*; *ERDAS Imagine 8.6*) para la obtención de los resultados. Finalmente se presentan las características más resaltantes de la zona de estudio ubicada en la Sierra de Perijá.

2.1. CONCEPTOS BÁSICOS

2.1.1. Geomática

En el presente trabajo el término de imagen hará referencia a la representación de la superficie de la tierra obtenida a través de medios ópticos, electro-ópticos, óptico-mecánico o eléctricos registrando en forma digital la radiación reflejada o emitida por los objetos en esa superficie; donde también incluye las imágenes captadas en el visible infrarrojo cercano y medio del espectro electromagnético.

Los datos espaciales están determinados por la medición, análisis y manejo de los datos terrestres, comprendiendo de este modo un método integrado denominado Geomática. Estos datos provenientes de satélites que orbitan la tierra, sensores marinos y aerotransportados, e instrumentos estacionarios de medición.

2.1.1.1. Áreas que integran la Geomática ⁽²⁾

La teledetección o también llamada percepción remota, es aquella que comprende la adquisición y medida de datos de algunas de las propiedades de un fenómeno, objeto o material a través de un dispositivo que no esta en contacto

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

directo con el elemento de interés. Esta técnica se encuentra relacionada con el conocimiento del objeto por medio de los campos de fuerza, radiación electromagnética; a través de cámaras, laser, receptores de frecuencia de radio, sistemas de radar, sonares, dispositivos termales, magnetómetros, gravímetros, entre otros instrumentos. El estudio de la radiación electromagnética de la tierra se puede adquirir e interpretar los datos geospaciales para desarrollar información sobre los rasgos, objetos y clases, principalmente de la parte continental de la superficie de la tierra.

Al interactuar con los objetos es modificada de manera que la energía resultante incorpora información que caracteriza al objeto y su posterior análisis.

La energía electromagnética de baja frecuencia es equivalente a ondas largas, mientras que la de alta frecuencia corresponde a ondas cortas (ver FIGURA 2.1).

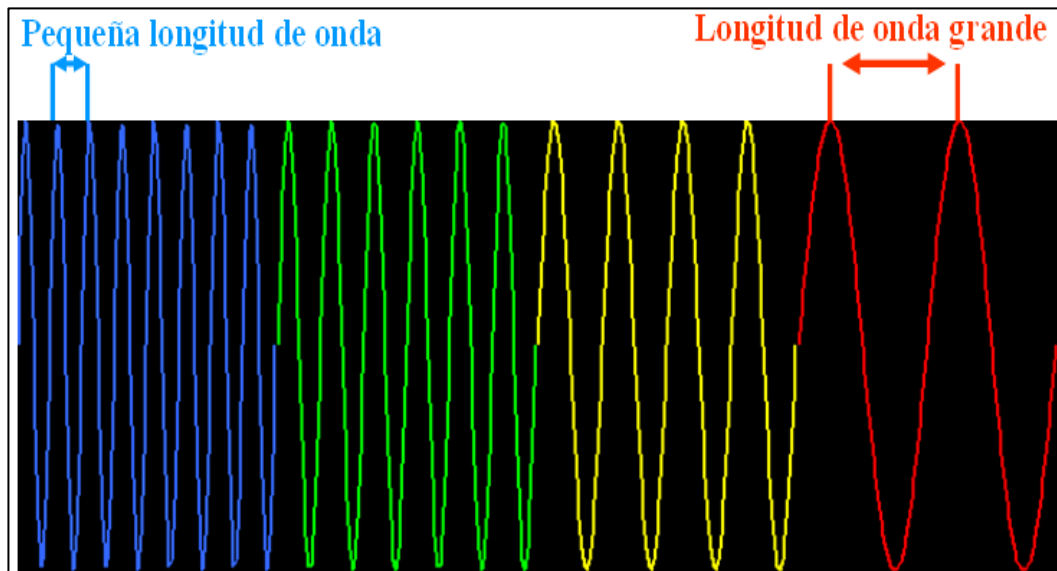


FIGURA N° 2. 1. La energía electromagnética. (Tomado del Curso introductorio de la Geomática, Freddy F, 2006)

De acuerdo a la longitud de onda, parte de la radiación incidente en el objeto es dispersada en diferentes direcciones, otra es absorbida por la materia, otra

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

trasmitida y otra reflejada. Para el posterior análisis de los objetos en la superficie terrestre, la energía de interés es la reflejada o reflectancia y la emitida o emitancia en el caso de mediciones de temperatura. La energía generada por el sol es la fuente de energía primaria, dicha energía es reflejada por los objetos en la superficie terrestre y detectada por sensores a bordo de satélites de observación terrestre; esto debido a la longitud de onda que percibe el satélite correspondientes a la ventanas atmosféricas; las cuales son las longitudes de onda que representan la mayor energía solar filtrada a través de la atmosfera que llega a la tierra denominada transmitancia.

2.1.2. Componentes del sistema de percepción remota ⁽²⁾

- Fuente de energía: Es la que da origen al flujo energético que es detectado por el sensor.
- Radiación y atmosfera: Se refiere a la interacción que existe entre la radiación solar y la atmosfera; dicha interacción es reciproca. Este fenómeno produce un efecto de filtro permitiendo el paso de ciertos rangos del espectro.
- Interacción con el objeto de interés: Los objetos están conformados por las diversas coberturas de la tierra: superficie terrestre, atmósfera y océano; la interacción con los mismos se refleja en fenómenos como: reflexión, absorción, emisión. La *reflexión* tiene que ver con el retroceso de la energía electromagnética desde una superficie; el fenómeno de *absorción* es causado principalmente por tres agentes atmosféricos: ozono, dióxido de carbono y vapor de agua. El ozono absorbe los rayos ultravioleta; el dióxido de carbono absorbe en la atmósfera inferior en la región de los 13-17.5 micrómetros; finalmente el vapor de agua absorbe en las porciones de 5.5-7 micrómetros y por encima de los 27. La *emisión* se refiere al cociente de la cantidad de la radiación electromagnética reflejada desde una superficie sobre la cantidad que originalmente choco con la superficie,

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

es decir, es la radiación absorbida por los materiales que es liberada en forma de calor.

- Sistema del sensor: Se encarga de captar, grabar y codificar la radiación que devuelve el objeto en tierra, sin estar en contacto con él; para luego enviar la energía grabada al sistema de recepción en tierra.
- Transmisión, recepción y procesamiento: Los datos recibidos en forma digital son pre-procesados para la obtención de una imagen.
- Interpretación y análisis: Implica a la interpretación de la imagen pre-procesada en forma visual o por su posterior procesamiento a través de técnicas digitales.
- Aplicación: Es la parte final del proceso de la percepción remota. Al extraer la información temática de la imagen, se logra entender el comportamiento de los objetos de interés para la solución de algún problema en particular.

2.1.3. Algunas aplicaciones de la percepción remota ⁽²⁾

- Ordenamiento del territorio
- Dinámica hidrográfica
- Mapas geológicos y geomorfológicos
- Prospección minera
- Estudios de vegetación
- Manejo forestal
- Evaluación de riesgos y desastres naturales
- Estudio de cuerpos de agua
- Climatología/meteorología
- Cambios climáticos globales

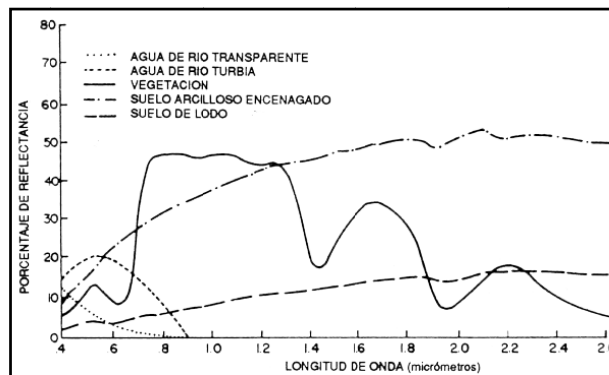
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.1.4. Ventana atmosférica y reflectancia espectral ⁽²⁾

Las ventanas atmosféricas son las porciones del espectro electromagnético que pasan a través de la atmósfera con poca o ninguna atenuación. Muchos de los sensores remotos son seleccionados para operar en una o varias ventanas atmosféricas, haciendo sus mediciones con detectores calibrados para ciertas frecuencias específicas o longitudes de onda que atraviesan la atmósfera.

La reflectancia espectral se refiere a la cantidad de radiación reflejada (absorbida o transmitida) de acuerdo a la firma espectral que posea el elemento de interés. Gracias a esta firma espectral que poseen todos los elementos de la naturaleza, se pueden diferenciar obteniendo una visión del tamaño general y forma de ellos; es decir, que de acuerdo a las características que lo componen, el objeto refleja con mayor o menor cada uno de los rangos de longitudes de onda. Debido a esto, en algunas longitudes de onda las areniscas pueden reflejar más luz que la vegetación verde.

Cada elemento tiene su respuesta espectral característica; en la siguiente grafica se puede apreciar que para distintos elementos de la naturaleza existen diferentes firmas espectrales; en este caso se presentan el agua, la vegetación y el suelo.



GRÁFICA N° 1. Firma espectral de diversas características naturales de la superficie de la tierra. (Tomado de <http://www.fao.org/DOCREP/003/T0446S/T0446S04.htm>.)

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

En la siguiente figura (ver FIGURA N° 2.2) se logra apreciar la respuesta espectral de el granito con una alta reflectividad en gris, la arena con una mayor absorción en marrón, la vegetación con una respuesta que va a depender del tipo y su contenido de agua; y finalmente la respuesta de mayor absorción como lo es la del agua.

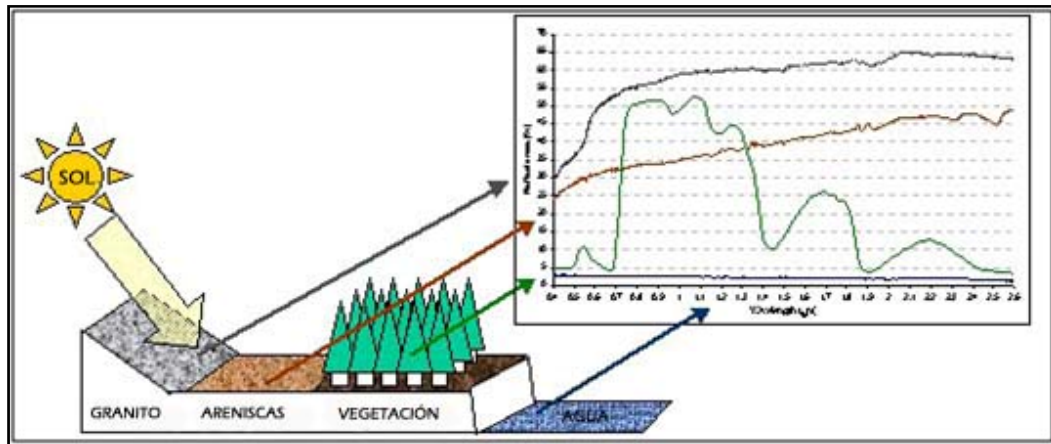


FIGURA N° 2. 2. Reflectividad de diferentes elementos. (Tomado y modificado de www.javeriana.edu.co)

La respuesta espectral de la vegetación varía de acuerdo a su estado; la sana tiene una reflectividad baja en el visible; en el caso de la vegetación enferma, disminuye el infrarrojo y aumenta la reflectividad en el rojo y en el azul.

Con respecto a las propiedades espectrales del suelo son relativamente simples, debido a que toda la energía se absorbe o refleja, es decir, la transmisión es nula. La reflectividad es relativamente baja para todas las bandas aunque aumentando en el infrarrojo; en cuanto a la reflectividad hay cierta dependencia con el contenido de agua del suelo, mientras mayor sea menor será la reflectividad y los suelos se verán con tonos más oscuros. Al aumentar el tamaño medio de las partículas del suelo, será mayor la reflectancia (los suelos arenosos tienen mayor reflectividad que los arcillosos); de acuerdo a esto se tiene que la reflectancia irá disminuyendo de

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

acuerdo al tamaño de grano: arena (mayor reflectancia), limo y arcilla (menor reflectancia).

El contenido de materia orgánica tiene también cierta influencia en la reflectividad, mientras mayor sea su contenido y no se encuentre tan descompuesta, más oscuro será el suelo, es decir, menor reflectividad tendrá. En cuanto a la composición química y mineralógica del suelo se puede decir que afectará a la reflectividad del suelo dependiendo de su contenido, por ejemplo, se incrementará en rojo si el contenido de óxido de hierro es elevado.

En conclusión, las diferentes cubiertas no presentan un comportamiento único y permanente que coincida con las curvas de reflectividad espectral y que permitan reconocerlas sin confusión frente a otras superficies. Cada cubierta presenta una variabilidad determinada por varios factores, entre ellos: ángulo de iluminación, relieve, influencias atmosféricas, ángulo de observación, así como también por sus características particulares de acuerdo al tipo de vegetación o suelo se refiera; las cuales dificultan en algunos casos su discriminación.

2.1.5. Ventajas de la observación espacial ⁽²⁾

- Cobertura global y periódica de la superficie terrestre.
- Cobertura de lugares inaccesibles.
- Visión panorámica (debido a la altura) que permite observar pliegues, fallas, geoformas y capas de hielo.
- Amplia cobertura de superficie.
- Homogeneidad en la toma de datos; sin desigualdad en los tonos, brillos o colores.
- Información de los objetos en regiones no visibles del espectro.
- Estructura digital que permite rápido acceso a los datos.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.1.6. Inconvenientes de la observación espacial ⁽²⁾

- Calibración.
- Cobertura nubosa.
- Frecuencia de adquisición.
- Resolución espacial.
- Resolución espectral.
- Visión estereoscópica.

2.2. IMÁGENES LANDSAT 7

El satélite *Landsat 7*, lanzado en 1999, usa el sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) para observar la tierra. El *Landsat 7* incluye las siguientes capacidades:

- Una banda pancromática con 15 metros de resolución espacial.
- Una calibración radiométrica del 5% con apertura completa.
- Un canal infrarrojo térmico IR con resolución espacial de 60 metros.

La estación receptora principal de datos de *Landsat 7* está localizada en *Sioux Falls*, Dakota del sur, en el Centro de Datos EROS (EDC) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Los datos ETM+ son transmitidos usando la banda X, a una tasa de 150 Mbps. *Landsat 7* es capaz de capturar escenas sin obstrucción de nubes y las estaciones receptoras pueden obtener estos datos en tiempo real usando la banda X. Sin embargo, las estaciones, localizadas alrededor del planeta, son únicamente capaces de recibir datos para la porción de la trayectoria terrestre ETM+, en la cual el satélite puede ser visto por la estación receptora.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.3. CONCEPTOS DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)⁽⁹⁾

Un SIG (en inglés GIS) es un sistema de información especializado en el manejo y análisis de información geográfica (geoespacial); donde la información geográfica es la abstracción o representación de la realidad geográfica.

El inicio de los SIG se remonta a comienzos de la humanidad. Los mapas más antiguos se conocieron 2500 a.C., pero probablemente haya sido de tiempos anteriores. Desde entonces, el hombre ha continuado mejorando los métodos de representación de la información espacial.

El primer sistema SIG fue el sistema de información geográfica canadiense, desarrollado en 1962 por Roger Tomlinson para el inventario de tierra del Canadá. Diferentes sistemas empezaron a ser desarrollados para aplicaciones específicas. En este caso, se diseñó un sistema para almacenar mapas digitalizados y atributos correspondientes al terreno canadiense en un formato de fácil acceso. Este sistema aun se encuentra en operación (Parent y Church 1987).

La era moderna de los SIG empieza en los años 70, cuando los analistas comienzan a programar computadoras para automatizar algunos procesos manuales. Algunas compañías de *software* como *ESRI* y *ERDAS* desarrollaron paquetes que permitían la entrada, despliegue y manipulación de datos geográficos para crear nuevas capas de información.

Actualmente un sistema de información geográfica o (SIG) es un sistema único diseñado para entrar, almacenar, recuperar, manipular y analizar capas de datos geográficos para producir información interpretable. Un SIG también debería ser capaz de crear reportes y mapas (Marble 1990). La base de datos de un SIG incluye imágenes de computador, mapas impresos, datos estadísticos y otros tipos de datos

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

necesarios en un estudio. La tecnología SIG puede usarse en casi cualquier disciplina relacionada con la geografía, desde arquitectura paisajística hasta el manejo de recursos naturales o el diseño de rutas de transporte.

El propósito principal de un SIG es convertir datos geográficos en información útil; entre ellos tenemos: monitorear la influencia de los cambios climáticos globales sobre los recursos de la tierra, redefinir las divisiones políticas en un área metropolitana que crece rápidamente, ubicación de grandes infraestructuras que causen el menor impacto ambiental y que sean lo suficientemente estables (riesgo geológico).

La típica implementación de un SIG incluye dos pasos: entrada de datos y su posterior análisis. En la entrada se reúnen dentro de una base de datos las capas de datos necesarias. En la fase de análisis, estas capas son combinadas y manipuladas en cierto orden para crear nuevas capas para luego extraer información útil de ellas.

2.3.1. Temas y capas ⁽⁹⁾

Una base de datos usualmente contiene archivos con datos de la misma área geográfica, donde cada archivo contiene diferentes tipos de información. Cada uno de estos archivos contiene diferente información, cada uno es un tema diferente. El concepto de temas ha evolucionado desde los comienzos de los SIG, en los que se crearon transparencias para cada tema y por superposiciones fueron combinadas de diferentes maneras para derivar nueva información.

Un tema sencillo puede requerir más que un simple archivo raster o vector para describirlo completamente. En cambio para la imagen, hay atributos que describen la información, un esquema de colores o una leyenda significativa para la imagen. De este modo, una capa es una colección completa de datos que describe cierto tema.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Dependiendo de las metas propuestas de un proyecto, tal vez sea útil combinar varios temas dentro de una capa. Muchos de los análisis de los SIG se relacionan con la combinación individual de temas dentro de una o más capas que responden las preguntas manejadas en el análisis.

2.3.2. Capas continuas ⁽⁹⁾

Las capas *raster* continuas son cuantitativas (miden una característica) y están relacionadas con valores continuos. Las capas raster continuas pueden ser multibanda (*Landsat TM*) o de una sola banda (*SPOT* pancromática).

Las imágenes de satélite, fotografías aéreas, datos de elevación, mapas escaneados y otros datos de capas continuas, pueden incorporarse a una base de datos y proveer información que no esté disponible en capas temáticas o capas vector. En efecto, estas capas forman el cimiento de la base de datos. Pueden crearse mapas base precisos a partir de imágenes de satélite o fotografías aéreas rectificadas. Luego, todas las otras capas que sean adicionadas a la base de datos pueden registrarse con este mapa base.

Aunque alguna vez se usaron únicamente para procesamiento de imágenes, los datos continuos se están incorporando a base de datos SIG y se usan en combinación con datos temáticos que inciden en el procesamiento e algoritmos; también se usan como imagen de fondo en la presentación de los resultados el análisis. Actualmente los datos de satélite y fotografías aéreas son efectivos en la actualización de datos vectoriales obsoletos. Los vectores pueden suponerse sobre un fondo *raster* para actualizar dinámicamente elementos nuevos o que han cambiado, tales como caminos, redes de servicios públicos o usos de tierra.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.3.3. Capas Temáticas ⁽⁹⁾

Los datos temáticos están representados como capas sencillas de información y se almacenan como archivos (.img) que contienen clases discretas. Las clases son simplemente categorías de píxeles que representan la misma condición.

Algunas veces a una capa temática se le llama variable, porque representa una de las muchas características acerca del área de estudio. Las capas temáticas tienen generalmente solo una banda, usualmente desplegada en modo de pseudo-color, donde los colores particulares asignados sirven para ayudar a visualizar la información.

2.4. ENTRADA DE DATOS ⁽⁹⁾

Entrada de datos: Un SIG debe de tener la capacidad de recibir datos de distintas maneras:

- Digitalización directa: Se refiere a los mapas en papel o más recientemente mediante el método “*heads up digitizing*”, en el cual se utiliza una foto aérea o una reproducción escaneada de un plano y digitaliza los elementos que desee en ese plano o foto.
- Entrada de coordenadas en archivos digitales: Se aplica en casos diversos donde existen tablas que tienen coordenadas, tanto manuales o las que se reciben directamente de aparatos GPS.
- Teledetección: Usualmente es complementaria con los SIG porque los productos de un procesador de imágenes suelen ser otras capas de información que pueden ser utilizadas por los SIG.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

El *Output* es la representación gráfica y cartográfica en digital, el cual aporta las herramientas para hacer mapas y reproducir gráficas. Para la manipulación de estos datos se deben de manejar herramientas como lo son las funciones para la transformación matemática de coordenadas, proyecciones cartográficas, transformaciones geométricas (rotación, reducción o ampliación de escalas), reformato (integración, generalización y depuración), y por último la importación y exportación de datos.

2.5. FUNCIONES DE UN SIG ⁽⁹⁾

El análisis es el componente más importante dentro de un SIG; debido a que se trata de utilizar la información disponible para producir nueva información. Las funciones analíticas que debe poseer un SIG son:

- Selección geográfica: Se basa en la búsqueda compleja o simple tanto en el aspecto geográfico como en la base de datos.
- Proximidad: Determina la cercanía de los objetos en base a distancias.
- Sobreimposición cartográfica (*overlay & map algebra*): Involucra a funciones importantes y combina a las anteriores; además añade otras funciones tales como: la reclasificación y las funciones por celda (grupos de celda con un mismo valor dentro de un *layer*).
- Rutas óptimas: trata de la selección de rutas con la menor distancia o resistencia posible. Puede darse en medios tales como una red de carreteras, drenajes, tuberías, etc.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.5.1. Tipo de codificación de los datos geográficos ⁽⁹⁾

La manera en que se guarda la información que representa los datos geográficos en un *SIG* tiene dos vertientes:

- Representación vectorial: Utiliza los elementos (*primitives*) llamados punto, línea y polígono para representar la geografía.
- Representación *raster*: Se basa en la unidad fundamental llamada celda o píxel, los cuales definen toda una capa de información.

2.5.2. Utilidad de los SIG ⁽⁹⁾

- ❖ Inventarios de recursos:
 - Catastros
 - Recursos naturales
 - Infraestructuras: electricidad, agua, etc.
 - Arqueológicos
- ❖ Planificación y urbanización:

Sirve para delimitar áreas reglamentarias en base de criterios científicos.
- ❖ Geomercadeo:

Herramienta para investigaciones de mercados según la geografía censal y los datos estadísticos de encuestas, etc.
- ❖ Seguridad pública.
- ❖ Manejo de distribución de fondos:

Programas sociales, educación y fondos de emergencias por desastres.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.6. SOFTWARE ENVIROMENT FOR VISUALIZING IMAGES (ENVI)⁽⁵¹⁾

ENVI es un *software* de procesamiento de imágenes satelitales con excelentes algoritmos, que de manera fácil y completa permite hacer teledetección desde plataformas *Windows*, *Unix* y *Mac*. Por su diseño tan abierto, este *software* hace fácil trabajar con datos *Landsat*, *SPOT*, *RADARSAT*, *NASA*, *NOAA*, etc. El *ENVI* añade a su capacidad para el procesamiento general de imagen, herramientas de teledetección clásicas, a las cuales se le suman otras más avanzadas como las incorporadas para el tratamiento RADAR o el hiperespectral, donde es el líder indiscutible del mercado.

Además de lo mencionado anteriormente, se añade el hecho de que este *software* se encuentra totalmente desarrollado en *IDL*, con lo que la capacidad de implementación y personalización hace de él una herramienta inmejorable ya que la potencia de *IDL* se incorpora de forma cómoda a *ENVI* sin crear conflictos. Por todas esas características de fácil manejo, es que *ENVI* fue seleccionado para ser utilizado en la fase de procesamiento de la imagen satelital de este trabajo especial de grado.

2.6.1 Conceptos Básicos

Para la utilización del *software ENVI* es necesario manejar los siguientes dos conceptos:

2.6.1.1 Corrección Radiométrica⁽¹¹⁾

En el procesamiento de imágenes satelitales se requiere restaurar la imagen de tal forma que se pueda obtener una representación lo más fiel posible de la superficie de la tierra. Las imágenes de sensores remotos son tomadas frecuentemente a una gran distancia de la superficie terrestre, en donde la energía electromagnética requiere atravesar la atmósfera antes de llegar al sensor.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Dependiendo de la longitud de onda y de las condiciones atmosféricas, la energía que llega al sensor se ve sustancialmente modificada.

2.6.1.2 Calibración de la Radiancia ⁽¹¹⁾

Los valores de los píxeles en imágenes satelitales representan la radiancia de la superficie en forma de números digitales (*DN*), los cuales son calibrados para ajustarlos en un cierto rango de valores. La conversión de *DN* a una radiancia absoluta es un procedimiento necesario para comparar imágenes tomadas por diferentes sensores. Cada sensor tiene sus parámetros de calibración usados para grabar los valores *DN*. El mismo valor *DN* de dos imágenes tomadas por diferentes sensores puede representar dos valores de radiancia diferente. Usualmente los detectores son calibrados para que haya una relación lineal entre el *DN* y la radiancia espectral. Esta función lineal es descrita por tres parámetros: el rango del valor del *DN* en la imagen, la mínima (*Lmin*) y la máxima (*Lmax*) radiancia medida por un detector sobre la banda espectral del canal. *Lmin* es la mínima radiancia espectral correspondiente al valor *DN* mínimo (usualmente cero). *Lmax* es la radiancia correspondiente al máximo *DN* (usualmente 255). No solamente cada sensor, sino cada banda dentro del mismo sensor tienen su propio *Lmax* y *Lmin*. La información acerca de los parámetros de calibración del sensor (*Lmin* y *Lmax*) es usualmente suplida con la imagen.

2.6.2 Pre-procesamientos ejecutables en *ENVI*

Como se menciona anteriormente, *ENVI*, es un *software* de fácil manejo, que por sus características permite la ejecución rápida y efectiva de procesos que resultan imprescindibles para el análisis de imágenes satelitales, siendo este el motivo por el cual fue seleccionado para ser utilizado en la realización del procesamiento de la imagen satelital en este trabajo especial de grado. A continuación, dichos procesos se

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

explicaran de manera teórica y en el siguiente capítulo se describirá la metodología que se siguió durante la ejecución de todos ellos.

2.6.2.1 Calibración de la imagen ETM

La calibración de la imagen satelital, constituye uno de los pre-procesamientos de la imagen y se fundamenta en el hecho de que las imágenes capturadas por sensores remotos vienen procesadas como números digitales, los cuales son necesarios transformar a unidades espectrales para su posterior utilización. Para la realización de esta calibración es necesario contar con las 8 bandas que constituyen la imagen satelital, junto con la respectiva *metadata* de la imagen, en la cual se encuentra la información básica de la misma. Cabe destacar que la *metadata* se puede obtener vía internet a través del comando *get calibration parameters from web*.

2.6.2.2 *Layer Stacking* ⁽¹¹⁾

El *Layer Stacking*, es un proceso que se realiza luego de transformar los *DN* de las bandas en radiancia y consiste en unir dichas bandas radiancia en una sola imagen, siguiendo el orden creciente de las bandas, aspecto a tomar en cuenta, ya que es de suma importancia seguir la secuencia original de las bandas.

2.6.2.3 Conversión a formato *BIL* ⁽¹¹⁾

Al compilarse las bandas, su formato de salida se encuentra en *BSQ* (formato secuencial de banda), sin embargo se requiere de su conversión al formato *BIL* (formatos de bandas intercalados por línea), debido a que es el formato de archivo recomendado para la mayor parte de las tareas del procesamiento (espacial y espectral) de *ENVI*.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.6.2.4 Corrección Atmosférica (*FLAASH*)⁽¹¹⁾

Debido a que los componentes de la atmosfera producen un efecto de absorción y dispersión, que modifica la señal procedente de la superficie terrestre, se necesita calcular la reflectividad del terreno estimando la transmisividad de la atmosfera (la descendente y la ascendente), la irradiancia difusa y la radiancia atmosférica debida a la dispersión. Los procedimientos para abordar estas correcciones requieren contar con datos sobre las condiciones de la atmosfera en el momento de la toma de la imagen. La corrección atmosférica en el *ENVI* se realiza a través de la función *FLAASH* (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*), la cual está basada en el modelo de transferencia radiativa *MODTRAN4* (*Moderate Resolution Transmittance 4*). Los objetivos primordiales del *FLAASH* es eliminar la radiancia recibida por el sensor así como los efectos de absorción y dispersión de la energía electromagnética causada por las moléculas y partículas atmosféricas en suspensión; para luego, convertir esa radiancia en valores de reflectividad de la superficie. El *MODTRAN4*, requiere algunos parámetros de entrada, tales como: ángulo solar, ángulo de observación, elevación promedio de la superficie, modelo atmosférico estándar, tipo de aerosol y rango de visibilidad horizontal. En si, *FLAASH* corrige el vapor de agua, oxígeno, dióxido de carbono, metano y ozono en la atmosfera, así como la dispersión molecular y aerosoles.

El *software ENVI* cuenta con uno de los módulos (*FLAASH*) más utilizados para la corrección atmosférica de imágenes.

2.6.3 Procesamiento Hiperespectral para el Análisis de Datos Multiespectrales

El procesamiento hiperespectral consiste en un conjunto de procesos que se aplican en la imagen satelital una vez esta haya sido corregida atmosféricamente.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.6.3.1 Máscara de Nubosidad ⁽²²⁾

Previo a la aplicación de las herramientas de procesamiento hiperespectral y para obtener mejores resultados, se procede a eliminar las áreas que representan nubosidad y las sombras asociadas a estas, debido a que no es de interés geológico y además afectan al cálculo estadístico del procesamiento en la evaluación de la pureza de los píxeles. Para ello se genera un archivo *Shapefile* (.shp) con el contorno de las nubes y sus sombras en el programa *ArcGis*, y luego se convierte el archivo a *ROI* (.evf) en *ENVI* 4.2.

2.6.3.2 Transformación de la Fracción Mínima del Ruido (MNF) ⁽²²⁾

La aplicación de esta herramienta tiene como finalidad minimizar el ruido en la data espectral, determinar la dimensionalidad espectral de los datos y reducir los requerimientos computacionales.

Este procedimiento incluye la disminución del autovalor con el incremento de las bandas *MNF*, siendo el ruido mayor hacia las bandas *MNF* mayores.

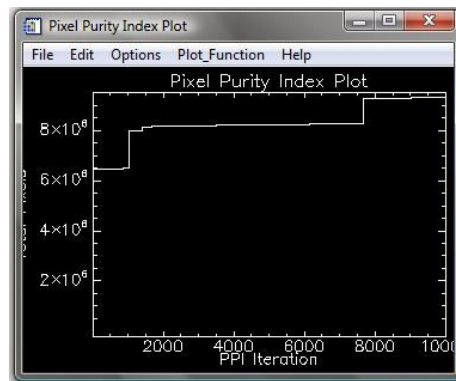
2.6.3.3 Índice de Pureza del Pixel (PPI) ⁽²²⁾

Este procedimiento es utilizado para encontrar espectralmente los píxeles puros o los píxeles extremos en los datos multiespectrales o hiperespectrales (normalmente no alcanzan el 1%). La finalidad de encontrar estos píxeles puros es poder trabajar con la mayor cantidad de píxeles verdaderos y eliminar aquellos que no aportan información que se está analizando. La imagen *PPI* representa los números digitales de cada píxel que se corresponde con el número de veces que fue registrado como extremo. Los píxeles más brillantes en la imagen muestran la localización espacial de los píxeles puros.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

El estatus de procesamiento muestra el total de número de pixeles extremos que satisface el criterio de tolerancia del *PPI* como una función del número de interacciones.

La Grafica N° 2 muestra una línea plana asintótica (pendiente cero) cuando los pixeles extremo son encontrados.



GRÁFICA N° 2. Gráfico que hace referencia al Índice de Pureza de Pixeles.

2.6.3.4 Visualizador N-Dimensional

Este procedimiento se utiliza para extraer el espectro del *edmenber*, usando el espacio de mezcla espectral. La distribución de los puntos permite estimar el número de *edmenber* puros espectrales, así como sus firmas espectrales. Los pixeles puros se encuentran en los vértices de la figura geométrica.

2.6.3.5 Spectral Angle Mapper (SAM)

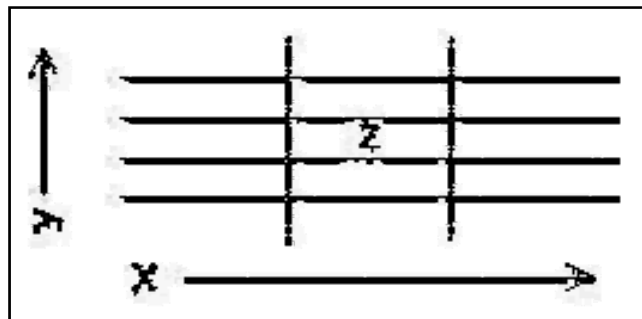
El *SAM* es el ángulo de medida entre el espectro y el espectro de referencia. El algoritmo calcula la similaridad entre dos espectros mediante el cálculo del ángulo espectral entre ellos. Dicho ángulo es visto a través de vectores en el espacio espectral con una dimensionalidad igual al número de bandas; y determina la separación angular de un pixel con respecto al espectro de referencia. La clase es

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

asignada si el ángulo es inferior a un valor predefinido. Mientras más pequeño sea el ángulo, mejor correspondencia al espectro de referencia tendrá.

2.6.3.6 Modelo Digital de Elevación (en inglés *DEM*) ⁽⁴⁷⁾

El Modelo Digital de Elevación (MDE) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la elevación de la superficie del terreno, siendo su unidad básica de información un valor de elevación *Z*, al que acompañan los valores correspondientes de *X* e *Y* (ver GRÁFICA N° 3), que expresados en un sistema de proyección geográfica permiten una precisa referenciación espacial y una perspectiva tridimensional de la imagen (ver FIGURA 2.3).



GRÁFICA N° 3. Unidad básica del MDE “Z” que acompaña los valores “X” e “Y”. (Tomado de www.ciat.cgiar.org)

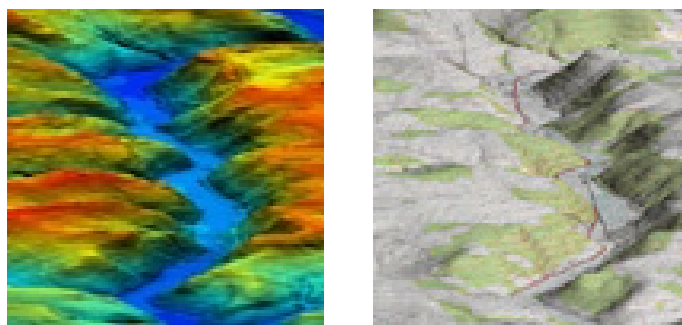


FIGURA N° 3. Dos ejemplos de MDE. A la izquierda muestra un 3D Pseudo Color 10 m DEM Pensilvana E.E.U.U; a la derecha 3D Mapa Topográfico 10 m DEM Pensilvana E.E.U.U. (Tomado de www.satimagingcorp.es)

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.7 SOFTWARE ERDAS IMAGINE

El *software ERDAS Imagine* incorpora las funciones de procesamiento de imágenes y de SIG, que por sus características y fácil manejo en ciertas aplicaciones fue seleccionado para ser utilizado en este trabajo. Estas funciones incluyen importación, visualización, transformación y análisis de datos *raster* y vectoriales.

2.7.1 Fundamentos de ERDAS Imagine

A continuación se presentan un grupo de conceptos y fundamentos del *software ERDAS Imagine*:

2.7.1.1 Datos de la imagen ⁽²²⁾

Una imagen es la representación o gráfico digital de un objeto. Los datos de una imagen obtenida mediante la percepción remota son una representación de la superficie de la tierra; ellos son almacenados en archivos de datos llamados archivos de imagen, en cintas magnéticas, discos de computador u otros medios; los datos consisten únicamente de números.

Cada número en un archivo de imagen es un nivel digital, los cuales son llamados valores de píxel. El término píxel es la abreviación de *Picture element* (elemento gráfico), es la parte más pequeña de un gráfico (el área que se ha barrido) que tiene un valor único. El nivel digital es el valor de brillo el píxel en una longitud de onda específica.

La celda de grilla (*gris cell*) esta representada por un píxel en una cuadrícula donde se encuentran los datos *raster*. En los datos de imágenes obtenidas remotamente, cada píxel representa un área de la superficie terrestre en una locación específica. El nivel digital asignado a ese píxel es el registro de la radiación reflejada

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

o de la emisión de calor de la superficie terrestre en esa posición. Los términos píxel y nivel digital no son intercambiables en *ERDAS Imagine*.

2.7.1.2 Bandas⁽²²⁾

Los datos de una imagen pueden incluir varias bandas de información. Cada banda es un conjunto de niveles digitales para una porción específica del espectro electromagnético de luz reflejada o de emisión de calor o alguna otra información definida por el usuario y creada por combinación o realce de las bandas originales. El programa *ERDAS Imagine* puede manejar un número ilimitado de bandas de datos de la imagen en un solo archivo.

En *ERDAS Imagine* las bandas de los datos son ocasionalmente referidas como capas. Al importar una banda a un SIG, se vuelve una capa de información que puede procesarse de varias maneras. Así como también, pueden crearse capas adicionales y agregarse al archivo de la imagen (extensión *.img*) en *ERDAS Imagine*, tales como las capas creadas a través de las capas existentes.

El *Viewer* (visor) permite mostrar varias imágenes; en este caso cada imagen (incluso una imagen multibanda) puede ser una capa.

2.7.1.3 Percepción Remota

Normalmente los datos de percepción remota se refieren a los datos de la tierra recolectados por sensores que están a bordo de satélites o aviones. La mayoría de las imágenes usadas en el sistema *ERDAS Imagine* son obtenidas mediante percepción remota.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.7.1.4 Resolución ⁽²²⁾

Es un término que se utiliza para describir el número de píxeles que hay en un dispositivo de despliegue, así como también el área en la tierra que representa en un archivo de la imagen.

Se consideran cuatro tipos de diferente resolución que son adecuadas para describir datos de sensores remotos:

- **Resolución Espectral:** Los intervalos de longitud de ondas específica que un sensor puede grabar.
- **Resolución Espacial:** El área de la tierra representada por cada píxel.
- **Resolución Radiométrica:** El número posible de niveles digitales en cada banda.
- **Resolución Temporal:** La frecuencia en que un sensor obtiene imágenes de un área en particular.

2.7.1.5 Entrada de datos ⁽²²⁾

La adquisición de los datos apropiados para un proyecto supone crear una base de datos de capas que abarquen el área de estudio. Una base de datos creada con *ERDAS Imagine* puede estar constituida por:

- Capas continuas: imágenes de satélite, fotografía aéreas, datos de elevación, etc.
- Capas temáticas: uso de tierras, vegetación, hidrología, suelos, pendientes, etc.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Capas de vector: vías, redes de comunicación y servicios públicos, parcelas, etc.
- Estadísticas: frecuencia de una ocurrencia, demografía, etc.
- Datos de atributos: características de las carreteras, tierras, imágenes, etc.

El paquete de *software ERDAS Imagine* emplea una arquitectura orientada a objetos, que utiliza imágenes *raster* y datos topológicos vector. Las imágenes *raster* son almacenadas en archivos *.img* y las capas vector son coberturas basadas en los modelos de datos *ARC/INFO*. La perfecta integración de estos dos tipos de datos permite al usuario aprovechar los beneficios de ambos formatos en un solo sistema.

En las siguientes aplicaciones podrían ser más apropiados los datos *raster*:

- Selección de sitios
- Manejo de recursos naturales
- Exploración de petróleo
- Planeación de misiones
- Detección de cambios

De otra parte, los datos vector pueden ser útiles en estas aplicaciones:

- Planeación urbana
- Valoración de impuestos y planificación
- Ingeniería de tráfico
- Gestión de instalaciones

La ventaja de sistema vector y *raster* integrado tal como *ERDAS Imagine* es que una estructura de datos no sobresale sobre la otra. Ambos formatos de datos pueden ser usados y las funciones de ambos tipos de sistemas pueden ser utilizadas.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Dependiendo del proyecto, pueden ser necesarios solo dato vector o *raster*, pero se obtienen más beneficios de las aplicaciones si se usan ambos.

2.7.1.6 Datos Geocodificados ⁽²²⁾

También conocida como georeferenciación es el registro o codificación geográfica de los píxeles de una imagen. Los datos geocodificados son imágenes que han sido rectificadas a una proyección cartográfica y a un tamaño de píxeles particulares.

Los datos de imágenes de percepción remota son adquiridos por un sensor a bordo de una plataforma, tal como un avión o un satélite. En su forma original, los datos no están referenciados en un mapa. La rectificación es el proceso de proyectar los datos en un plano y hacerlos conformes con un sistema de proyección. Las imágenes originales se pueden geocodificar con las herramientas de rectificación de *ERDAS Imagine*.

a. Georeferenciación ⁽²²⁾

Es el proceso de enlazar el espacio *raster* de una imagen a un modelo espacial (por ejemplo sistema cartográfico). El espacio *raster* define como se colocan las líneas de cuadrícula del sistema de coordenadas en relación con el centro de los píxeles de la imagen. En *ERDAS IMAGINE*, las líneas de cuadrícula del sistema de coordenadas siempre interceptan en el centro de un píxel. *GeoTIFF* permite que el espacio *raster* se defina teniendo las líneas de cuadrícula interceptando en el centro de los píxeles (*pixel Is Point*) o teniendo las líneas de cuadrícula interceptando en la esquina superior izquierda de los píxeles (*pixel Is Area*). *ERDAS IMAGINE* convierte los valores de georeferenciación para imágenes *Pixel Is Area* de manera que se ajusten a su definición del espacio *raster*. *GeoTIFF* permite la georeferenciación a través de una escala y un desplazamiento, de una transformación afín completa o de un

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

conjunto de puntos de enlace. *ERDAS IMAGINE* actualmente ignora la georeferenciación de la forma de múltiples puntos de enlace.

b. Geocodificación ⁽²²⁾

Es el proceso de enlazar coordenadas en el modelo espacial a la superficie de la tierra. *ERDAS Imagine* puede interpretar la geocodificación *GeoTIFF* de tal manera que se pueda interpretar la latitud y longitud de las coordenadas cartográficas de las imágenes *GeoTIFF*. Esta interpretación también permite que la imagen *GeoTIFF* sea reproyectada.

En *GeoTIFF*, las unidades de las coordenadas cartográficas se obtienen a partir de la geocodificación, no de la georeferenciación. Adicionalmente, *GeoTIFF* define un conjunto de sistemas estándar de coordenadas proyectadas. El uso de un sistema estándar de coordenadas proyectadas en *GeoTIFF* restringe las unidades que se pueden usar con ese sistema estándar. Por consiguiente, si las unidades usadas con una proyección en *ERDAS IMAGINE* no son iguales a las unidades de una geocodificación *GeoTIFF* equivalente, *ERDAS IMAGINE* transforma la georeferenciación para ajustarla a las unidades implicadas de tal manera que se pueda usar el código del sistema estándar de coordenadas proyectadas. La alternativa de preservar la georeferenciación como tal y producir un sistema de coordenadas proyectadas no estándar se considera poco viable.

2.7.1.7 Uso de datos de imágenes en un SIG ⁽²²⁾

ERDAS Imagine provee muchas herramientas diseñadas para extraer la información necesaria de las imágenes a una base de datos; hay opciones disponibles para obtener archivos de imágenes adicionales de las que son adquiridas (en nuestro caso *ENVI*); las cuales involucran la combinación de archivos, elaboración de mosaicos y cortes.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Los programas de *ERDAS IMAGINE* procesan datos de imágenes con un número ilimitado de bandas, pero los tipos más comunes son *Landsat* y *SPOT*; tienen siete o menos bandas.

Para poder combinar dos o más archivos de imágenes, cada archivo debe de estar georeferenciado en el mismo sistema de coordenadas, o registrados uno a otro.

2.7.1.8 Subconjuntos (*Subset*) ⁽²²⁾

Se refiere al fraccionamiento de un archivo grande en uno o más archivos pequeños. Muchas veces, los archivos de imágenes contienen áreas más extensas que el área bajo estudio. En estos casos es útil reducir el tamaño del archivo de la imagen incluyendo solamente el área de interés (*AOI*); eliminando de esta forma los datos extraños en el archivo y agiliza el procesamiento debido a la cantidad pequeña de datos a procesar. Esto es importante cuando se trabaja con datos multibanda.

La opción *Import* del *ERDAS Imagine* permite definir un subconjunto de una imagen para visualizar o importar; también se puede usar la opción *Imagine Interpreter/Subset* para definir un subconjunto.

2.7.1.9 Mosaicos

El estudio del área puede cubrir varios archivos de imágenes; en este caso, es necesario combinar las imágenes para crear un archivo más grande; elaborando de este modo Mosaicos.

2.7.1.10 Clasificación Multiespectral ⁽²²⁾

La clasificación multiespectral es el proceso de ordenar los píxeles en un número finito de clases individuales o categorías de datos, basados en sus niveles

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

digitales, para así crear archivos temáticos. Esto se realiza usando el reconocimiento de patrones espectrales para identificar grupos de píxeles que representan la característica de escena, si un píxel satisface cierto conjunto de criterios, el píxel es asignado a la clase que corresponde a ese criterio. Este proceso se conoce también con segmentación de la imagen.

Dependiendo del tipo de información que se requiera de los datos originales, las clases pueden asociarse con elementos conocidos del terreno o pueden simplemente representar áreas que se ven diferentes en el computador.

2.7.1.11 Edición de datos *Raster*⁽²²⁾

ERDAS Imagine provee herramientas para editar los niveles digitales de los datos *raster* temáticos y continuos. Ellas constituyen un mecanismo para corregir los niveles digitales erróneos, ruidos, picos y huecos en la imagen. Las funciones de edición *raster* pueden aplicarse a la imagen completa o a un área de interés (*AOI*) seleccionada.

Con la edición de datos *raster*, los niveles digitales de una capa temática pueden ser grabados de acuerdo la clase. La recodificación es una función que reasigna niveles digitales a una región o a una clase entera de píxeles.

Importación significa que los datos son convertidos del formato original a otro formato (por ejemplo: *Img*, *TIFF*, o *Grid Stack*), el cual puede ser leído directamente por el *ERDAS Imagine*.

La función *Import* convierte los datos *raster* al formato de archivo de *ERDAS Imagine* (*.img*) o a otros formatos que puede escribir directamente *ERDAS Imagine*.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.7.1.12 Colores ⁽²²⁾

La percepción humana del color proviene de las cantidades relativas de luz roja, verde y azul que son medidas por los conos (sensores) del ojo. La luz verde, roja y azul se reúnen para producir una gran variedad de colores, por lo tanto son colores aditivos primarios.

Al combinarse dichos colores, pueden producirse un número casi infinito de tonalidades. En un despliegue, diferentes colores (combinaciones de rojo, verde y azul) le permiten percibir cambios a través de una imagen.

2.7.1.13 Cañones de color ⁽²²⁾

En un despliegue, los haces de electrones de los cañones de color caen sobre fosforo rojo, verde y azul; los cuales aparecen como pequeños puntos coloreados. El ojo humano integra estos puntos y percibe las combinaciones de rojo, verde y azul. Cada pixel está representado por el mismo número de fosforo rojo, verde y azul.

2.7.1.14 Despliegue de capas *Raster* ⁽²²⁾

Los archivos de imagen (.img) son archivos *raster* en el formato de *ERDAS Imagine*. Existen dos tipos de capas *raster*: temáticas y continuas.

a. Despliegue de capas *Raster Continúas* ⁽²²⁾

Un archivo de imagen (.img) puede tener varias capas continuas; por lo tanto, cada pixel puede tener múltiples niveles digitales. Cuando se despliega un archivo de imagen con capas *raster* continuas, es posible asignar cuales capas (bandas) serán desplegadas con cada uno de los tres cañones de color. Los niveles digitales en cada capa son la entrada para la asignación de cada cañón de color. Las asignaciones de

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

color más útiles son aquellas que permiten en la imagen desplegada una fácil interpretación; por ejemplo: una imagen en color natural tiene aproximadamente los mismos colores que apreciaría en la escena el ojo humano; en cambio, una imagen en color –infrarrojo muestra la escena como aparecería en una película color infrarrojo.

Las asignaciones de las bandas son expresadas comúnmente en el orden R, G, B (siglas de rojo, verde y azul en ingles). Por ejemplo: la asignación 4,2,1 significa que la banda 4 esta asignada al rojo, la 2 al verde y la 1 al azul. Algunas asignaciones de bandas a los cañones de color (Faust, 1989) son:

- **Lansat TM- color natural 3,2,1:** Este es color natural porque la banda 3 es roja y es asignada al cañón rojo, la banda 2 es verde y es asignada al cañón verde, así como también, la banda 1 es azul y es asignada al cañón azul.
- **Lansat TM- color infrarrojo 4,3,2:** Esta es infrarroja debido a que la banda 4 es infrarroja.

b. Despliegue de capas Raster Temáticas ⁽²²⁾

Generalmente una capa *Raster* temática contiene pixeles que han sido clasificados o asignados a distintas categorías. Cada nivel digital es un valor de clase, que es simplemente un número para cada categoría en particular. Una capa *Raster* temática se guarda en un archivo imagen (.img). Solo un nivel digital (el valor de la clase) es almacenado para cada pixel. Puesto a que estos valores de clase no necesariamente están relacionados, las gradaciones posibles en el modo de color verdadero usualmente no son útiles en pseudo color. El sistema de clases da a la capa temática una visión discreta, en la que cada clase tiene su color.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Cuando es desplegada una capa *Raster* temática, *ERDAS Imagine* crea automáticamente una tabla de color; en la cual, se guardan los valores de los brillos rojo, verde y azul para cada clase.

2.7.1.15 Uso de visor (*Viewer*)⁽²²⁾

El visor de *ERDAS Imagine* es una ventana para desplegar capas *Raster*, vector y de anotación. Se pueden abrir tantas ventanas Visor como soporte el manejador de ventanas. Entre más visores se encuentren abiertos, mas memoria *RAM* se necesitara.

No solamente hace visibles imágenes digitales rápidamente, sino que también puede ser usado como una herramienta para el procesamiento de imágenes y el modelamiento en *SIG*.

2.7.1.16 Enlace de visores⁽²²⁾

Es apropiado enlazar visores cuando los dos cubren la misma área geográfica (al menos parcialmente) y están referenciados a las mismas unidades de mapa. Cuando se alzan dos visores ocurre:

- El mismo punto geográfico es desplegado en los centros de ambos visores o una caja muestra donde una vista ajusta dentro de otra.
- Moverse a través de un visor afecta al otro.
- Se puede manejar el factor de zoom de un visor desde otro.
- Cualquier consulta con el cursor en un visor aparece en el otro.
- El auto-zoom está disponible, si los visores tiene el mismo factor de zoom y un tamaño de ventana muy cercano.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Esto es útil para desplegar una vista grande de una escena en un visor y aproximarse a un área en particular en el otro visor. Cuando dos visores están enlazados, se abre una caja en la ventana para mostrar donde está la vista más cercana.

2.7.2 Procesamiento de imágenes en el *Software ERDAS Imagine* ⁽²²⁾

2.7.2.1 Proceso de clasificación ⁽²²⁾

2.7.2.1.1 Reconocimiento de patrones ⁽²²⁾

Es la ciencia, y arte de encontrar patrones significativos en los datos que puedan extraerse a través de la clasificación. Mediante mejoramientos espaciales y espectrales de las imágenes, se puede realizar reconocimiento visual de patrones; el cerebro humano clasifica automáticamente ciertas texturas y colores en categorías.

En un sistema computacional, el reconocimiento de patrones espectrales puede ser más científico. Se derivan estadísticas de las características espectrales de todos los píxeles en una imagen. Luego, los píxeles se ordenan basados en criterios matemáticos. Los criterios de clasificación son divididos en dos partes: entrenamiento y clasificación.

2.7.2.1.1 Clasificación No Supervisada ⁽²²⁾

Permite especificar algunos parámetros que el computador usa para revelar patrones estadísticos que son inherentes a los datos. Estos patrones no necesariamente corresponden a las características directamente significativas de a escena, como áreas contiguas y fácilmente reconocidas de un determinado tipo de suelo o uso de la tierra; ellos simplemente son píxeles acumulados con características espectrales similares. En algunos casos, puede ser más importante identificar grupos de píxeles con

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

características espectrales similares que ordenar los píxeles dentro de categorías reconocibles.

La clasificación no supervisada depende de los datos en si mismos para la definición de las clases. Este método se utiliza normalmente cuando no se conocen muy bien los datos antes de la clasificación. Es entonces, (después de la clasificación) que se debe de agregar el significado a las clases resultantes (Jensen 1996). La clasificación no supervisada solo es útil si las clases pueden interpretarse apropiadamente.

2.7.2.1.1 Clasificación Supervisada ⁽²²⁾

La clasificación supervisada es controlada por el usuario; en este proceso, se selecciona píxeles que representan patrones o rasgos de la cobertura terrestre que el reconoce, o que él puede identificar con ayuda de otras fuentes, como fotografías aéreas, datos de terreno o mapas. Antes de la clasificación se requiere conocer los datos y las clases deseadas.

Mediante la identificación de patrones, se puede entrenar el sistema computacional para identificar píxeles con características similares. Si la clasificación es exacta, las clases resultantes representan las categorías de datos que se identificaron originalmente.

La clasificación supervisada también incluye el uso de un conjunto de clases generadas por una clasificación no supervisada; empleando una combinación de clasificación supervisada y no supervisada pueden obtenerse resultados óptimos; sobre todo en conjuntos de datos (múltiples escenas de *Landsat*). Por ejemplo, la clasificación no supervisada puede ser útil para generar un conjunto básico de clases y luego usar la clasificación supervisada para definir más las clases.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.7.2 Análisis del terreno ⁽²²⁾

El análisis del terreno involucra el procesamiento y la simulación gráfica de los datos de elevación. Los datos del terreno son usados a menudo como un componente de modelamiento o clasificación. Las imágenes de pendiente y aspecto son usualmente un factor importante para evaluar la aptitud de un sitio para un uso propuesto. Los datos del terreno también pueden ser usados para la clasificación vegetal de especies que son dependientes del terreno. Se tiene que los datos topográficos incluyen:

- Imágenes de pendiente: Ilustran cambios en elevación sobre la distancia.
- Imágenes de aspecto: Ilustran la dirección predominante que la pendiente enfrenta en cada pixel.
- Imágenes sombreadas del relieve: Ilustran variaciones en el terreno mediante la diferenciación de las áreas que estarían iluminadas o ensombrecidas por una fuente de luz que simula el sol.

Las imágenes de relieve sombreado se generan a partir de una superficie de elevación, sola o en una combinación con un archivo de imagen desplegada sobre el terreno. Cabe destacar, que el programa del relieve identifica las áreas sombreadas, es decir, aquellas que no reciben la luz solar directamente. El programa no calcula la sombra que es proyectada por objetos topográficos en la superficie adyacente.

2.8 SOFTWARE ARCGIS**2.8.1 Fundamentos del ArcGis** ⁽³⁶⁾

Sus fundamentos se basan en digitalizar, manipular capas de información, geoprocésamiento con funcionalidad limitada y creación de geodatabases personales de limitada funcionalidad.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Los *layers* o capas de información es una referencia a un archivo físico existente en algún lugar dentro de la base de datos SIG o archivo separado. Sirve para guardar maneras de mostrar la información mediante esquemas de colores o símbolos.

2.8.2 Extensión en *ArcGis* ⁽³⁶⁾

Una extensión de *ArcGis* es una herramienta que se puede cargar cuando se necesite una funcionalidad adicional. *ArcGis* posee varias extensiones entre las que se destacan las extensiones opcionales que proporcionan un análisis más avanzado y otras capacidades funcionales.

2.8.3 Módulo de Análisis Espacial de *ArcView* ⁽⁶²⁾

Provee funciones basadas en *raster* que incluyen cuencas, contornos, análisis de distancia y superposiciones (*overlays*) de capas de información. Permite el modelado *raster* y vectorial integrado. Este modulo permite la generación de curvas de nivel a partir de modelos de elevación del terreno (*DEM*).

La extensión de análisis espacial del *ArcGis* proporciona una amplia gama de características espaciales de gran alcance para el modelamiento y el análisis. Entre algunas de las funciones tenemos:

- Crea, mapea y analiza pixeles basado en datos de tipo *raster*
- Realiza un análisis integrado de *raster* / vector
- Algebra de mapas
- Consulta información a través de capas de datos múltiples
- Integra completamente datos *raster* con fuentes de datos tradicionales del tipo vector.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2.8.4 Modelo de Datos ⁽⁶²⁾

Un modelo de datos de objetos permite la creación de bases de datos orientadas a la información geográfica (Geodatabase). Una base de datos de este tipo permite combinar las propiedades de los objetos con su “comportamiento”. Estas bases de datos inteligentes otorgan la habilidad de añadir definiciones y comportamiento a objetos, proporcionando todas las herramientas necesarias para crear y trabajar con datos geográficos.

El modelo de geodatabase define un modelo genérico para información geográfica; este modelo genérico puede ser usado para definir y trabajar con una amplia variedad de usuarios o modelos para aplicaciones específicas. Definiendo e implementando diferentes comportamientos sobre un modelo geográfico genérico, se proporciona una plataforma para la definición de diferentes modelos de datos de usuario.

2.8.5 Modelo de Datos Geográficos ⁽⁶²⁾

Un dato geográfico posee tres componentes fundamentales que describen espacialmente cualquier entidad. Estas son por un lado la ubicación geométrica específica que este posee en algún sistema de referencia determinado, las características de la entidad y las relaciones espaciales que posee con su entorno.

ArcGis tiene un modelo de datos geográficos de muy alto nivel para representar información espacial tales como *features* (vectores), *raster* y otros tipos de datos.

ArcGis es capaz de soportar una implementación del modelo de datos, tanto para los sistemas de archivos como para los manejadores de bases de datos. Los modelos basados en archivos incluyen un conjunto de datos SIG tales como

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

coberturas, *shapefiles*, *grids*, imágenes y redes de triángulos irregulares (*TIN*). El modelo de bases geográficas o geodatos administra los mismos tipos de información geográfica.

2.9 Interfaz gráfica de ArcMap ⁽³⁶⁾

- *Title bar*: Muestra el nombre del archivo compuesto de mapas y capas de información.
- *Toolbars*: Son móviles y pegadizos.
- *Table of contents*: Provee la lista de las capas de información incluidas, además de sus respectivas leyendas. Es movable y pegadiza.
- *Display area*: Área donde se despliegan los mapas.
- *Status bar*: Muestra coordenadas, descripciones de botones y elementos del menú.
- *Data view*: Sub interfaz para mostrar, hacer cambios, introducir datos, hacer búsquedas geográficas o en las tablas de atributos.
- *Layout view*: Sub interfaz para producir mapas y graficas.
- *Layers*: Capas de información geográfica (representación grafica de los datos).
- *Data Frames*: Organiza los *layers*
- *Table of contents*: Puede tener más de un *data frame* con múltiples *layers*.

El menú *Layer Properties* tiene las siguientes funciones:

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- *Source*: Define la referencia física del archivo.
- *General*: Define como se muestra el mapa mediante escalas.
- *Selection*: Cambia la forma de mostrar los datos seleccionados.
- *Symbology*: Escoge los símbolos para representar datos; así como también escoge cuales son los campos o atributos asociados al archivo que se desee abrir; muestra un campo en particular, cambia el modo de visualizar los datos en cada campo numérico.
- *Labels*: Define como mostrar los labels o etiquetas.
- *Definition query*: Selecciona cuales datos se desea visualizar.
- *Joins & Relates*: Define como y cuales tablas o datos de referencia se puede relacionar un *layer* en particular.

2.10 Simbología: Formato y/o resumen de información tabular ⁽⁶²⁾

Arcmap provee múltiples opciones para la representación y/o resumen de la información contenida en los mapas. Entre las opciones se encuentran:

- *Single Feature*: Despliegue para todos los elementos.
- *Categories*: Cambia el formato de colores para distinguir elementos en la tabla de atributos.
- *Quantities*: Se relaciona directamente con la representación y/o resumen de datos tipo numérico. Tiene varias opciones:

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- *Graduated colors*: Diferentes colores y tonalidades según los valores numéricos. Usado normalmente para valores normalizados, porcentajes, etc.
 - *Graduated symbols*: Se utiliza para representar valores numéricos de cantidad tales como población, etc.
 - *Proportional symbols*: A diferencia del anterior, esta opción asigna un tamaño de símbolo proporcional al valor real de cada elemento.
- *Charts*: Muy útil para ahorrar espacio y hojas de mapas adicionales cuando se necesita representar diferentes variables que se intentan relacionar entre ellas.
- *Multiple attributes*: Al igual que la opción *Charts* este también se utiliza para mostrar diferentes atributos en un mismo mapa.

Como se mencionó anteriormente, *Arcmap* tiene la función de añadir *labels* (etiquetas) a los elementos geográficos. Provee la funcionalidad de para etiquetar desde la tabla de atributos, o manualmente. Además, se puede cambiar características tales como tamaño, mayúsculas, color, etc. También puede mostrar mayor o menor información gráfica según la escala o nivel de acercamiento al objeto o área a ser vista (*Scale dependent display*). Mientras más pequeña sea la escala, menor información se presentará.

2.11 Layer Files ⁽⁶²⁾

Las definiciones de simbología se guardan dentro del archivo *mxd* o *map document*. Son útiles para guardar y re-usar símbolos definidos, compartir definiciones de simbología, copiar elementos seleccionados en otro archivo y exportar a otros formatos (*shape*, *geodatabase feature class*). Otros tipos de *layers* son los temporeros, los cuales residen en la memoria y desaparecen cuando finaliza la sesión y son utilizados también para la ejecución de modelos de análisis geográfico (*model builder*).

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

CAPÍTULO III

GEOLOGÍA REGIONAL

Por la diversidad de eventos y de ciclos tectono-estratigráficos ocurridos a lo largo de la historia geológica de Venezuela, los distintos autores han propuesto dividir el territorio venezolano en dos regiones bien diferenciadas, la cuenca occidental y la cuenca oriental, basándose en su historia tectonoestratigráfica.

3.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Para Zambrano *et al.* (1970), la región occidental de Venezuela se divide en cuatro grandes unidades estructurales, entre las que se encuentra La Sierra de Perijá, zona donde se ubica el área de estudio de este trabajo especial de grado y la cual está situada en el extremo más occidental del país formando parte de la Cuenca Occidental de Venezuela. La Sierra de Perijá se encuentra estructuralmente levantada entre la Cuenca del Lago de Maracaibo y los valles de los ríos Cesar y Ranchería (ambos en Colombia), representando en el lado venezolano la continuación de la faja de plegamientos de la Cordillera Oriental de Colombia, aunque con una variación en la alineación principal de la estructura.

Miller (1960), basándose en un estudio fotointerpretativo postula que las estructuras compresivas (fallas y pliegues) tienen un rumbo promedio de N35°E, siendo estas dominadas por los fuertes alineamientos formados por la falla de Perijá y El Tigre. Así mismo, propone tres sistemas de directrices estructurales:

- ❖ longitudinal (rumbo aproximado de N35°E);
- ❖ transversal (rumbo aproximado N50°E);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

❖ meridional,

de las cuales, la más notoria es la longitudinal, que entre sus estructuras más complejas cuenta con dos (2) levantamientos mayores, formados uno por el Arco de la Serranía de Valledupar y la Sierra Septentrional, y el otro por el Arco de la Sierra Meridional, el Anticlinal Río Negro y la Alineación El Totumo.

Para Bowen (1971), la Sierra de Perijá posee un estilo estructural más sencillo que su vecino los Andes de Mérida, sobre todo en lo que se refiere a la parte central de la misma.

Posteriormente Maze (1984^a) propone a la Sierra de Perijá como un terreno alóctono que llegó al sitio donde se encuentra durante el Jurásico, en medio de un marco tectónico que se caracterizó por la subducción de la Placa del Pacífico al Oeste de la Placa Sudamericana; la formación de un “rifting” asociado con la apertura del Caribe; y el desplazamiento transcurrente. Este autor, basándose en estudios paleomagnéticos, sugiere que tanto la Sierra de Perijá como los Andes de Mérida no pueden interpretarse bajo un modelo tectónico de extensión simple como lo proponen otros autores.

Testamark *et al.* (1994), en base a estudios de líneas sísmicas, propone que las fallas inversas de orientación NE, presentes en el área, fueron reactivadas por fallas normales de edad Jurásico-Cretácico, además plantearon la existencia de una importante zona triangular, coincidiendo con Audemart (1991), quien para el Neogeno sugiere la formación de importantes zonas triangulares consecuencia del desarrollo de estructuras de retrocorrimiento o backthrust dentro de la Sierra de Perijá.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

3.1.1. Inventario de Estructuras de mayor importancia dentro de la Sierra de Perijá

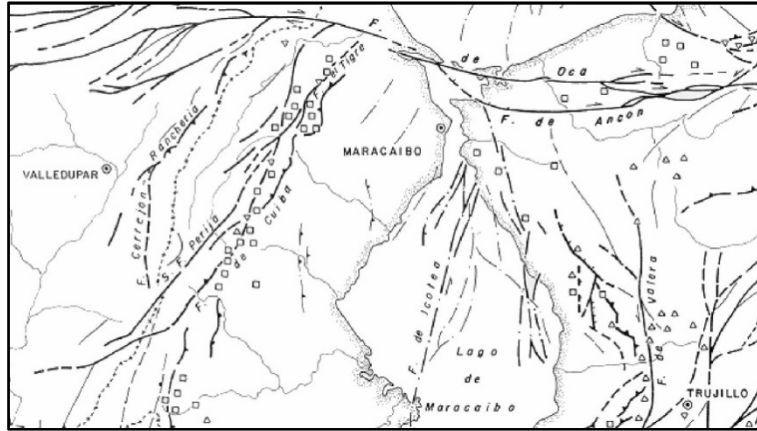


FIGURA N° 3. 1. Principales estructuras en la zona noroccidental de Venezuela. (Tomado de www.pdv.com)

A continuación se presenta una breve reseña de las estructuras más importantes y resaltantes que se encuentran dentro de la Sierra de Perijá.

3.1.1.1. Fallas

Miller (1960), explica que además del esquema longitudinal que presentan las estructuras dentro de la Sierra de Perijá, existen varios rumbos de fallamientos y perturbaciones locales de cierta relevancia, en donde destacan aquellas fallas de rumbo Sur que se ramifican de fallas longitudinales en la sección Norte de la Sierra y se extienden hasta la Cuenca de Maracaibo. Relacionada con la directriz de la Alineación de Arena Blanca se encuentra un sistema de fallas transversales que cruza a través de la parte meridional y Surcentral de la Sierra. A su vez, el sistema transversal de la Falla de Oca, cuya dirección es Este-Oeste, limita el extremo Norte de la Sierra.

Entre las estructuras que forman parte del sistema longitudinal se encuentran las Fallas El Tigre, Cuiba y Perijá.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

a. *Falla Perijá*

Miller (1960) plantea que en el extremo Nororiental de la Sierra, un conjunto de desplazamientos ramificados y paralelos componen la llamada falla o desgarradura de Perijá, cuya línea principal es una traza persistente y recta, que se encuentra acompañada de otras trazas casi paralelas entre si y que tienden a ramificarse, desaparecer y volver a unirse a la traza principal. La directriz de la Falla de Perijá es indicada por el drenaje, mientras que su movimiento transcurrente es inferido por el posicionado de rocas antiguas. El sistema de Falla Perijá marca una fosa sinclinal y depresión estructural la cual divide la Sierra.

b. *Alineamiento de las Fallas Cuiba-Socuy*

Miller (1960) identifica del lado Oriental de la Sierra el alineamiento de la Falla de Cuiba y la Falla Socuy, lo que define la línea de levantamiento que divide la Sierra de Perijá y la Cuenca de Maracaibo.

El mismo autor, al referirse a la Falla de Cuiba, explica que entra diagonalmente en la Sierra y esta consiste del desplazamiento de rocas Cretácicas y Paleocenas, mientras que de la Falla de Socuy sugiere un menor desplazamiento e incompetencia de las rocas, lo que la hace confusa y discontinua en algunas secciones.

c. *Alineamiento de las Fallas Arena Blanca- Ariguasa*

Miller (1960), explica que las Fallas Ariguasa y Falla Arena Blanca, penetran de manera alineada a la Sierra, constituyendo un desplazamiento transversal que se inicia en el extremo Sur de la Falla de Cuiba y se prolonga hasta el Valle del Cesar.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

d. Fallamiento de Macoa y de la zona del Totumo

Según Miller (1960), un grupo de fallas que principalmente son inversas se encuentran buzando hacia el Este y se ramifican hacia el Sur a partir de los desplazamientos del Tigre y Cuiba, formando un papel importante en el levantamiento frontal de la Sierra. Entre los desplazamientos presentes, Miller (*op. cit*) incluye a Cogollo, La Luna, La Gé, El Totumo y El Palmar.

e. Falla el Tigre

Rod (1956), identifica este desplazamiento como una falla rectilínea de gran ángulo (N35°E) del lado Noroccidental del arqueamiento El Totumo-Inciarte y en el limbo Suroriental del Sinclinal de Manuelote, la cual se encuentra alineada con la Falla Perijá, relacionándose las dos con una posible ruptura de gran profundidad. Rod (1956) junto con Alberding (1957), proponen un movimiento transcurrente lateral izquierdo, que en la actualidad no queda claramente evidenciado, encontrándose alineado paralelamente y de manera perpendicular a los esfuerzos compresivos del Terciario Superior.

f. Falla de Oca

Rod (1956) y Alberding (1957), se refieren a la Falla de Oca como un movimiento lateral derecho que en el Río Limón se desvía hacia el Sureste, motivado al colapso estructural a lo largo del río Limón.

3.1.1.2. Pliegues

Miller (1960), al referirse a los pliegues presentes en el área septentrional de la Sierra de Perijá, explica que estos se ajustan a la fibra longitudinal de la Sierra. Desde el extremo septentrional de la Serranía de Valledupar los ejes de los pliegues

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

se inclinan hacia el Norte y presentan una pendiente hacia el Este, en lo que es el limbo oriental de la Serranía.

El mismo autor sugiere que en la extremidad meridional de la Serranía de Valledupar, existe un descenso de los ejes hacia la tierra alta de Maraca.

La parte meridional de la Sierra se encuentra separada de la estribación de Animito por un sinclinal enrumbado al Norte.

Al Oeste de la Sierra existen dos anticlinales conocidos como Becerril y Verdesia, los cuales descienden gradualmente hacia el Suroeste.

En el estudio realizado en la región de Machiques-Río Negro, Padilla y Ortiz (1973), reconocen dos períodos de plegamientos:

- ❖ *Mesozoico Inferior*: caracterizado por pliegues inarmónicos, cuyos ejes se orientan con dirección aproximada Este-Oeste.
- ❖ *Oligoceno-Pleistoceno*: caracterizado por la presencia de pliegues armónicos anchos de tipo paralelo que forman sinclinales y anticlinales; además de pliegues inarmónicos anchos que se encuentran asociados a fallas regionales. Estos dos tipos de pliegues tienen sus ejes orientados en dirección Nor-Noreste.

a. Anticlinal de Río Negro.

Presente a lo largo del lado Oriental de la falla de Perijá, los limbos de esta estructura se encuentran delineados por filas confinantes casi continuas de las areniscas de Río Negro.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Hacia el núcleo del anticlinal, el eje se inclina al Norte hasta el Río Negro, donde se observa una pronunciada ensilladura.

Esta estructura se relaciona en su extremidad Norte con el Arco del Totumo-Inciarte, mientras que hacia el Sur probablemente se relaciona con el plegamiento generado durante el levantamiento más complejo de la parte meridional de la Sierra, donde la mayoría de los ejes del plegamiento son probablemente longitudinales.

3.2. ESTRATIGRAFÍA

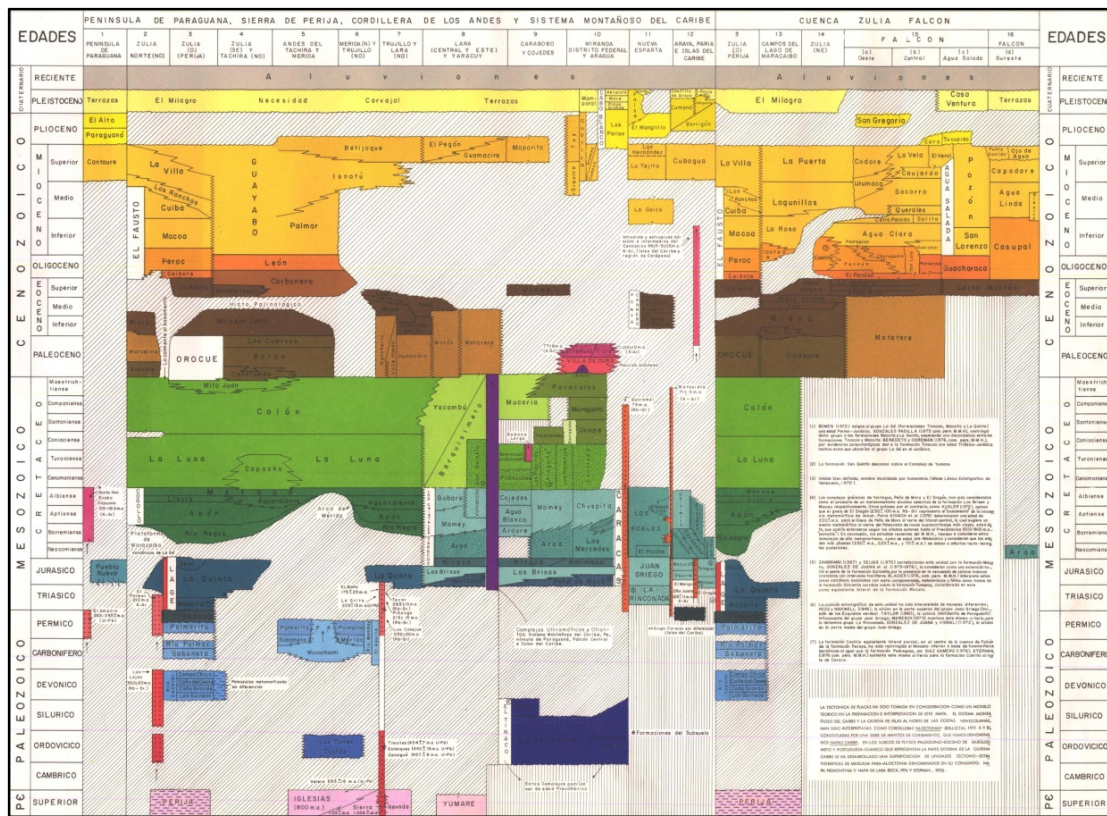


TABLA N° 1. Tabla de correlación de formaciones del occidente de Venezuela.

Graf (1971), afirma que “el tectónismo activo a lo largo de accidentes estructurales influye y localmente controla la acción de los procesos sedimentarios”, donde los elementos positivos, entre los que se encuentra la Sierra de Perijá, no solo

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

controlan la extensión geográfica que pueden tener los diferentes ambientes sedimentarios, sino que además serán determinantes en el tipo de sedimento que se deposita.

Parnaud *et al.* (1995) proponen dividir la historia estratigráfica del occidente venezolano en dos grandes sucesiones, la Paleozoica y la Mesozoica-Cenozoica, esta última caracterizada por la diversidad de eventos tectónicos, marcados por inconformidades, que llevaron a este autor a dividirla en seis (6) grandes supersecuencias que más adelante se explicaran y que internamente están conformadas por secuencias menores dominadas por variaciones tectono-estructurales.

3.2.1. Sucesión Paleozoica

Para Parnaud *et al.* (1995), el Paleozoico en la Sierra de Perijá se empieza a evidenciar a partir del Paleozoico Medio con la aparición del Grupo Cachirí, el cual está representado por rocas sedimentarias de ambiente plataformar marino. Estos autores proponen dos series para el periodo comprendido en el Paleozoico Tardío, la primera constituida por las formaciones Caño del Noroeste, Caño Indio y Río Palmar, y una serie más joven conformada por la Formación Palmarito, cuyo origen se interpreto como de ambiente de plataforma interior.

3.2.2. Sucesión Mesozoica-Cenozoica

Para Parnaud *et al.* (1995), la sucesión Mesozoica-Cenozoica en Venezuela es el producto de dos grandes eventos tectónicos que ocurrieron a partir del Jurásico. El primero es una fase de *rift* Jurásico consecuencia del proceso de fragmentación del supercontinente conocido como Pangea; el segundo, es una fase Cretácica-Terciaria producto de la colisión de la Placa Sudamericana y la del Pacífico.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Mendoza (2005) propone que el periodo comprendido por esta sucesión se inicia de igual manera con la ruptura de Pangea, en donde la aparición de vulcanismo en el área de Perijá explica la existencia de rocas volcánicas en la región a principios del Mesozoico. Posteriormente y a medida que sigue avanzando el proceso de separación de Pangea se fueron generando nuevos mares y surge el Proto-Caribe, depositándose sedimentos propios de ambientes deltaicos a marinos poco profundos con algo de influencia terrígena y volcánica, los cuales se evidencian en las formaciones Tinacoa y Macoíta. Simultáneamente se formaron semigrabens, que poco a poco se fueron rellenando. Con el transcurso del tiempo el Proto-Caribe se fue profundizando para dar inicio al gran evento transgresivo del Cretácico Inferior, en el que se empiezan a depositar sedimentos de ambientes fluvio-deltaicos a marinos muy someros evidenciados en la Formación Río Negro, la cual se depositó sobre las capas rojas de la formación La Quinta. A medida que avanzo el Cretácico la transgresión tomo más fuerza, lo que generó un cambio en las facies que se depositaron, pasándose a calizas y lutitas. Posteriormente, se paso a condiciones de ambiente marino más profundo lo que trajo consigo un aumento en la cantidad de material carbonoso y prácticamente llevaron a la desaparición del aporte de clásticos. Esta condición se mantiene hasta finales del Cretácico cuando el régimen transgresivo finaliza y se da inicio a un evento regresivo que se encuentra con una cuenca más profunda e inclinada hacia el Norte y hacia el Este, por lo que este régimen afecta con mayor incidencia a la cuenca occidental.

Para esta sucesión Parnaud *et al.* (1995) establece seis (6) supersecuencias, cada una caracterizada por su evolución tectónica. Esas seis supersecuencias se explican a continuación:

3.2.2.1. Supersecuencia A (JURÁSICO): Extensión

La depositación de la supersecuencia A es resultado del episodio de *rifting* ocurrido durante el Jurásico como consecuencia del proceso de ruptura del

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

supercontinente Pangea, el cual, estuvo impulsado por esfuerzos divergentes orientados en sentido noreste y auroeste. Yoris, Ostos y Zamora (1997), explican que este proceso extensivo trajo consigo la apertura del Proto-Caribe, lo que género dentro de la Venezuela continental una serie de estructuras que posteriormente serian determinantes en la formación de las cuencas sedimentarias de Venezuela. Entre esas estructuras se encuentran los valles de extensión o grabens, que como se observa en la FIGURA 3.2 están orientadas de manera preferencial con sentido Noreste, tal es el caso del graben de Perijá. Todas esas estructuras extensivas tienen en común que se rellenaron durante el Jurásico con sedimentos continentales de coloración rojiza, sedimentos volcánicos y ocasionalmente clásticos y calizas consecuencia de invasiones marinas al continente.

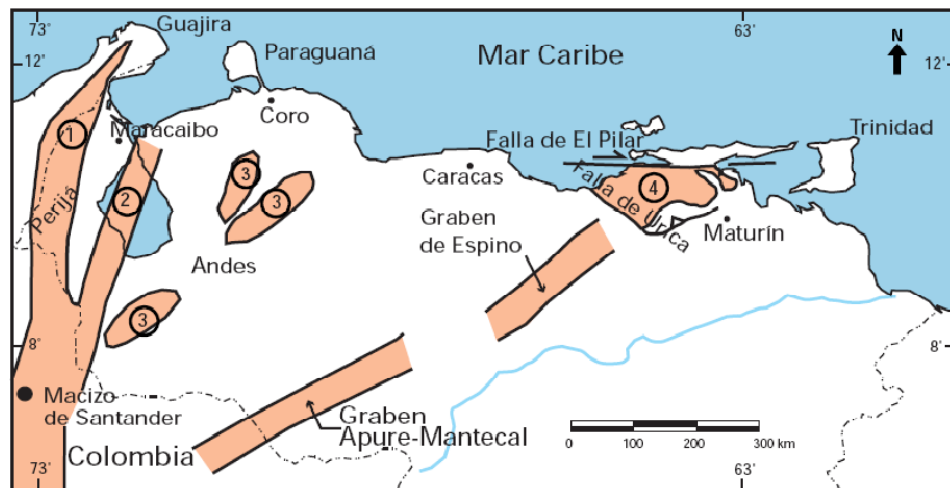


FIGURA N° 3. 2. Distribución de las rocas jurásicas en Venezuela, mostrando que las mismas se encuentran aflorando en la Sierra de Perijá (1), como parte del basamento en el subsuelo de la Cuenca de Maracaibo (2), en los Andes (3), en el subsuelo de las cuencas de Barinas-Apure y Oriental y en la Serranía del Interior (4). Tomado de Bartok (1993), Passalacqua et. al. (1995) y Lugo y Mann (1995).

Otros autores, tales como Pindell & Erikson (1994), proponen que para el Triásico-Jurásico, en la parte noreste de Sudamérica se generó una cuenca retroarco que permitió la generación de los grabens de Machiques(Venezuela) y de Bogotá (Colombia), todo esto como consecuencia de la subducción existente al este y por debajo de la Cordillera Central. Consecuencia de la formación de esos grabens fue que el mar tuvo acceso a territorio colombiano.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

➤ *Grupo La Gé*

Hea y Whitman (1960) proponen el nombre de Grupo La Gé para agrupar el conjunto de sedimentos continentales contenidos dentro de las formaciones Tinacoa, Macoíta y La Quinta. Estas formaciones representan una asociación litológica de carácter provincial con presencia de productos volcánicos y presentan como característica resaltante el hecho que los contactos entre ellas son transicionales. Por lo general se le asigna una edad que va desde el Carbonífero (Pennsilvaniense) hasta el Jurásico.

○ *Formación La Quinta*

Kiinding (1938-a, b) divide la Formación La Quinta en tres partes sin definirlos nunca como miembros. La parte inferior se encuentra formada por conglomerados rojos oscuros que eventualmente presenta material tobaceo y mucha biotita, que además se interestratifican con capas espesas de areniscas arcillosas; la parte media esta constituida por lutitas de color rojo oscuro y verdoso que se encuentran interestratificadas con areniscas conglomeráticas blancas que desaparecen hacia el tope; la parte superior se presenta con una estratificación cruzada de areniscas rojas blandas que hacia el tope se interestratifican con areniscas cuarzosas de grano grueso.

Según Miller (1960), la sección de la Formación La Quinta que se encuentra en la Sierra de Perijá está caracterizada por la presencia de areniscas y lutitas rojas, conglomerados, duras areniscas grises, todo esto acompañado de basalto y de lutita cuarcífera y aglomerados.

Mendoza (2005) propone que las capas rojas de la formación La Quinta representan facies de conos piemontinos y de sedimentos aluviales, y que su contacto superior es ocasionalmente concordante y en otros casos discordante.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Esta formación se presenta angularmente discordante en la base, mientras que en el tope se ha reconocido cierta discordancia que en ciertas zonas no se presenta.

La Formación La Quinta es de edad Triásico Superior a Jurásico Inferior (ver FIGURA N° 4.1).

3.2.2.2. Supersecuencia B (CRETÁCICO): Margen Pasivo

Yoris *et al.* (1997), refiriéndose al Cretácico Temprano en el occidente de Venezuela, propone que la sedimentación durante el inicio de ese período fue controlada por el sistema de fallas asociadas a los grabens del Jurásico, lo cual quedo evidenciado por el dominio de material arenoso que conforma la formación Río Negro. El mismo autor, sugiere que seguidamente se estabilizó la subsidencia y en consecuencia se generó un gran mar epicontinental transgresivo, donde se depositó la formación Cogollo (primordialmente carbónica) que es su principal exponente. Ya para el Cretácico Tardío, Yoris *et al.* (1997), hacen mención al dominio que tuvo el evento transgresivo sobre la sedimentación en toda Venezuela y el resto del mundo, reflejándose en la presencia de calizas, lutitas y ftanitas ricas en materia orgánica.

Para Parnoud *et al.* (1995), existen tres evidencias principales de que la supersecuencia B engloba una fase de margen pasivo que se desarrollo desde el Cretácico Temprano hasta el Cretácico Tardío, la cual estuvo asociada con un proceso de subducción hacia el Oeste con la placa del Pacífico. La fase de margen pasivo concluye con la colisión del arco del Pacífico con la placa Sudamericana y la subsidencia flexural de la cuenca foreland. Dichas evidencias son:

- Aparente reducción de la falla controladora de la subsidencia;
- la total profundización de la transgresión de la cuenca;
- la estratigrafía.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Durante el período de la fase de margen pasivo se depositaron un total de seis secuencias, las cuales se describen a continuación:

➤ **Formación Río Negro**

Padilla y Ortiz (1973) se refieren a la Formación Río Negro como areniscas líticas, representadas por subgrauvacas y protocuarzitas, además de conglomerados y en menor proporción ortocuarzitas, lutitas y tobas, asignándole como edad el Cretácico Inferior.

Miller (1960) refiriéndose a la sección perteneciente a la Sierra de Perijá, la define como areniscas arcósicas que son parcialmente conglomeráticas, potentes areniscas de grano grueso interstratificadas con arenas de grano fino y poca presencia de limolitas y lutitas arenosas. Este autor refiere a la zona potente como la parte central y meridional de la Sierra.

Esta formación en su parte basal se presenta discordante, mientras que en el tope con la Formación Apón pudiese ser concordante y hasta un poco diacrónico.

La edad para esta formación es Cretácico Temprano (FIGURA N° 4.1).

➤ **Grupo Cogollo**

Nombrado originalmente por Garner (1926) como “Caliza de Río Cogollo”, fue descrita por este autor como calizas cristalinas macizas grises que se encuentran por debajo de la Formación La Luna. Posteriormente esta unidad cambia de nombre y eleva su rango a Grupo por iniciativa de Sutton (1946), para mas adelante ser dividida en dos partes, motivado a las diferencias existentes entre los tipos de calizas presentes, siendo las de la base calizas macizas a las que le sigue un intervalo de

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

areniscas y calizas interestratificadas; al tope se trata de una caliza con abundante contenido de grandes ostiones.

En la actualidad esas dos unidades fueron renombradas en tres (3) formaciones (Apón, Lisure y Maraca) (ver FIGURA N° 4.1).

○ ***Formación Apón***

Esta unidad presenta ciertas variaciones locales que son de interés, destacando en la sección perteneciente a la Sierra de Perijá la presencia de calizas y lutitas arenosas hacia la base, lo cual es evidencia de la transición que viene de la Formación Río Negro, que a continuación le sigue un grueso intervalo biostrómicamente de calizas macizas que en algunas locaciones se encuentran dolomitizada.

En su base, Apón se encuentra en contacto transicional y diacrónico con la Formación Río Negro, mientras que en el tope el contacto es transicional con la Formación Lisure.

Kieser (1977) le asigna una edad a esta formación de Aptiense-Albiense (ver FIGURA N° 4.1).

○ ***Formación Lisure***

En el Léxico Estratigráfico Venezolano II (1970) definen esta formación como predominantemente de areniscas glauconíticas y calizas arenosas, intercaladas con arcillas laminares arenosas y algunas capas de caliza conchífera.

Esta unidad cuenta con espesores comprendidos entre los 55m y los 180m, presenta un contacto discordante con la formación infrayacente, mientras que con la Formación suprayacente su contacto es transicional.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Autores como Rod y Maync (1954), reportaron la presencia de foraminíferos y fauna equinoideos.

La edad de la formación está establecida como Albiense Medio a Superior (ver FIGURA N° 4.1).

➤ ***Formación La Luna***

Miller (1960), propone que la formación La Luna se encuentra caracterizada por la presencia de calizas y lutitas pelágicas concrecionarias, prácticamente de color negro, que se encuentran estratificadas y laminadas densamente.

En el Léxico Estratigráfico II (1970), además de las calizas laminares y ftanitas negras propuestas por González de Juana *et al.* (1980), incluye calizas coquinoideas y lutitas calcáreas.

Para Mendoza (2005), la litología de esta formación consiste de calizas negras oscuras y densas, las cuales se encuentran laminadas y poseen un alto contenido de foraminíferos planctónicos, además de ser carbonáceas a bituminosas. Este mismo autor propone que ocasionalmente estas calizas son piriticas, y que adicionalmente hay presencia de arcillas y lutitas de color negro que pueden ser calcáreas o no; en Perijá, este autor reporta esta formación como de color negro y de características euxinica.

Los espesores de esta formación varían hacia el norte y están alrededor del orden los 100m y 300m de profundidad.

Miller (1960), propone una edad Coniaciense-Turonense, mientras que el Léxico Estratigráfico II (1970) y González de Juana *et al.* (1980) ubican la formación en el Cenomaniense-Santonense (ver FIGURA N° 4.1).

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

La formación La Luna se encuentra en contacto concordante tanto con la formación que la infrayace como con la que la suprayace.

3.2.2.3. Supersecuencia C (CRETÁCICO TARDÍO-PALEOCENO TEMPRANO): Margen Transicional de Pasivo a Activo

Para Parnaud *et al.* (1995), la colisión del arco volcánico del Pacífico con la placa Sudamericana dio inicio a la transformación de margen pasivo a margen activo, siendo esto el principal causante de los procesos de sedimentación durante la generación de la Supersecuencia C, la cual estuvo dominada por un evento de tipo regresivo que se inició durante el Cretácico Tardío, y que Mendoza (2005) propone se inició en el Paleoceno.

Pindell & Erickson (1994), explica que a partir del Cretácico Tardío la subducción del arco del Pacífico vuelve a invertirse hacia el Este (luego de haber cambiado su dirección hacia el Oeste durante el Cretácico Medio) empezando la generación de la placa del Caribe con los fragmentos del arco que no llegaron a colisionar con la placa Sudamericana.

Parnaud *et al.* (1995) proponen dividir este periodo en dos (2) secuencias. Dichas secuencias se explican a continuación:

a. Secuencia K6 (Campaniense Superior-Mastrichtiense)

Para Parnaud *et al.* (1995), el proceso de colisión del arco del Pacífico generó en Venezuela occidental una cuenca foreland, que hacia el oeste se encuentra asociada con un foredeep, donde se depositó en el Campaniense Superior la Formación Colón, la cual es la base de la secuencia K6. Esta secuencia se prolonga hasta el Mastrichtiense Tardío, donde el proceso de sedimentación se encuentra controlado por un sistema extensivo, representado por la depositación de la

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Formación Mito Juan. La secuencia K6 se caracteriza por las indeterminadas superficies de inundación y en ella la Formación Colón representa el final del evento transgresivo del Cretácico mientras que la Formación Mito Juan se identifica como un sistema depositacional de alta progradación. Las unidades presentes dentro de la Secuencia K6 son las siguientes:

➤ ***Formación Colón***

Miller (1960), describe la Formación Colón como una unidad primordialmente consistente de lutitas grises que se depositaron dentro de un ambiente marino relativamente profundo y las cuales le asignó una edad de Cenomaniense a Daniense.

En el Léxico Estratigráfico III (2008), adicionalmente la describen como microfósilíferas, macizas, piríticas y hasta micáceas o glauconíticas, además de proponer la presencia ocasional de margas y capaz de caliza.

Con gran presencia de fósiles, esta formación es datada por varios autores dentro del Léxico Estratigráfico III (2008) como de edad Cretácico Tardío, ubicándola específicamente en el Campaniense Tardío-Mastrinchiense Temprano, aunque hay quien la ubican en el Santoniense (ver FIGURA N° 4.1).

La Formación Colón se encuentra en contacto concordante con la Formación La Luna mientras que con la formación Mito Juan el contacto además de ser concordante es también transicional.

➤ ***Formación Mito Juan***

Miller (1960) se refiere a la Formación Mito Juan como una facies algo arenosa que se depositó dentro de un ambiente de aguas poco profundas.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

En el Léxico Estratigráfico III (2008) se describe litológicamente a esta unidad como arcillas grises, que pueden llegar a ser grises verdosas o negras, con contenido local de arenas, y que a medida que se asciende se van haciendo más ricas en material limoso y arenoso, llegándose a encontrar delgadas capas de calizas y areniscas en el tope de la formación.

Esta formación se encuentra en contacto transicional y concordante con la Formación Colón y al igual que está posee contenido fósil, aunque según Hedberg y Sass (1937) con menor presencia de foraminíferos.

Sutton (1946) y Key (1960), coinciden en asignarle una edad de Mastrinchiense Superior a esta formación (ver FIGURA N° 4.1).

b. Secuencia K7 y K8 (Mastrinchiense Superior-Paleoceno Inferior)

Parnaud *et al.* (1995), propone que para finales del Cretácico la cuenca foredeep se termino de rellenar con la depositación de la Formación Mito Juan, al mismo tiempo que se fue erosionando la misma a consecuencia de la somerización del basamento, mientras que desde el Noreste se iniciaba un nuevo evento transgresivo representado por la depositación de una secuencia inferior conocida como K7 (Formación Guasare), cuyas características son de ambiente marino; y una secuencia superior llamada K8 (Grupo Orocue, constituida a su vez por la Formación Barco y la Formación Los Cuervos; y la Formación Marcelina), la cual se deposito en un ambiente deltaico. Las formaciones que comprenden las Secuencias K7 y K8 son las siguientes:

➤ ***Grupo Orocue***

Mendoza (2005) se refiere a este grupo como sedimentos molásicos que pasan de ambiente marino poco profundos (Form. Catatumbo) a deltaico (Form. Barco) a

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

continental (Form. Los Cuervos), básicamente constituido por arcilitas, lutitas y areniscas, intercaladas y alternantes, con presencia ocasional de capas de carbón.

○ *Formación Catatumbo*

En el Léxico Estratigráfico III (2008) describen esta formación como una unidad compuesta principalmente por lutitas y arcilitas gris oscuro, algo carbonaceas, donde las lutitas se intercalan con capas de areniscas y hacia la base definen capas de caliza gris glauconíticas, capas de carbón y glauconita. En su parte inferior esta formación se encuentra en contacto concordante y transicional con el Miembro Río de Oro, lo mismo que en el tope donde el contacto es concordante con la Formación Barco. La Formación se caracteriza por la presencia de fósiles en su base, siendo poco fosilífera en el resto de ella, lo que permitió asignarle una edad de Mastrinchiense Tardío aunque posteriormente Kuyl *et al.* (1955) la ubica dentro de todo el Paleoceno.

○ *Formación Barco*

Según el Léxico Estratigráfico III (2008), la Formación Barco está constituida por una intercalación de areniscas grises de grano muy fino a medio que se caracterizan por poseer estratificación laminada o cruzada, además de la presencia de lutitas y limolitas de colores grises oscuros. Su contacto basal es de tipo concordante en aquellos casos donde se encuentre con la Formación Catatumbo y concordante en su tope con la Formación Los Cuervos. Esta formación es principalmente propia de ambiente deltaico y se caracteriza por el poco contenido de fósiles. Kuyl *et al.* (1955) define esta formación como del Paleoceno.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

○ *Formación Los Cuervos*

Para Notestein *et al.* (1944) esta formación básicamente consiste de arcilitas y lutitas, que en la base presenta carbón y algunas capas de areniscas. El contacto inferior de la Formación Los Cuervos es concordante, mientras que en el tope Notestein *et al.* (*op.cit*) reporta que el contacto es discordante en varias localidades. La diversidad en el contenido fósil presente en esta formación, genera ciertas discrepancias entre los autores al momento de proponer una edad, es así que Monroy y Arnstein (1984) proponen todo el Paleoceno; González Guzmán (1967) propone una edad que comprende desde el Paleoceno Temprano a la parte inferior del Eoceno Temprano; y Terán *et al.* (1986) data la formación desde el Paleoceno hasta el Eoceno Tardío.

**3.2.2.4. Supersecuencia D (PALEOCENO SUPERIOR-EOCENO MEDIO):
Cuencas Colisionales**

Parnaud *et al.* (1995), explican que para finales del Paleoceno, las llamadas napas de Lara, que no son mas que escamas tectónicas producto de la colisión oblicua del arco volcánico de las Antillas Menores con la parte Norte de la Placa Sudamericana, comienzan su emplazamiento al Norte de la Cuenca del Lago de Maracaibo, invadiendo el terreno existente y generando nuevas cuencas foreland, una orientada con dirección N 20° W y otra con dirección E-W. La ocurrencia de este evento según Parnaud *et al.* (1995) queda evidenciado con la identificación de ciclos transgresivos y regresivos.

Yoris *et al.* (1997) proponen al menos tres ambientes sedimentarios en los cuales se depositaron los sedimentos durante el Eoceno, siendo estos de tipo deltáico-estuario, fluvio-costero y marino, los cuales se ubicaron por delante del frente de corrimiento.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Para Duerto (1998), la Sierra de Perijá, posiblemente antes de iniciarse el proceso de deformación estaba conformado por un sistema de fallas normales, que con el primer pulso tectónico, da inicio al primer estado de deformación relacionado al fallamiento de Cerrejón, en el Cerro Pintado (Colombia), al tiempo, que el flanco Oriental de la Sierra de Perijá experimento una inversión tectónica consecuencia del movimiento del corrimiento de los Motilones, a la cual le siguió el fallamiento de Macoa.

Según Parnaud *et al.* (1995) el período comprendido para la Supersecuencia D se caracteriza por subsidencias intermitentes y una posible sobreimpresión eustática representada por tres secuencias depositacionales.

La supersecuencia D se compone de las siguientes formaciones:

➤ **Formación Mirador**

Para González de Juana *et al.* (1980) la Formación Mirador se compone de areniscas claras, lutitas, material carbónaceo y conglomerados, siendo característico las areniscas limpias, claras y macizas formando prominentes escarpes y cascadas.

Para Ramirez y Campos (1972) la Formación Mirador y la Formación Carbonero (suprayacente) se encuentran en contacto concordante mientras que otros autores como Notestein *et al.* (1944), Liddle (1946), Sutton (1946) y Staff of Caribbean Petroleum Co (1998) consideran ambos contactos concordantes o discordantes.

En el Léxico Estratigráfico II (1970) se refieren a foraminíferos arenáceos como los únicos fósiles presentes en la unidad, mientras que González de Juana *et al.* (1980) manifiestan que no se encontraron fósiles marinos, sino solo carbonaceos, restos de plantas y escaso polen.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

La Formación Mirador se depositó en ambientes de tipo fluvial, llanura deltaica y de pantanos salobres.

En cuanto a la edad de la formación existen discrepancias, teniendo que cierto grupo de autores la consideran de edad Eoceno Inferior a Medio, y otros le atribuyen una edad que puede ser Oligoceno a Eoceno Tardío (ver FIGURA N° 4.1).

3.2.2.5. Supersecuencia E (EOCENO TARDÍO-MIOCENO TEMPRANO): Cuencas Colisionales

Para finales del Eoceno la Placa del Caribe continúa avanzando hacia el este con respecto a la Placa Sudamericana generando cuencas antepaís a lo largo del borde Norte de Venezuela, que estuvieron acompañadas de dos hechos particulares, primero, zonas de obducción, donde ocurrieron el emplazamiento de parte de las ofiolitas de la Placa del Caribe sobre la Placa Sudamericana; segundo, el emplazamiento de bloques aloctonos al Norte de Venezuela en zonas de acreción tectónica.

Parnaud *et al.* (1995), establecen que para el Eoceno tardío la parte occidental de Venezuela sufrió modificaciones, donde resalta la separación de los relieves positivos de la cuenca continental del Lago de Maracaibo con respecto a la cuenca marina de Falcón.

Parnaud *et al.* (1995), proponen dos secuencias depositacionales para esta supersecuencia. La inferior es de diferentes dominios y comprende desde el Eoceno Tardío hasta el Oligoceno Temprano, estando representada al oeste por las Formaciones Carbonera y la Sierra (Colombia) de dominio deltaico, mientras que al este se encuentra el Miembro Arauca de la Formación Guafita, la cual es de dominio marino. La secuencia Superior comprende del Oligoceno Superior hasta Mioceno

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Temprano y esta representada al oeste por la Formación León, la cual se depositó durante una inundación marina.

Para Yoris *et al.* (1997), durante el Eoceno en el occidente de Venezuela los sistemas deltaicos-estuarianos, fluvio-costeros y marinos controlan la depositación de sedimentos en la Cuenca de Maracaibo, siendo luego característico para el Oligoceno los clásticos arenosos al Oeste de la cuenca, mientras que al sur y al este se depositan sedimentos finos.

Las formaciones que componen esta supersecuencia son:

➤ ***Formación Carbonera***

González de Juana *et al.* (1980) se refieren a la Formación Carbonera como una unidad principalmente compuesta de arcilitas y lutitas grises, estratificadas irregularmente con areniscas arcillosas, que adicionalmente presenta capas de lignito y calizas.

Para Notestein *et al.* (1944), el contacto entre las Formaciones Carbonera y la Formación Mirador es discordante, mientras que Kuyl *et al.* (1955) propone un posible hiato cronológico, basándose en estudios palionológicos, a la vez que Sutton (1946) y el Staff of Caribbean Petroleum Co no observan las evidencias en que se basan los otros autores para establecer un contacto transicional. El contacto superior de la Formación Carbonera con la Formación León es transicional.

González de Juana *et al.* (1980), ubican esta formación dentro de un ambiente sedimentario de llanura baja de aguas salobres que se van profundizando hacia el tope de la unidad.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Sutton (1946) identifica básicamente moluscos de aguas salobres y de ambiente costero-lagunar, además de la presencia de foraminíferos de aguas salobres a marinas llanas.

La edad para esta formación se ha establecido entre el Eoceno Tardío y el Oligoceno aunque por su contenido paleontológico no es posible discriminar (ver FIGURA N° 4.1).

➤ ***Formación La Sierra***

Hedberg y Sass (1937), se refieren a esta formación como areniscas de color pardo, masivas, presenetas en capas gruesas a medianas, con intercalaciones de lutitas y lutitas arenosas.

Dependiendo de su ubicación el contacto inferior varía entre concordante y discordante.

Con escaso contenido fósil, su edad es asignada al Eoceno superior por correlación con la Formación Carbonera (ver FIGURA N° 4.1).

➤ ***Grupo El Fausto***

Según Hedberg y Sass (1937), el Grupo El Fausto comprende arcillas endurecidas con algunos intervalos de arcilla laminar y areniscas gris verdoso de grano fino.

En el Léxico Estratigráfico III (2008) se refieren al Grupo El Fausto como una unidad conformada principalmente por arcilitas y limolitas de tonalidades apagadas rojo púrpura, gris, verde y marrón, con ciertos intervalos menores de lutitas o arcilitas gris verdoso o gris oscuro y areniscas verdosas de grano fino.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

El contacto inferior es concordante al sur y discordante al Norte con respecto a la Formación La Sierra, mientras que al tope el contacto es transicional con la Formación Los Ranchos.

A manera general este grupo es poco fosilífero y es considerado de edad Oligoceno a Mioceno Tardío.

3.2.2.6. Supersecuencia F (MIOCENO MEDIO-PLEISTOCENO): Cuencas Colisionales

Para el período comprendido para la Supersecuencia F tiene una sucesión de eventos tectónicos, que como explica Yoris *et al.* (1997), son producto de la interacción de la Placa Caribe con la Placa Sudamericana que a partir del Oligoceno e inicios del Mioceno, ocasiono el levantamiento y formación de montañas, además de la formación de cuencas extensionales y de tipo antepaís.

Con la orogénesis del Plioceno se definieron las cuencas petrolíferas de Venezuela y se levanto las montañas de Venezuela. El levantamiento de los Andes de Mérida tuvo su origen durante el proceso de formación del arco de Panamá, ya sea como resultado del cierre de la Placa Caribe en su límite occidental o por el choque continente-continente entre Panamá y Colombia que fue finalmente impulso el levantamiento de los Andes de Mérida con orientación NNO-SSE, lo que implicó la separación de la Cuenca del Lago de Maracaibo de la Cuenca Barinas-Apure, generándose cuencas flexurales en ambos flancos de los recién levantados Andes de Mérida, donde se depositaron sedimentos molasicos que formaron discontinuidades angulares debido a las constantes pulsaciones.

Lugo (1998), explica que el levantamiento de los Andes de Mérida y la Sierra de Perijá es producto de la colisión de los terrenos Baudó y Choco, evento que ocurrió desde el Oligoceno y se extendió hasta el Pleistoceno. Ya para el Mioceno y

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

hasta el Plioceno Duerto (1998) informa de un levantamiento generalizado que deforma Perijá Sur y Central, generando una zona de despegue en la Formación Colón. Este mismo autor propone un desplazamiento del corrimiento de los Motilones para el Pleistoceno, lo que posiblemente estuvo acompañado de la reactivación de corrimientos anteriores que generaron nuevos fallamientos que cortaran a los anteriores.

Parnaud *et al.* (1995) explica que la formación de la Sierra de Perijá y los Andes de Mérida se correlacionan con la formación de dos secuencias depositacionales. Parnaud *et al.* (1995) explica que durante el Mioceno se inicia una fase transgresiva en la Cuenca del Lago de Maracaibo donde se deposita la Formación La Rosa. A esta fase le siguió un evento regresivo donde se depositaron formaciones como Lagunilla, La Puerta, Los Ranchos y Betijoque.

Las unidades que componen esta supersecuencia son las siguientes:

➤ ***Formación La Villa***

Para el Léxico Estratigráfico III (2008), esta formación se encuentra constituida por arcilitas, areniscas de grano fino a medio, mal escogidas, que localmente pueden ser conglomeráticas, además de la presencia ocasional de lutitas carbonáceas y vetas de lignito, mientras que al tope de la unidad reporta la existencia de capas de conglomerados lateríticos.

Esta formación en su contacto basal es concordante y transicional con la Formación Los Ranchos y hacia el tope es discordante con respecto a la Formación Milagros.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

González de Juana *et al.* (1980) menciona la presencia de foraminíferos redepositados, difiriendo en ese sentido del Léxico Estratigráfico III (2008) quien reporta esta formación sin contenido fósil.

Esta formación se ubica posiblemente dentro de un ambiente continental y una edad Mioceno Medio a Superior (ver FIGURA N° 3.3).

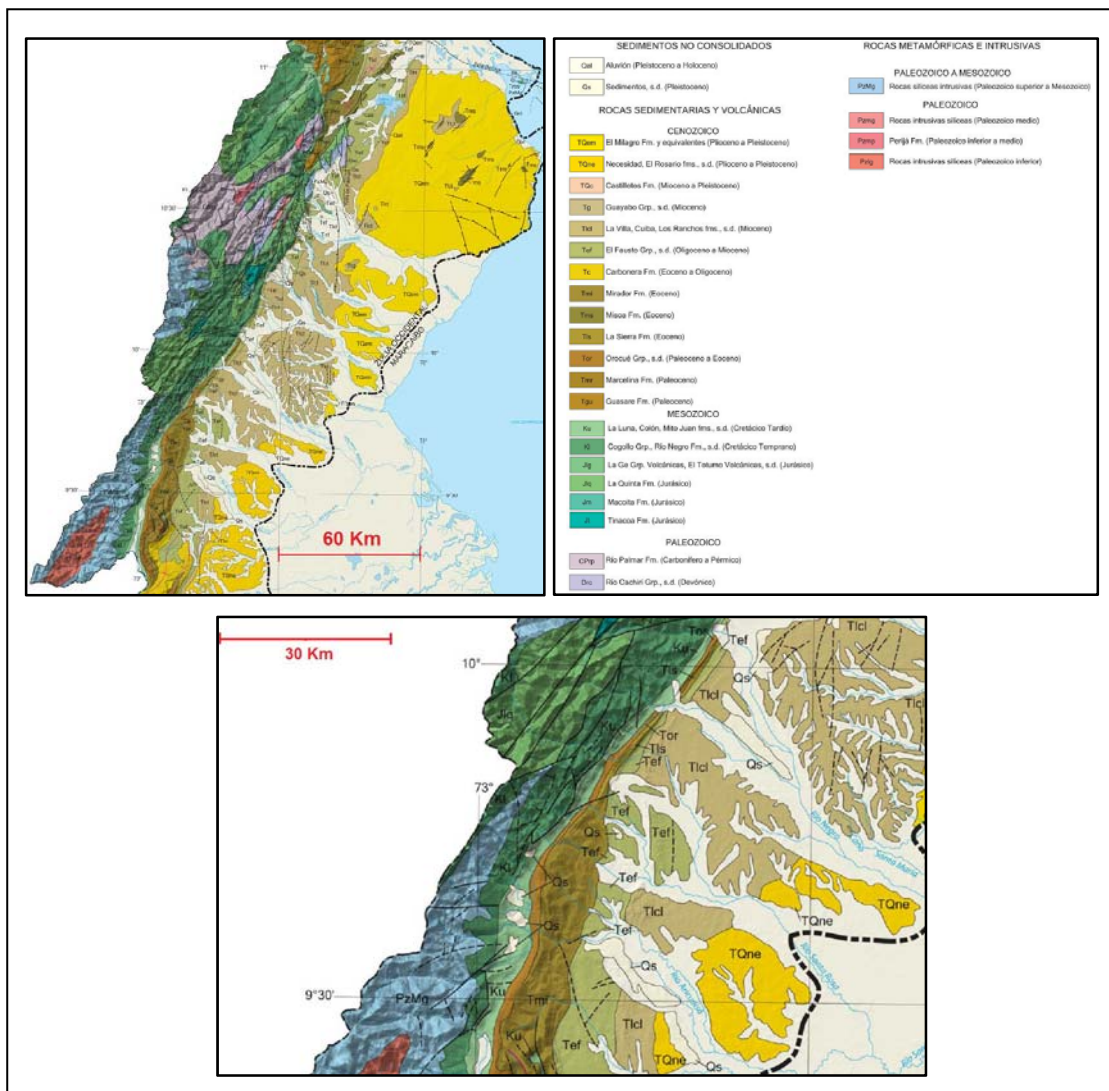


FIGURA N° 3.3. Ubicación de las formaciones que conforman el área de estudio dentro de La Sierra de Perijá. (Tomado y modificado de HACKLEY, P., URBANI, F., KARLSEN, A., and GARRITY, C. (2006) Mapa Geológico de Venezuela, Escala: 1:750.000)

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y MATERIAL CARTOGRÁFICO

Esta primera fase consistió en la recopilación bibliográfica de textos y trabajos previos, además de la recopilación del material cartográfico y de las imágenes satelitales relacionadas con la zona de estudio. Entre las actividades que comprendieron esta etapa se encuentran:

- Recopilación de trabajos previos, tesis y publicaciones mediante visitas a la Biblioteca Central y a la Biblioteca Virgil Winkler de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica (ambas ubicadas dentro de la Universidad Central de Venezuela); y en el Instituto de Estudios Avanzados (Universidad Simón Bolívar).
- Recopilación del material cartográfico en la sede de la Dirección de Cartografía Nacional (ubicada en el Centro Simón Bolívar, Caracas).
- Recopilación de la imagen satelital a utilizar, la cual se obtuvo de forma gratuita de internet, en el dominio “*Global Land Cover Facility Earth Data Interface*”.

4.2 TRABAJO DE OFICINA

Una vez se dio inicio a la recopilación del material bibliográfico y material cartográfico, la primera fase del trabajo de oficina, consistió en el procesamiento, análisis e interpretación de la información que se fue obteniendo del área de estudio.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

La segunda fase del trabajo de oficina se inicio de manera simultánea con la primera fase de la misma y consistió en la revisión del material cartográfico y procesamiento de la imagen satelital, para lo cual se siguieron una serie de procedimientos que se describen a continuación:

4.2.1 Preparación de Imágenes *Landsat* ETM para la Corrección Atmosférica

Las características de los diversos tipos de imágenes satelitales van a depender del tipo de sensor remoto que las origine, de ahí que se debe de realizar el pre-procesamiento de las imágenes con el objetivo de llevarlas a parámetros estándar dentro de cierto rango de valores, que posteriormente permitan obtener una imagen lo más real y limpia posible, además de permitir la comparación de estas con imágenes de diferentes sensores.

4.2.1.1 Calibración de las Imágenes *LANDSAT 7ETM* en *radiancia* mediante la utilización del *software* ENVI 4.2

La primera fase del pre-procesamiento, consiste en calibrar las imágenes en *radiancia* siguiendo los pasos que se describen a continuación:

1. Abrir el *software* ENVI 4.2 y seleccionar del menú principal la función “***Basic Tools > Preprocessing > Calibration Utilities > LANDSAT TM***” (ver FIGURA.4.1);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

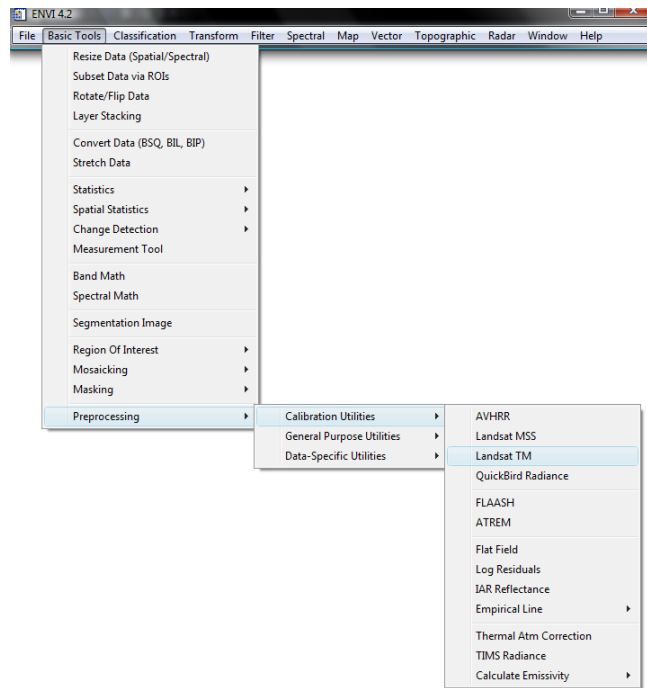


FIGURA N° 4. 1. Ventana del menú principal de ENVI 4.2 donde se despliegan las subsiguientes pestañas y se selecciona la opción “Landsat TM”.

2. Se abre la ventana “*TM Calibration Input File*” donde se selecciona la función “*Open > New File*” (ver FIGURA.4.2);

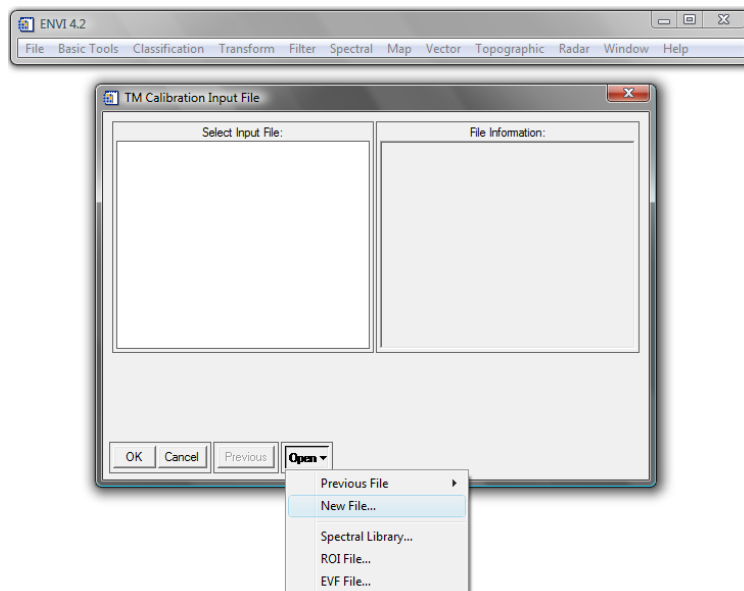


FIGURA N° 4. 2. Ventana “*TM Calibration Input File*” de donde se despliega “*Open > New File*”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Se despliega una nueva ventana en la cual se buscan cada una de las bandas de la imagen para importarlas al *ENVI 4.2*, quedando cargadas automáticamente en el **“Select Input File”** al ser seleccionadas desde su lugar de origen; dichos archivos encuentran en formato *.TIFF* (ver FIGURA.4.3);

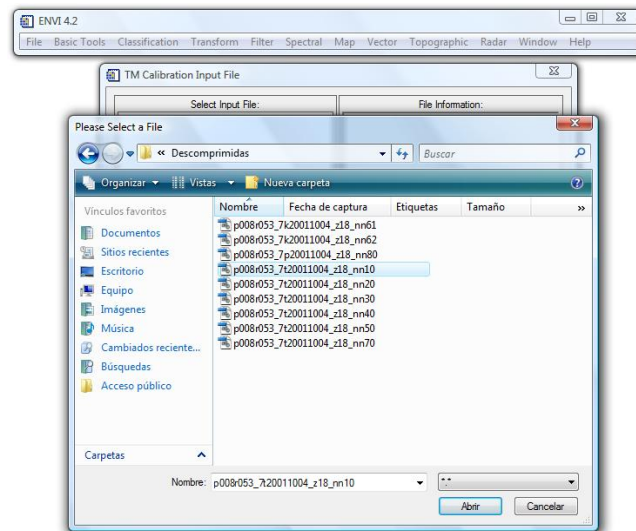


FIGURA N° 4.3. Ventana donde se selecciona el archivo de la banda a importar al ENVI 4.2.

- Una vez cargado(s) el(los) archivo(s) dentro del **“Select Input File”** se selecciona de manera ordenada la banda a calibrar y se hace click en la opción **“OK”** (ver FIGURA.4.4);

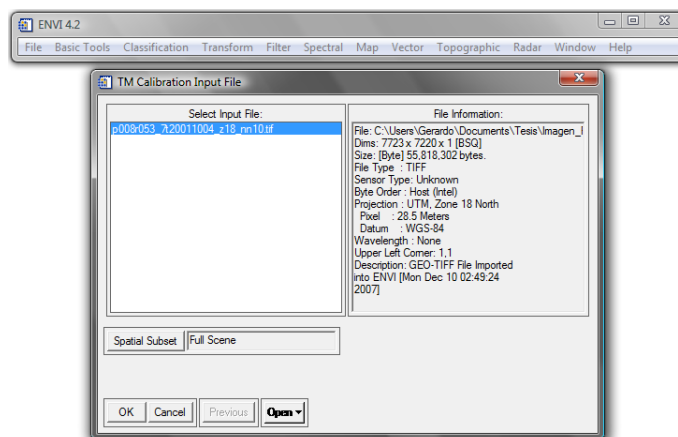


FIGURA N° 4.4. Ventana **“TM Calibration Input File”** con la banda a procesar.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

5. Luego se abre la ventana “*TM Calibration Parameters*”, donde se colocan los datos de la banda seleccionada, mientras que en el “*Output Result to*” se selecciona el tipo “*File*” y en el botón “*Choose*” se busca la ubicación y nombre de salida del archivo, para finalmente seleccionar “*OK*” (ver Fig.4.5). Los datos de cada una de las bandas y de la imagen en general se encuentran en el archivo “*Metadata*” (ver Fig.4.6). Datos como:

- “*Scale Max y Min*” son diferentes para cada banda;
- “*Fecha de Adquisición, Sun Elevation y LANDSAT Satellite*” son los mismos para todas las bandas.

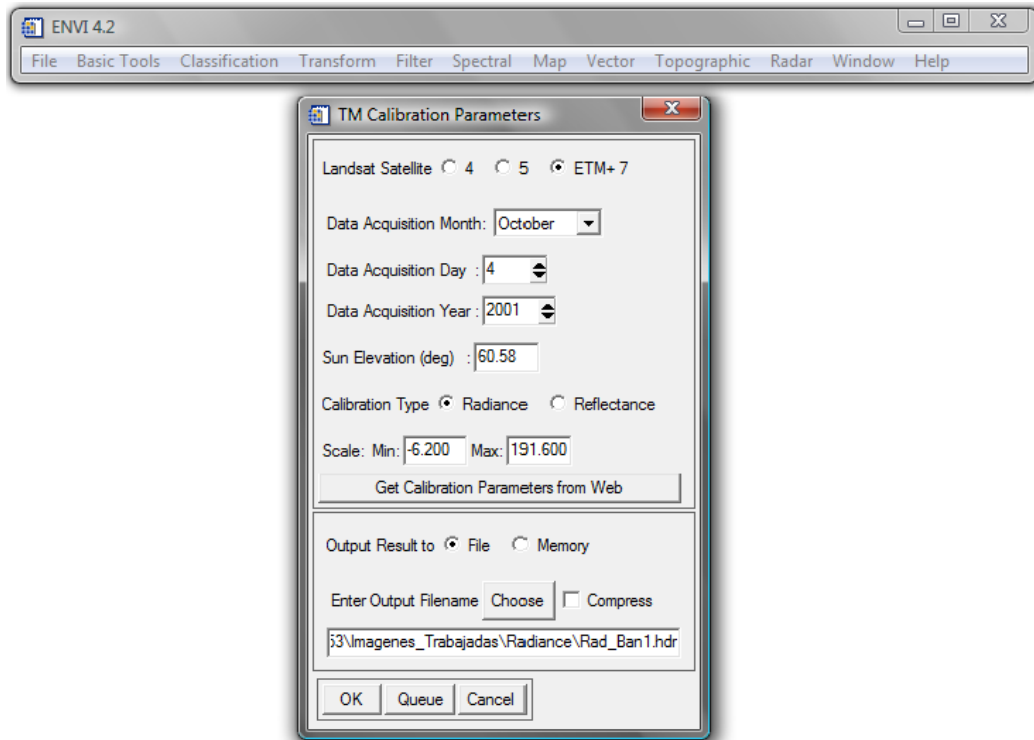


FIGURA N° 4. 5. Ventana “*TM Calibration Parameters*” donde se vacían los datos de la *Metadata* y se colocan las especificaciones de salida del archivo.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

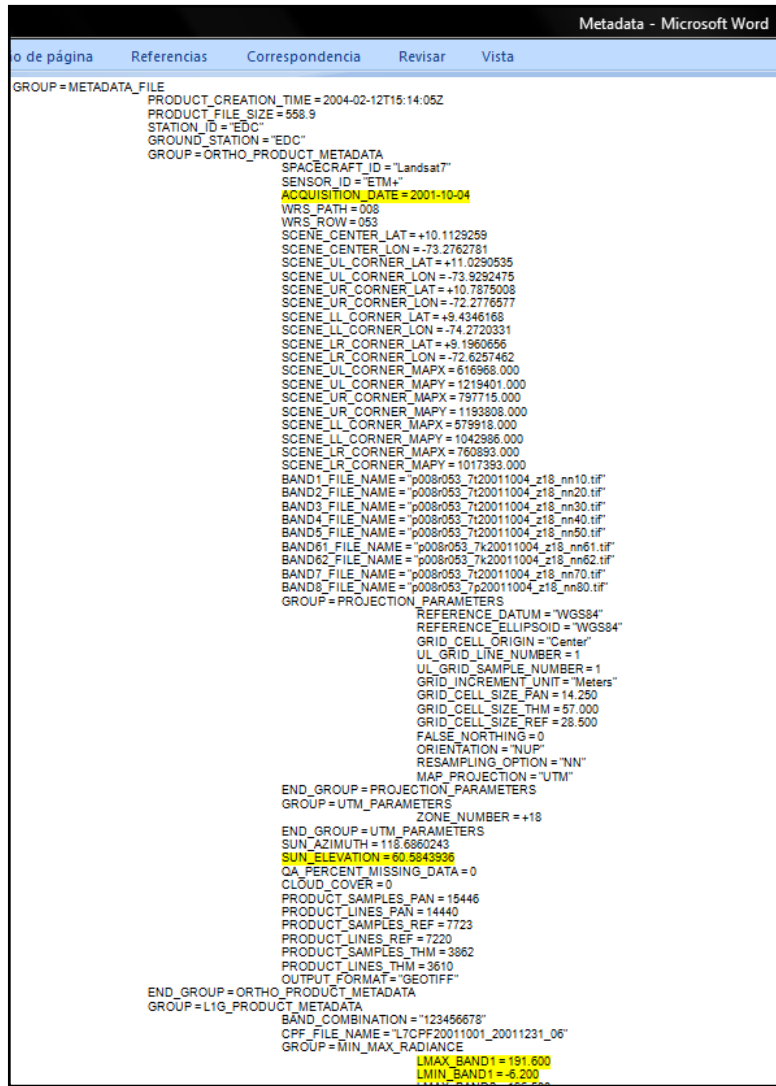


FIGURA N° 4. 6. Archivo *Metadata* con los parámetros a utilizar resultados.

4.2.1.2 Generación del archivo con las 6 bandas calibradas

La segunda fase del pre-procesamiento, consiste en la unión de las distintas bandas calibradas en una sola, mediante la utilización del *software ENVI 4.2*, siguiendo el procedimiento que se explica a continuación:

1. Seleccionar del menú principal del *ENVI 4.2* la función “*Basic Tools > Layer Stacking*” (ver Fig.4.7);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

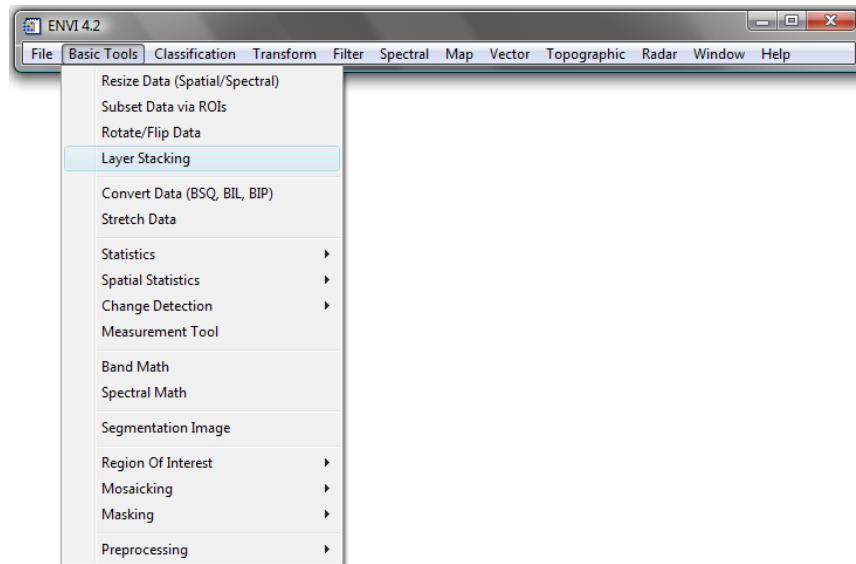


FIGURA N° 4. 7. Ventana del menú principal de *ENVI 4.2* donde se despliega la subsiguiente pestaña y se selecciona la función “*Layer Stacking*”.

2. Se abre la ventana “*Layer Stacking Parameters*”, donde se selecciona “*Import File*” (ver Fig.4.8);

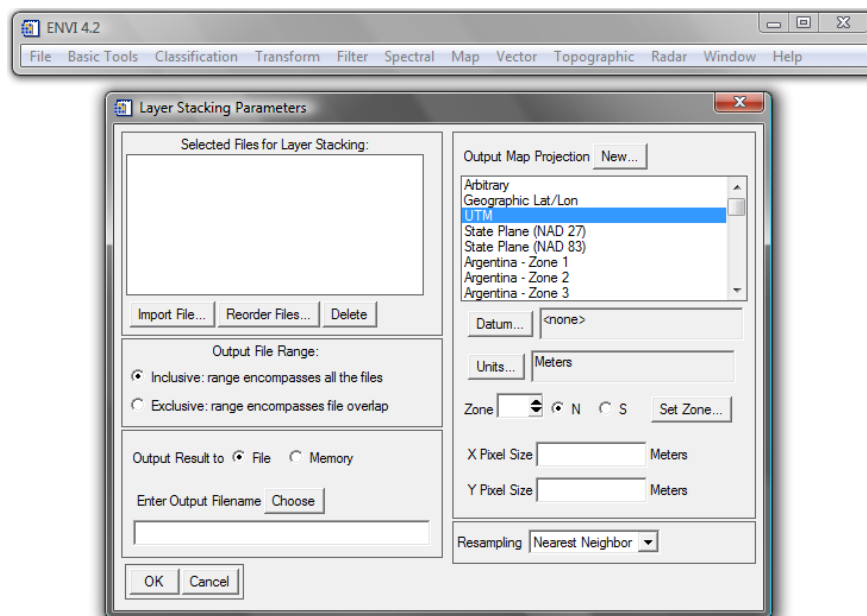


FIGURA N° 4. 8. Ventana “*Layer Stacking Parameters*”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

3. Se despliega la ventana **“Layer Stacking Input File”**, en donde se seleccionan cada una de las bandas previamente calibradas, comenzando en orden ascendente desde la banda 10 hasta llegar a la 70 (ver Fig.4.9);

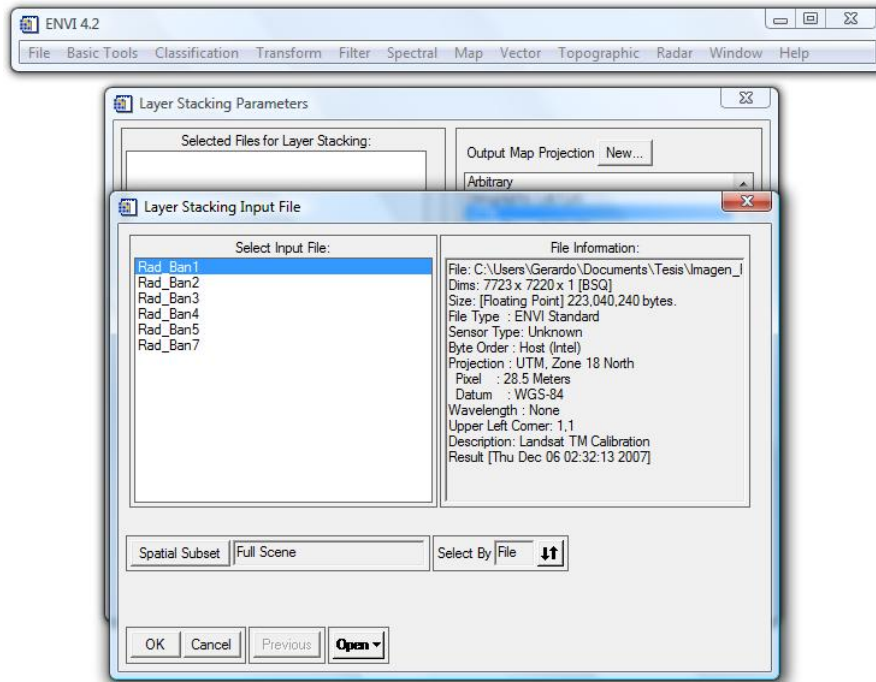


FIGURA N° 4. 9. Ventana **“Layer Stacking Input File”**.

4. En la misma ventana **“Layer Stacking Parameters”**, en la sección correspondiente al **“Output Map Projection”** se colocan los siguientes datos de la imagen (ver Fig.4.10):

- **“Output Map Projection”**: UTM
- **“Datum”**: WGS-84
- **“Units”**: Meters
- **“Zone”**: 18 N
- **“X Pixel Size”**: 28.50000000
- **“Y Pixel Size”**: 28.50000000
- **“Resampling”**: Nearest Neighbor

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

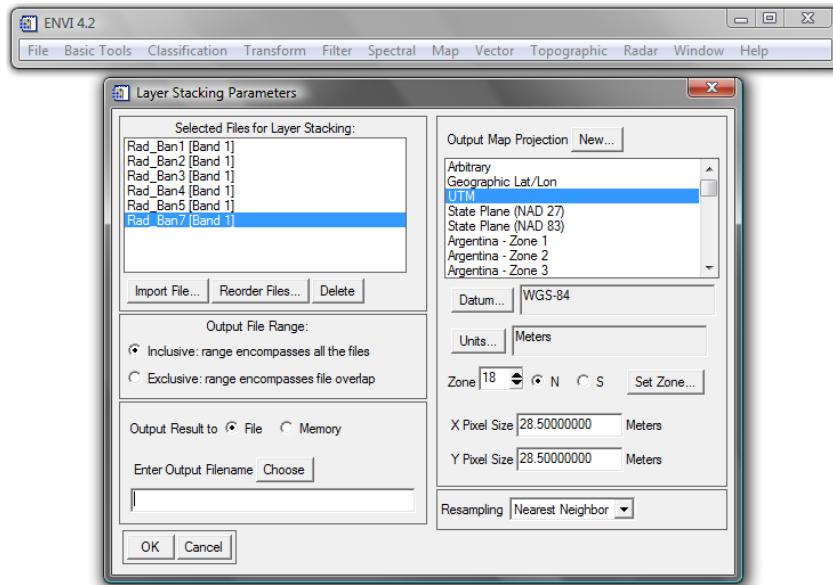


FIGURA N° 4. 10. Ventana “*Layer Stacking Input File*” con los datos del “*Output Map Projection*”.

5. En la misma ventana “*Layer Stacking Parameters*” se procede a seleccionar como “*Output Result to*” el tipo “*File*” y en el botón “*Choose*” se busca la ubicación y nombre de salida del archivo, para finalmente seleccionar “*OK*” (ver Fig.4.11).

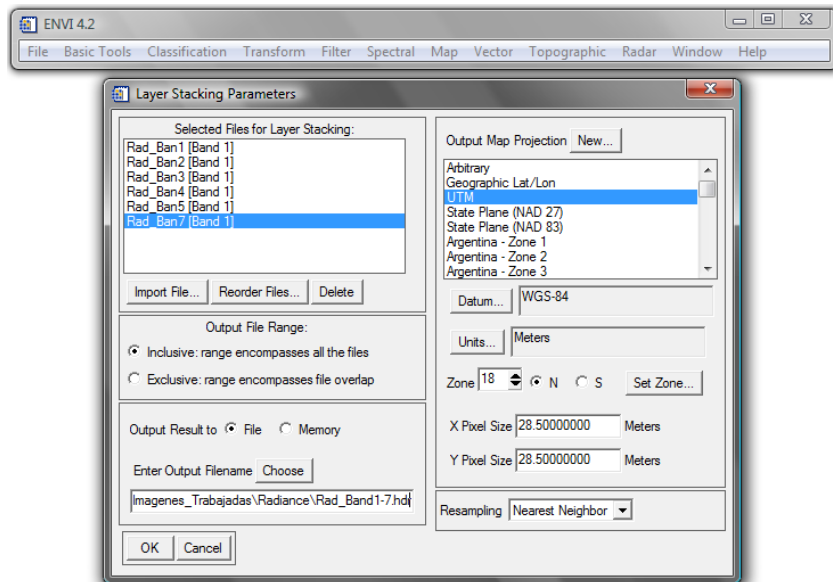


FIGURA N° 4. 11. Ventana “*Layer Stacking Input File*” con los nuevos parámetros.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

4.2.1.3 Transformación del archivo de la unión de las bandas calibradas a formato *BIL*

La tercera fase del pre-procesamiento de las imágenes consiste en convertir el formato de salida *BSQ*, en que se encuentra la unión de las bandas, a un formato *BIL*, el cual permitirá aplicar varias de las tareas del procesamiento de la imagen. El procesamiento para convertir a *BIL* se realiza en el *software ENVI* y tiene los siguientes pasos:

1. Seleccionar del menú principal del *ENVI 4.2* la función “***Basic Tools > Convert Data (BSQ, BIL, BIP)***” (ver Fig.4.12);

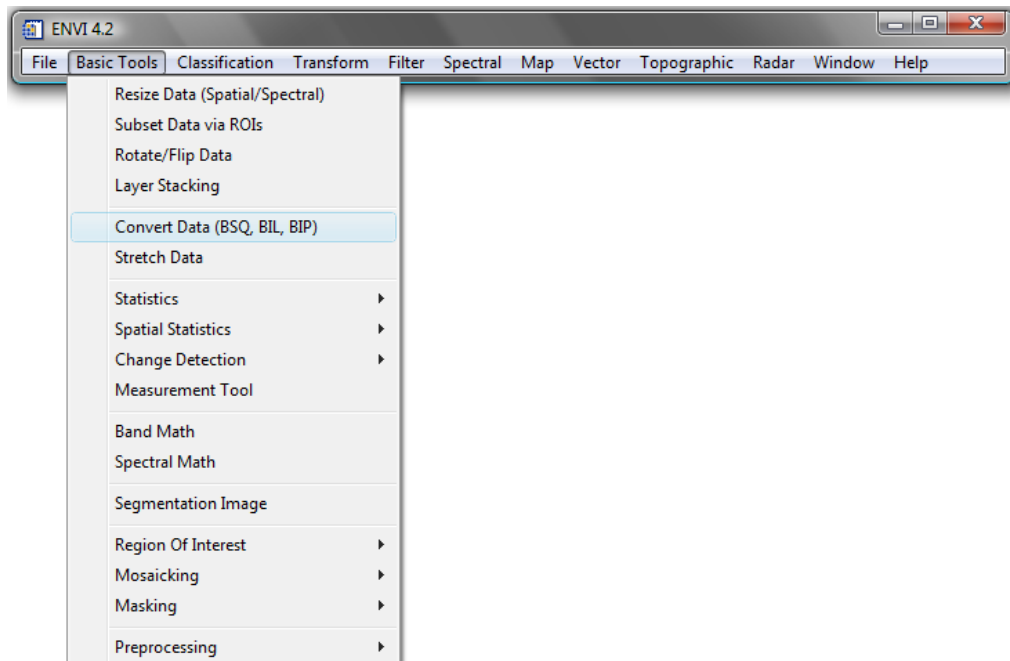


FIGURA N° 4. 12. Ventana del menú principal de *ENVI 4.2* donde se despliega la subsiguiente pestaña.

2. Se despliega la ventana “***Convert File Input File***”, donde se selecciona la imagen que contiene la unión de las bandas calibradas y se presiona “**OK**” (ver Fig.4.13);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

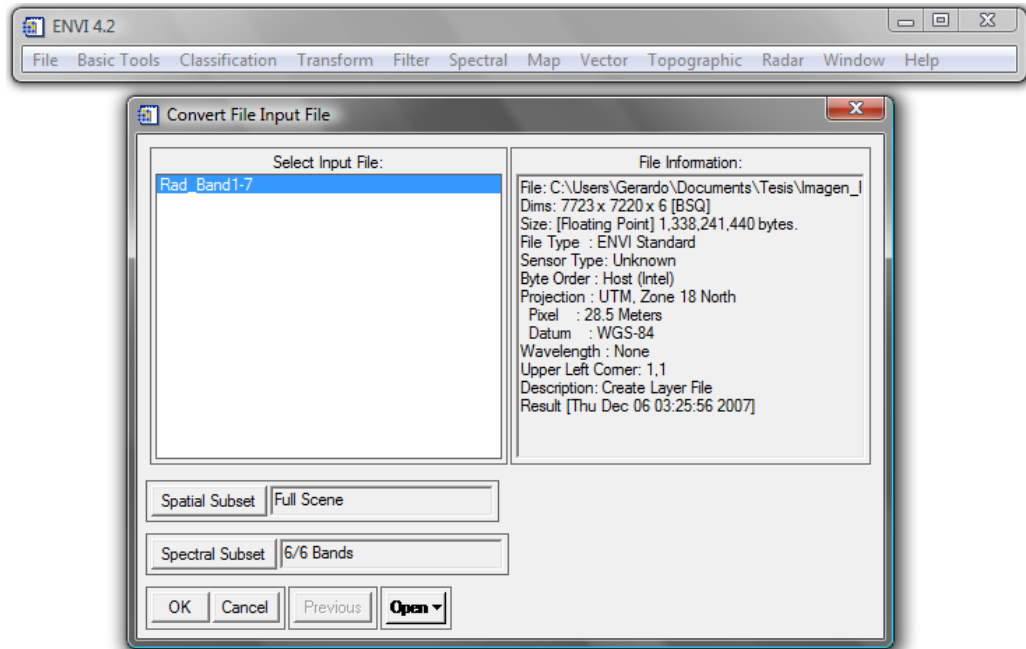


FIGURA N° 4. 13. Ventana “Convert File Input File” donde se selecciona la unión de las bandas.

3. Se abre la ventana “Convert File Parameters” y en ella se selecciona BIL como “Output Interleave”, colocando NO en el “Convert In Place”, para posteriormente seleccionar como “Output Result to” el tipo “File” y en el botón “Choose” se busca la ubicación y nombre de salida del archivo, para finalmente seleccionar “OK” (ver Fig.4.14).

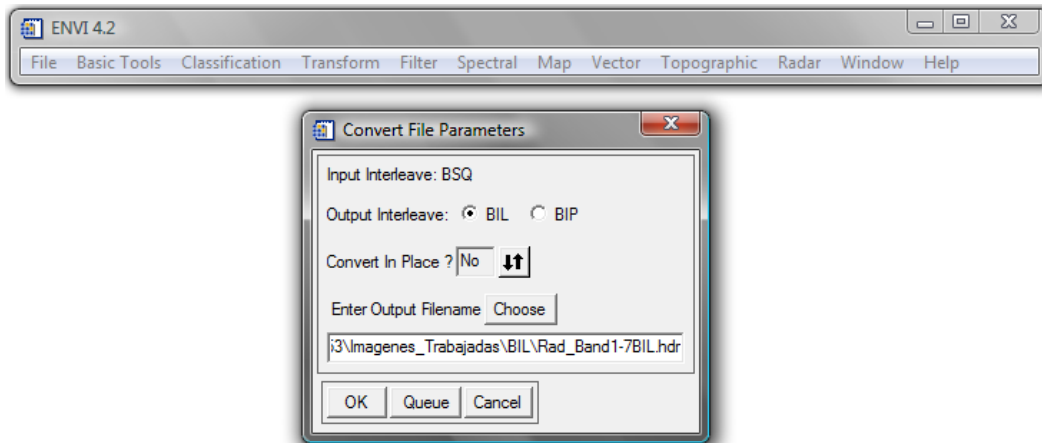


FIGURA N° 4. 14. Ventana “Convert File Parameters” con los datos de salida del archivo BIL.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

4.2.2 Corrección Atmosférica de la Imagen *LANDSAT 7*

Una vez llevada la imagen a un formato adecuado para su procesamiento, el siguiente paso es realizar la corrección atmosférica de la imagen. Este proceso se realiza en el *software ENVI*, utilizando el comando *FLAASH*, el cual será el encargado de corregir la presencia de vapor de agua, oxígeno, dióxido de carbono, metano y ozono en la atmósfera, siguiendo los siguientes pasos:

1. Seleccionar del menú principal del *ENVI 4.2* la función “*Basic Tools > Preprocessing > Calibration Utilities > FLAASH*” (ver FIGURA 4.15);

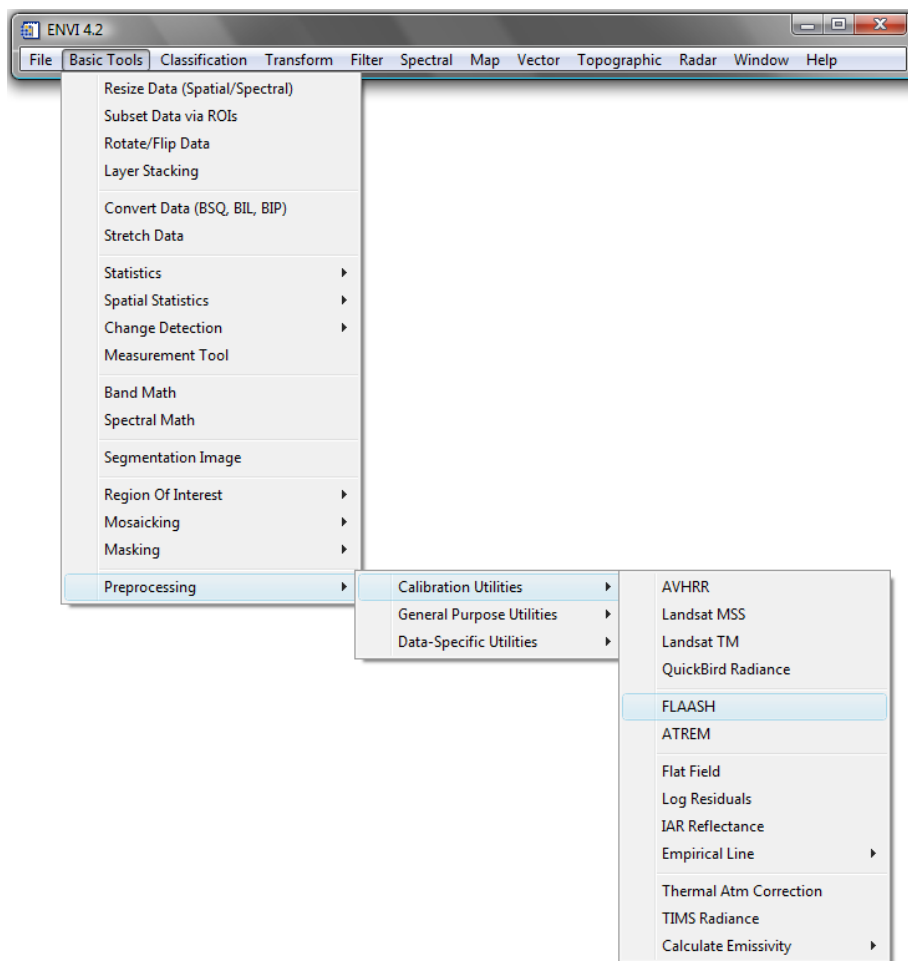


FIGURA N° 4. 15. Ventana del menú principal de *ENVI 4.2* donde se despliegan las subsiguientes pestañas y se selecciona la función “*FLAASH*”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2. Se despliega la ventana **“Flaash Atmospheric Correction Model Input Parameters”**, donde se abren los siguientes campos:

- **“Input Radiance Image”**: al seleccionar este campo se abre la ventana **“FLAASH Input File”**, de donde se selecciona el archivo **BIL** correspondiente a la unión de las bandas y se presiona el botón **“OK”** (ver FIGURA 4.16);

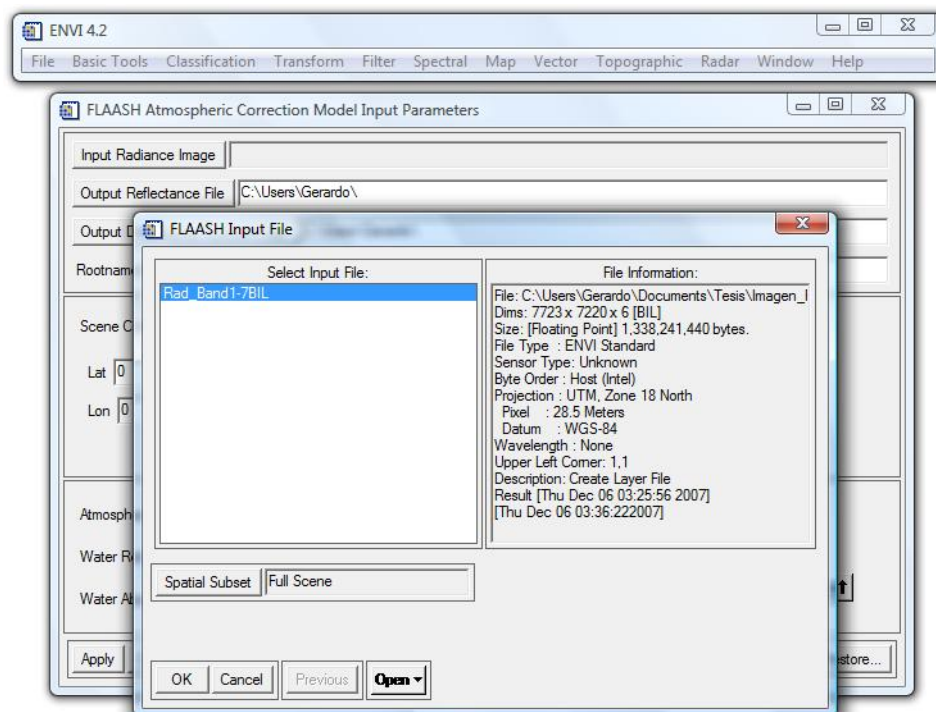


FIGURA N° 4. 16. Ventana **“FLAASH Input File”** del comando **“Input Radiance Image”** perteneciente a la ventana **“FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters”**.

- Seguidamente se abre la ventana **“Enter ASCII Filename containing wavelengths and fwhn”**, donde se selecciona el archivo llamado ondas (el cual ha tenido que ser creado previamente y debe de contener el promedio de las longitudes de onda para cada banda) (ver FIGURA 4.17);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

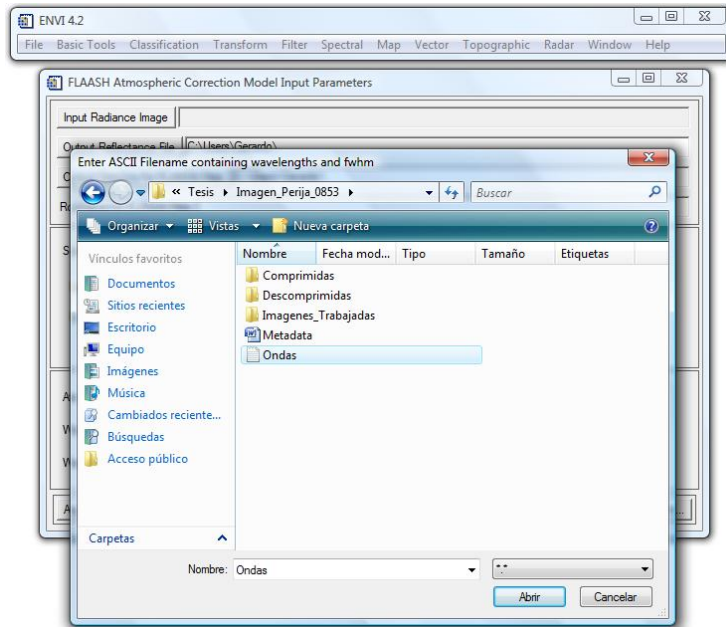


FIGURA N° 4. 17. Ventana “Enter ASCII Filename containing wavelengths and fwhm” del comando “Input Radiance Image” perteneciente a la ventana “FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters”.

- Al momento en que se acepta el archivo se abre la ventana “Input ASCII File” y se presiona “OK”, dejando todos los valores sin modificar (ver FIGURA 4.18);

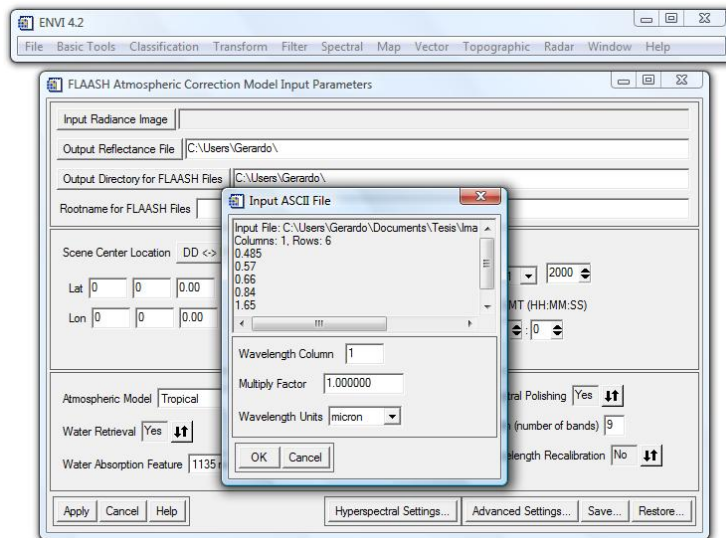


FIGURA N° 4. 18. Ventana “Input ASCII File” del comando “Input Radiance Image” perteneciente a la ventana “FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Luego se activa la ventana llamada **“Radiance Scale Factors”** donde se selecciona la opción **“Use single scale factor for all bands”** y en el parámetro **“Single scale factor”** se coloca como valor 10 y se presiona **“OK”** (ver FIGURA 4.19);

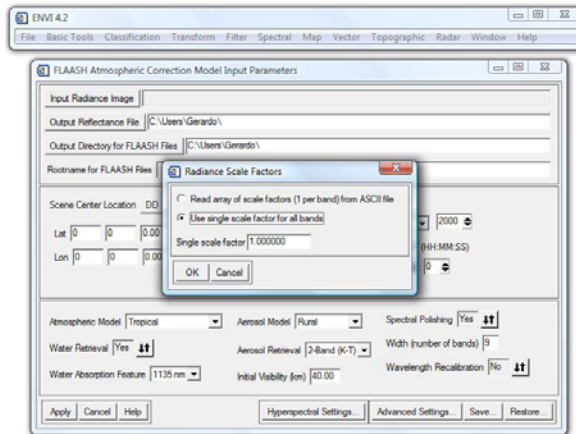


FIGURA N° 4. 19. Ventana **“Radiance Scale Factors”** del comando **“Input Radiance Image”** perteneciente a la ventana **“FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters”**.

- **“Output Reflectance File”**: al seleccionar este campo se coloca el nombre de salida del archivo, que en este caso será *Reflectance* (ver FIGURA.4.20);
- **“Output Directory for Flaash File”**: al seleccionar este campo se le da ubicación al archivo recién creado (ver FIGURA 4.20);

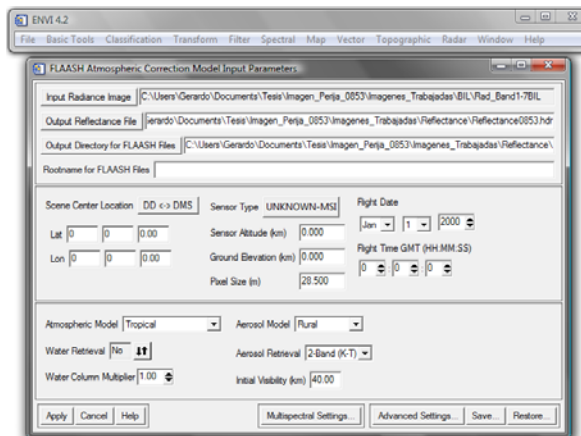


FIGURA N° 4. 20. Ventana **“FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters”** con los parámetros **“Output Reflectance File”** y **“Output Directory for Flaash File”** completados.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

3. Posteriormente en la misma ventana **“FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters”** se rellenan los datos correspondientes al momento de la generación de la imagen , algunos tales como datos del vuelo, coordenadas de Longitud y Latitud se encuentran en la **“Metadata”** (ver FIGURA 4.21 y FIGURA.4.22);

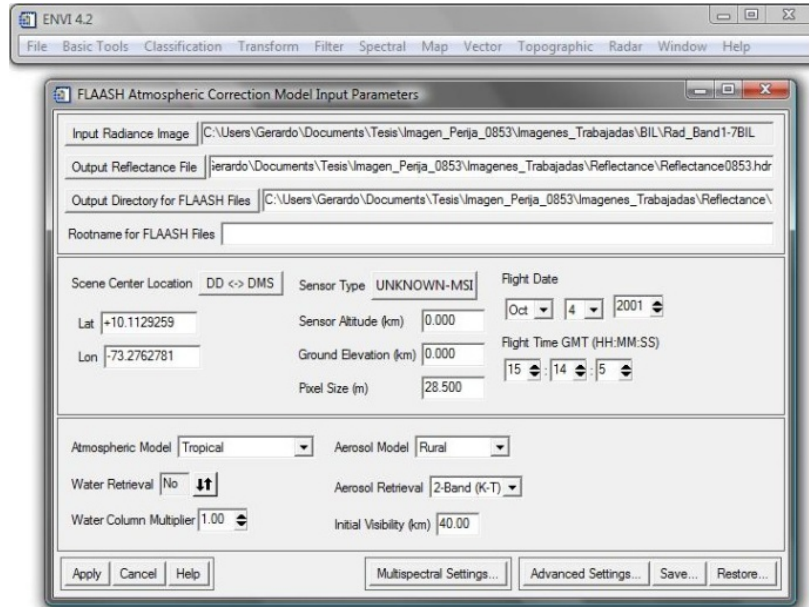


FIGURA N° 4. 21. Ventana **“FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters”** con los parámetros de la generación de la imagen completos.

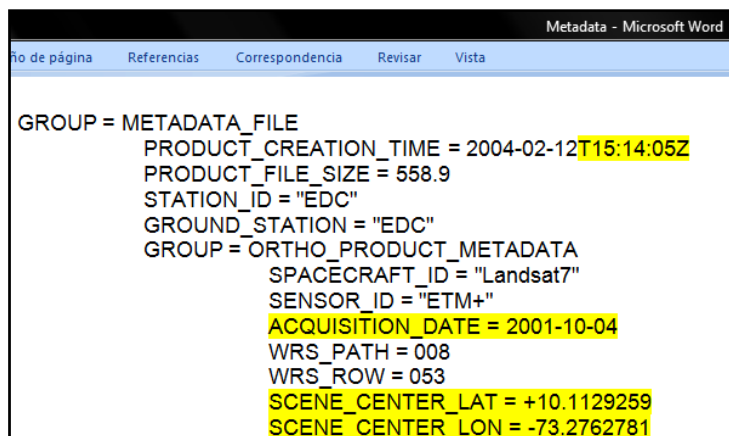


FIGURA N° 4. 22. Archivo **“Metadata”** con los parámetros a utilizar en la ventana **“FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters”** resaltados.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Otros datos como los que se enumeran a continuación son propios del tipo de sensor e imagen que se este utilizando. Todos esos datos se colocan en los espacios correspondientes dentro de la misma ventana **“FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters”** (ver FIGURA 4.23):

- **“Sensor Type > Multispectral >LANDSAT TM7”**
- **“Sensor Altitud (Km)”**: 705000
- **“Graund Elevation (Km)”**: 1,2
- **“Pixel Size (m)”**: 30

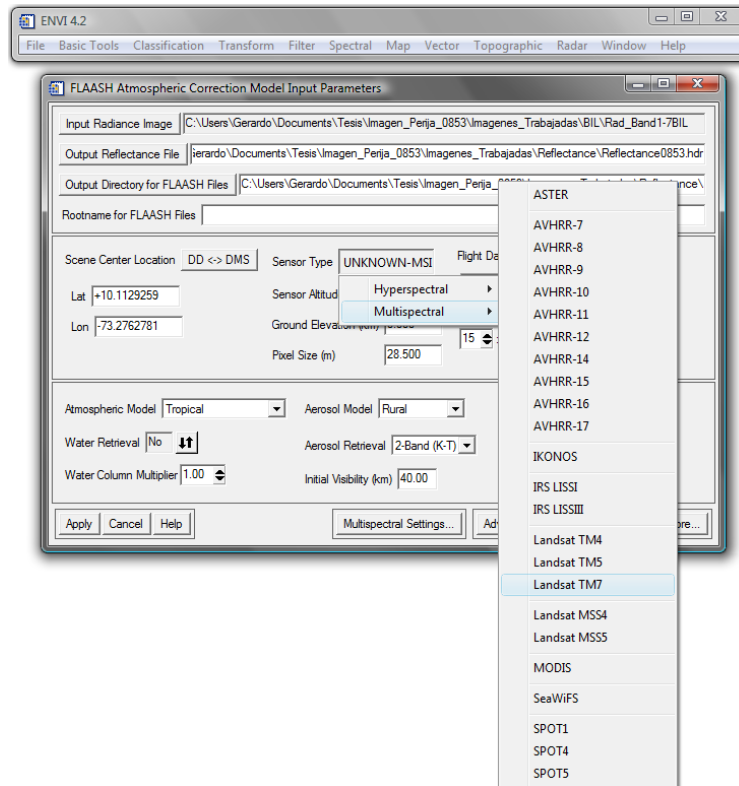


FIGURA N° 4. 23. Ventana **“FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters”** con la selección del tipo de sensor que proporciona la imagen.

4. Se selecciona la opción **“Multispectral Settings”**, abriéndose la ventana con el mismo nombre y se escoge la opción GUI en **“Select Channel Definitions by”** y

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

a continuación se selecciona la pestaña **“Kaufman-Tanre Aerosol Retrieval”** donde se rellenan los siguientes campos:

- ❖ **“KT Upper Channel”**: Banda 70
- ❖ **“KT Lower Channel”**: Banda 30

Los demás datos quedan iguales y se hace click en **“OK”** (ver FIGURA 4.24);

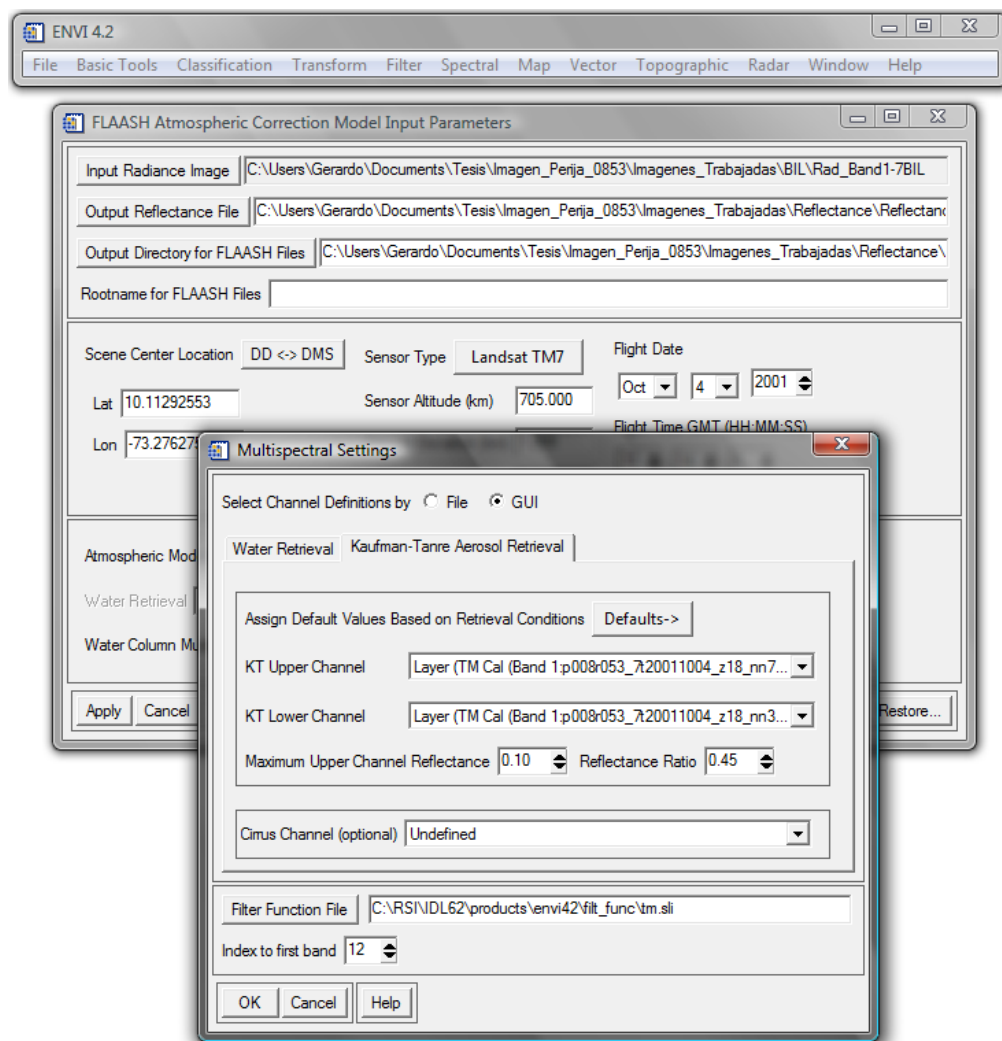


FIGURA N° 4.24. Ventana **“Multispectral Settings”** con todas las modificaciones realizadas.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

5. Se abre nuevamente la ventana “*FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters*” y se selecciona la opción “*Apply*” (ver FIGURA 4.25).

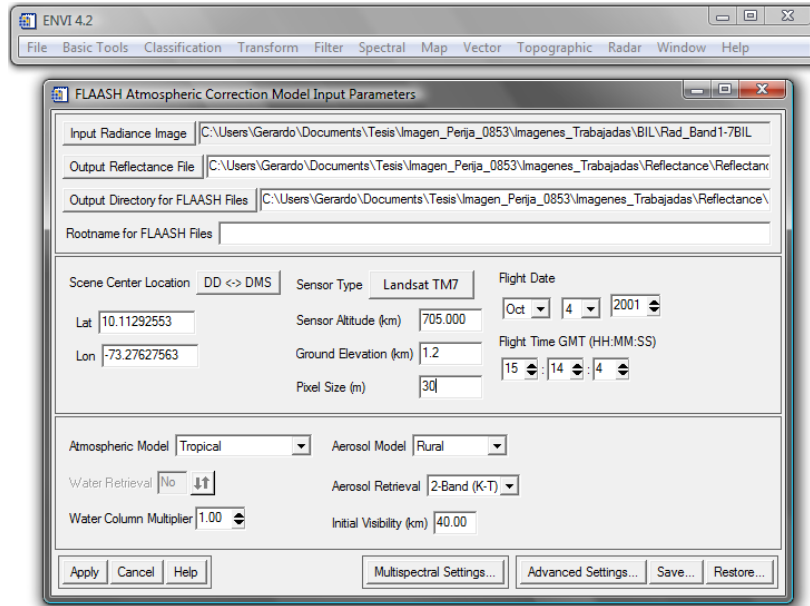


FIGURA N° 4. 25. Ventana “*FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters*” con todos los parámetros completamente llenos.

4.2.3 Procesamiento Hiperespectral de Imágenes *LANDSAT 7* mediante la utilización del *Software ENVI 4.2*

Concluido el proceso de corrección atmosférica y como preámbulo al procesamiento hiperespectral de las imágenes se genera un archivo de tipo *Shapefile* en el *software ArcGis*, donde se vectorizan las nubes y sus respectivas sombras con el objetivo de minimizar la incidencia de estas en la imagen.

4.2.3.1 Generación de archivos *shapefile*

El procedimiento que se describe a continuación, es el que se sigue para generar los archivos *shapefile*, los cuales serán de mucha utilidad para representar todos los rasgos geológicos reconocidos dentro del área de trabajo de la imagen.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

1. Del menú principal del *software ArcGis 9.1* se selecciona la función “*ArcCatalog ArcView*” (ver FIGURA 4.26);

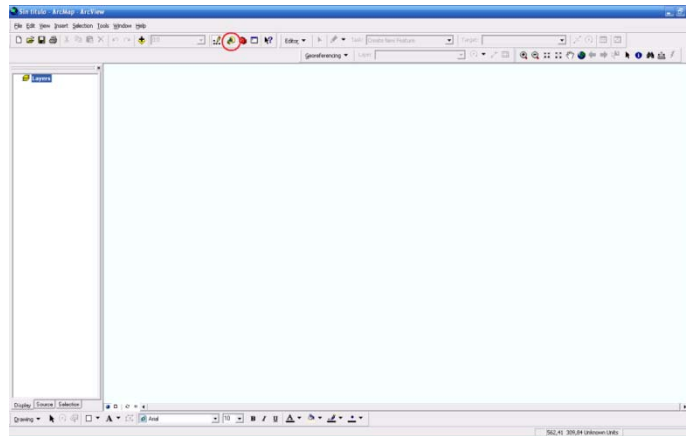


FIGURA N° 4. 26. Ventana “*ArcMap-ArcView*” donde se resalta dentro de un círculo rojo en el menú de herramientas la opción “*ArcCatalog*”.

2. Una vez desplegada la ventana del “*ArcCatalog – Arc View*”, dentro de su explorador se ubica la carpeta donde se guardara el nuevo archivo shapefile. Colocándose sobre esa carpeta, se hace click al botón derecho del *mouse* con lo que se despliega una pestaña donde se selecciona “*New > Shapefile...*” (ver FIGURA 4.27);

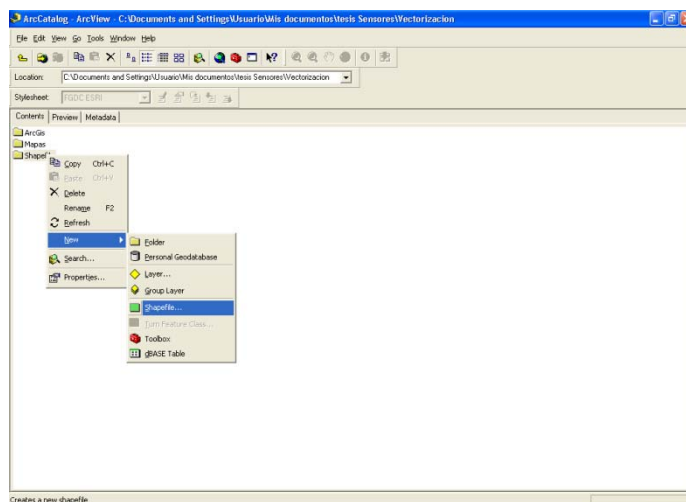


FIGURA N° 4. 27. Ventana “*ArcMap-ArcView*” donde se selecciona la opción “*Shapefile*” para generar los archivos de este tipo.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Se despliega la ventana **“Create New Shapefile”**, colocando en los campos **“Name”** el nombre del archivo y en **“Feature Type”** el tipo de símbolo con el que se delinear. Una vez completados estos campos se hace click en **“Edit”** (ver FIGURA 4.28);

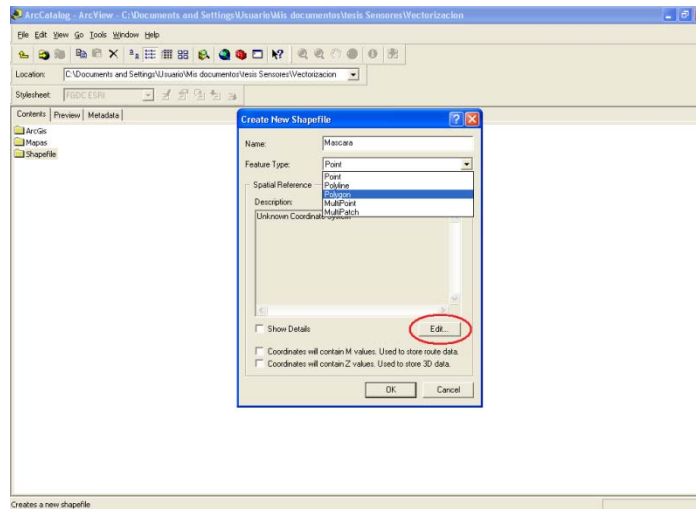


FIGURA N° 4. 28. Ventana **“Create New Shapefile”** con la selección de la **“Spatial Reference”** y encerrado en un círculo rojo la opción **“Edit”**.

- Se despliega la ventana **“Propiedades de Spatial Reference”** y se hace click en el botón **“Select”** (ver FIGURA 4.29);

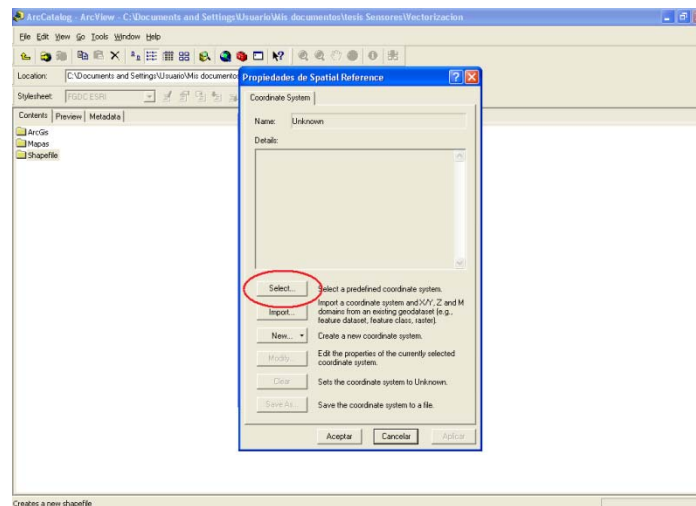


FIGURA N° 4. 29. Ventana **“Propiedades de Spatial Reference”** donde se hace click en el botón **“Select”**.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Seguidamente se abre la ventana **“Browse for Coordinate System”**, se selecciona la opción **“Projected Coordinate Systems”** y se hace click en **“Add”** (ver FIGURA 4.30);

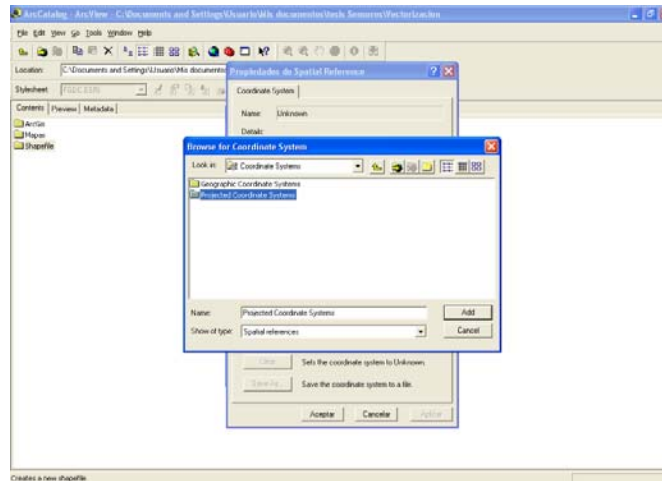


FIGURA N° 4.30. Ventana **“Browse for Coordinate System”** donde se selecciona la opción **“Projected Coordinate Systems”** y resaltado en rojo el botón **“Add”**.

- Se muestran en la misma ventana los diferentes sistemas de proyección de coordenadas y de estos se elige el **“UTM”** y se hace click en **“Add”** (ver FIGURA 4.31);

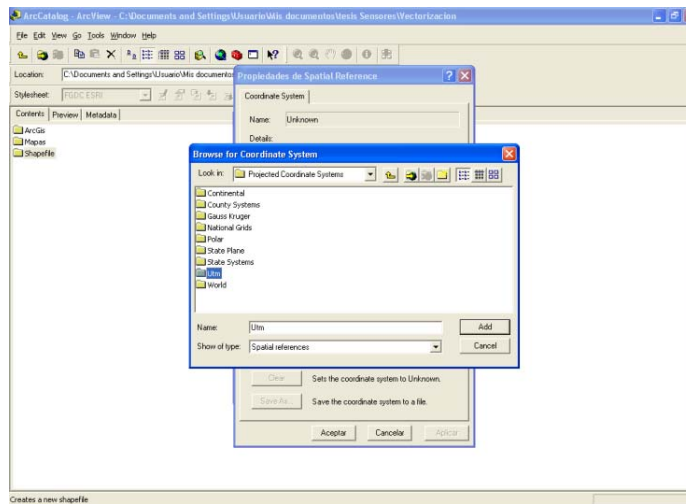


FIGURA N° 4.31. Ventana **“Browse for Coordinate System”** donde se selecciona la opción **“UTM”** y resaltado en rojo el botón **“Add”**.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Dentro del sistema *UTM* se escoge el “*Wgs 1984*” y se hace click en “*Add*” (ver FIGURA 4.32);

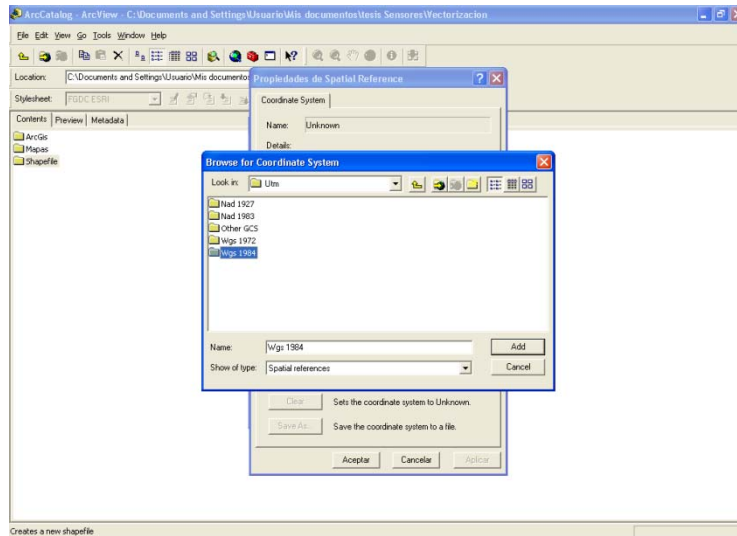


FIGURA N° 4. 32. Ventana “*Browse for Coordinate System*” donde se selecciona la opción “*Wgs 1984*” y resaltado en rojo el botón “*Add*”.

- Posteriormente se selecciona el huso que le corresponda a la zona de trabajo y se hace click en “*Add*” (ver FIGURA 4.33);

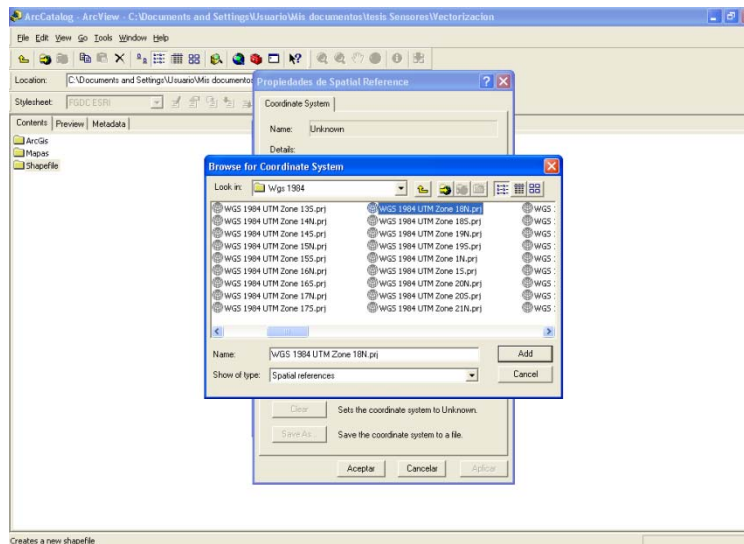


FIGURA N° 4. 33. Ventana “*Browse for Coordinate System*” donde se selecciona la opción “*WGS 1984*” y resaltado en rojo el botón “*Add*”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Nuevamente se despliega la ventana **“Propiedades de Spatial Reference”** y en el cuadro **“Details”** se verifica que estén correctos los datos del huso seleccionado en el paso anterior. Una vez verificado estos datos se hace click en el botón **“Aceptar”** (ver FIGURA 4.34);

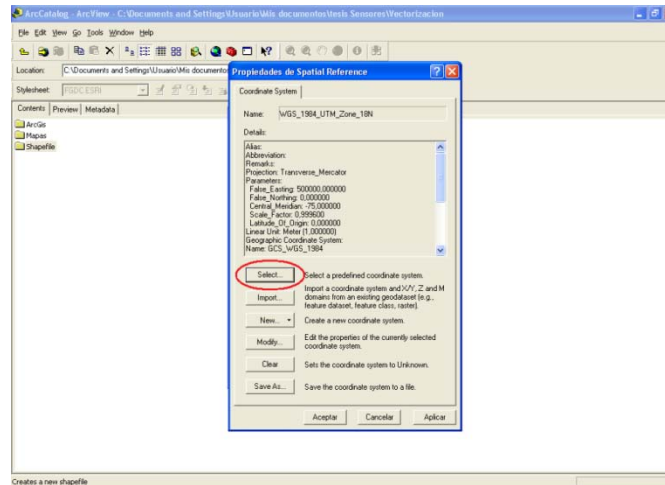


FIGURA N° 4. 34. Ventana **“Propiedades de Spatial Reference”** donde se hace click en el botón **“Aceptar”**.

- Se abre la ventana **“Create New Shapefile”** y se hace click en **“OK”** (ver FIGURA 4.35);

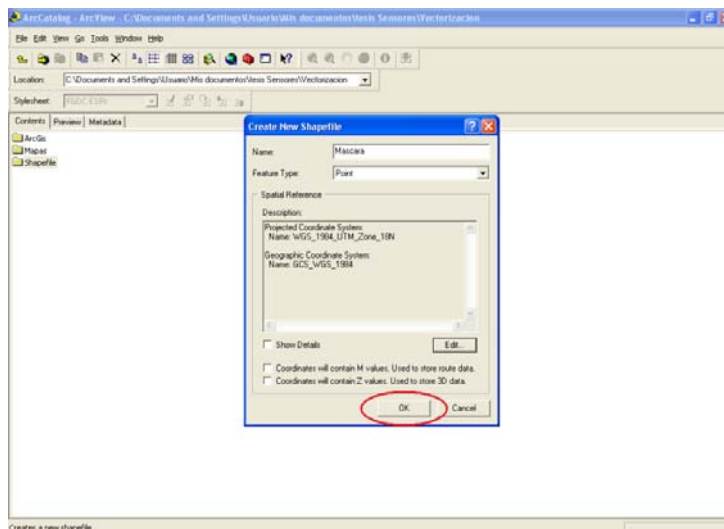


FIGURA N° 4. 35. Ventana **“Create New Shapefile”** donde se hace click al botón **“OK”**.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

11. Seguidamente se regresa a la ventana principal del *ArcGis 9.1* y de su menú se selecciona “**File > + Add Data**” (ver FIGURA 4.36);

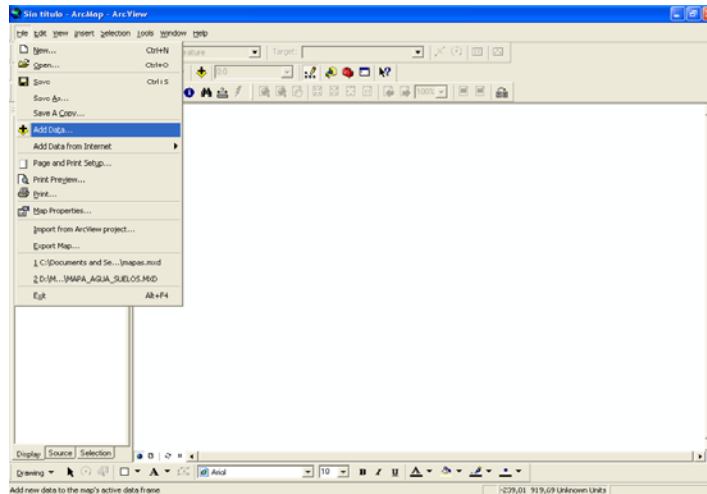


FIGURA N° 4. 36. Ventana “ArcMap-ArcView” donde se selecciona de su menú principal la opción “File > Add Data..”.

12. Se selecciona la imagen *reflectance* (previamente transformado su formato de salida a *.img*) y el archivo *shapefile*. Una vez abiertos los archivos, se hace *zoom* en el área a trabajar y se activa el menú de la función “**Editor > Star Editing**” (ver FIGURA 4.37);

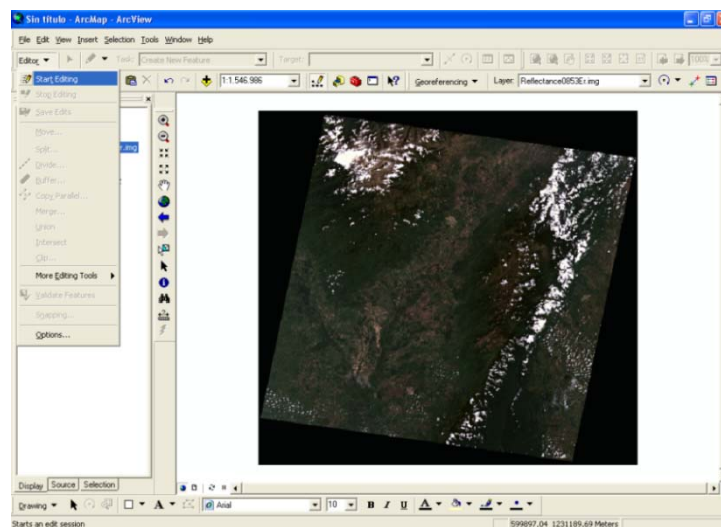


FIGURA N° 4. 37. Ventana “ArcMap” donde se observa desplegado el menú de la función “Editor” y la opción “Star Editing” seleccionada.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

13. Del menú de **“Editor”** se selecciona la función **“Sketch Tool”** y colocando el puntero sobre el rasgo se hace click consecutivamente sobre el mismo para delinearlos (ver FIGURA 4.38). Una vez terminado el delineado se hace doble click para cerrar la línea y se selecciona del menú de herramientas la opción **“Editor > Save Editing”** (ver FIGURA 4.39);

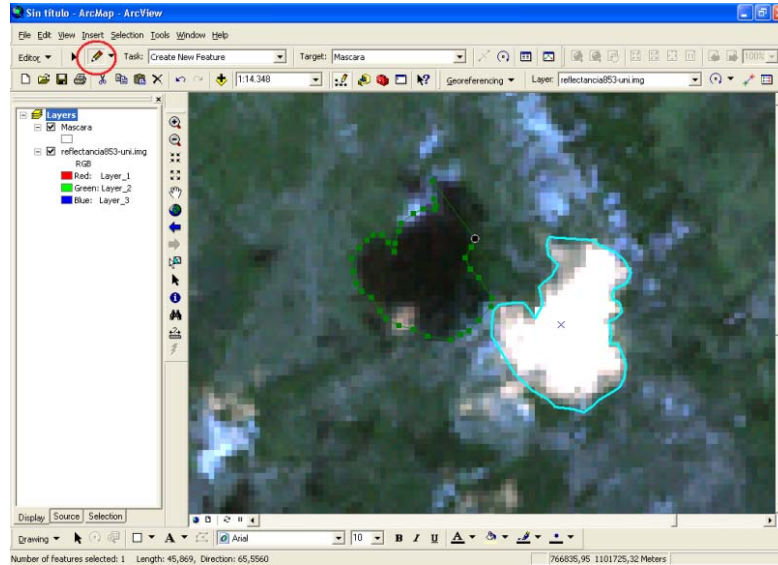


FIGURA N° 4.38. Ventana **“ArcMap”** donde se observa encerrado en un círculo rojo la función **“Sketch Tool”** y en la imagen la secuencia de puntos que en este caso representan el cauce de uno de los drenajes.

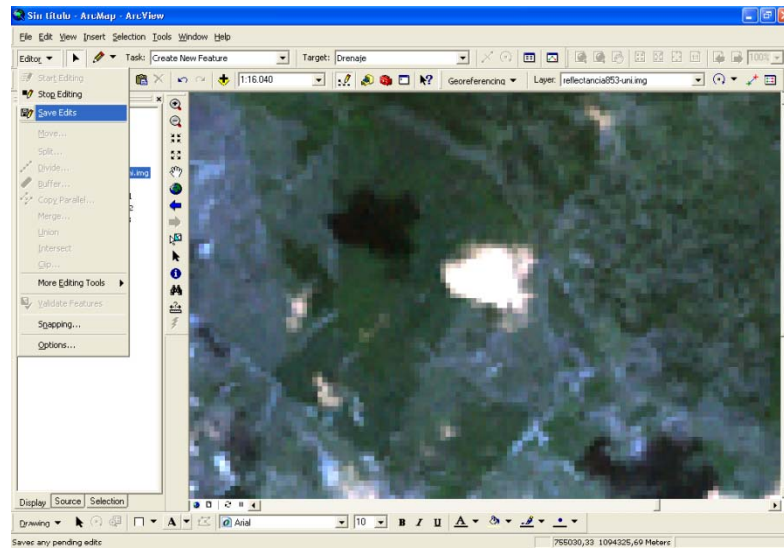


FIGURA N° 4.39. Ventana **“ArcMap”** donde se observa desplegado el menú de la función **“Editor”** y la opción **“Save Editing”** seleccionada.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

14. Para concluir, una vez delineado todos los rasgos se despliega nuevamente del menú de herramientas la opción “*Editor > Stop Editing*” (ver Fig 4.40);

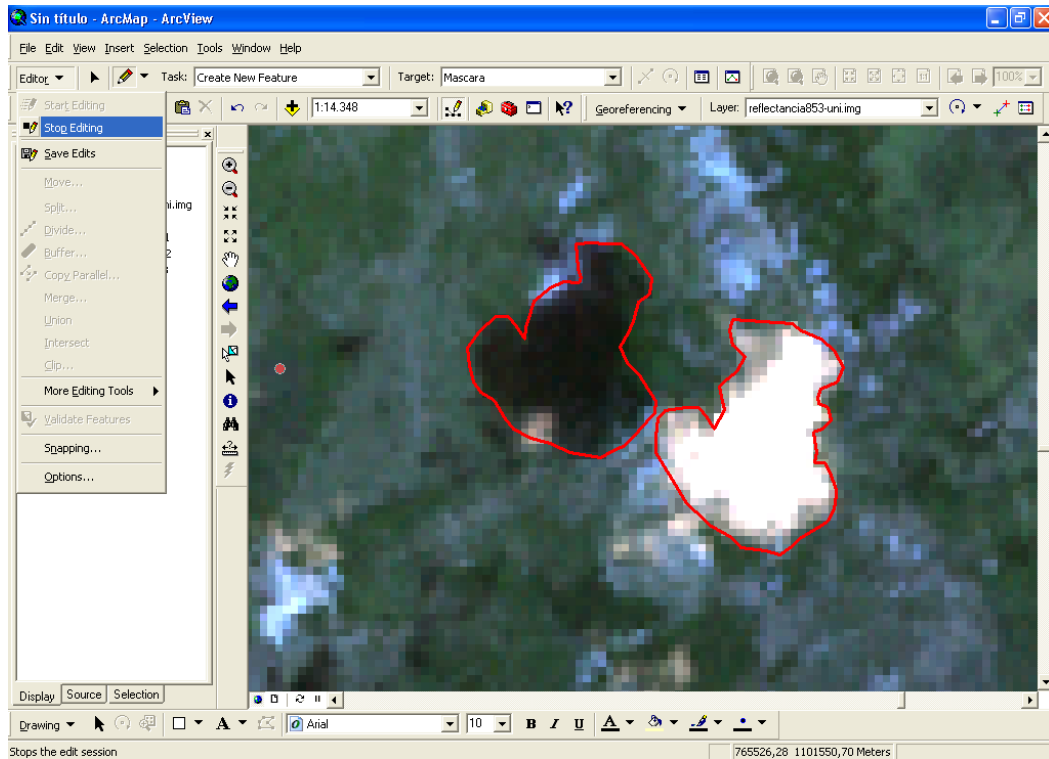


FIGURA N° 4. 40. Ventana “ArcMap” donde se observa desplegado el menú de la función “*Editor*” y la opción “*Stop Editing*” seleccionada.

4.2.3.2 Importación del archivo *Shapefile* al software ENVI 4.2

Una vez generado el archivo *Shapefile*, es necesario importarlo al *software ENVI 4.2* para iniciar el procesamiento hiperespectral de la imagen, debido a que el formato del mismo no se adapta a dicho *software*. Dicho procedimiento se realiza de la siguiente manera:

1. Seleccionar del menú principal del *ENVI 4.2* la función “*File > Open Image File*” (ver Fig.4.41);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

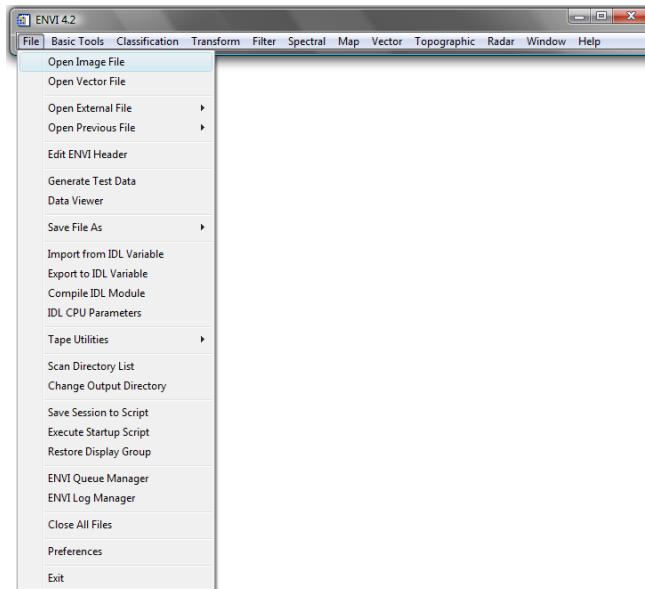


FIGURA N° 4. 41. Ventana del menú principal de ENVI 4.2 donde se despliega la subsiguiente pestaña y se selecciona “Open Image File”.

2. Abrir el archivo que contiene la imagen corregida atmosféricamente (*reflectance*) (ver FIGURA 4.42);

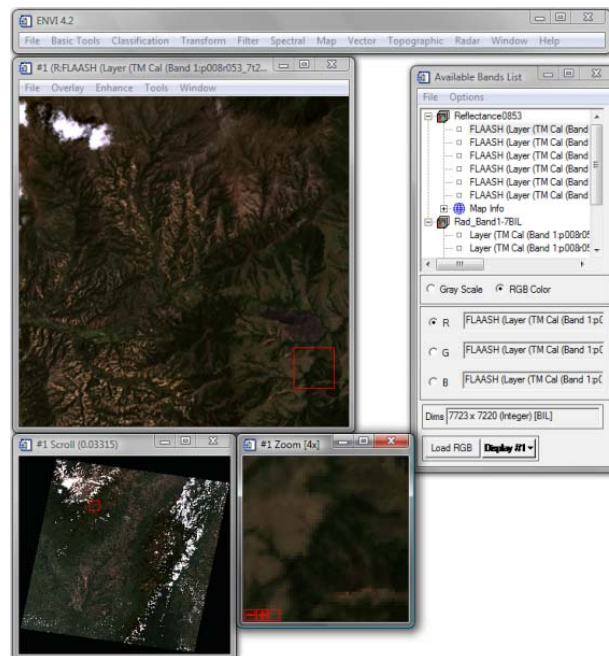


FIGURA N° 4. 42. Ventanas que se despliegan al abrir la imagen “Reflectance”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

3. Seleccionar del menú principal la función **“File > Open Vector File”** (ver FIGURA 4.43);

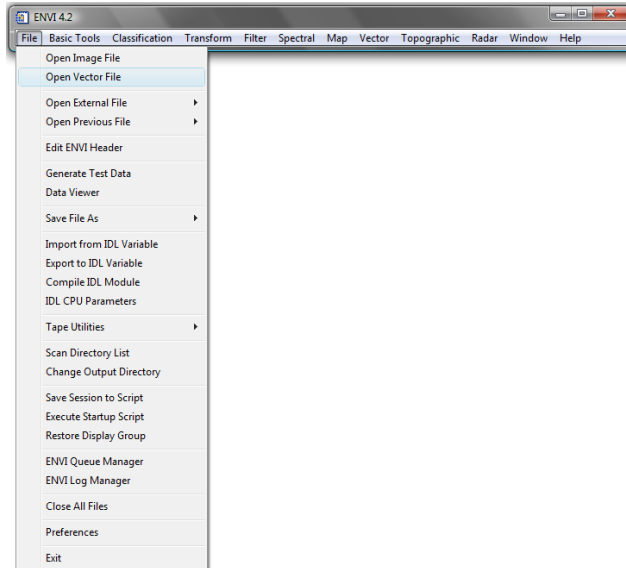


FIGURA N° 4. 43. Ventana del menú principal de ENVI 4.2 donde se despliega la subsiguiente pestaña y se selecciona **“Open Vector File”**.

4. Se despliega la ventana **“Select Vector Filenames”** y se busca el archivo *shapefile* de la máscara creada en ArcGis (ver FIGURA 4.44);

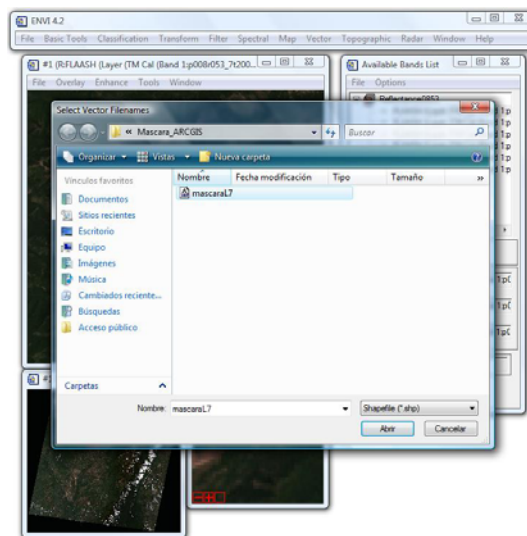


FIGURA N° 4. 44. Ventana **“Select Vector Filenames”**, donde se busca y se selecciona el archivo *shapefile* de la máscara.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

5. Inmediatamente se abre la ventana **“Import Vector Files Parameters”**, donde se selecciona el archivo *shapefile* recién importado, dejando los demás campos sin modificar, solo revisando que la ubicación del archivo de salida **“.evf”** sea la correcta, para finalmente hacer click en **“OK”** (ver FIGURA 4.45);

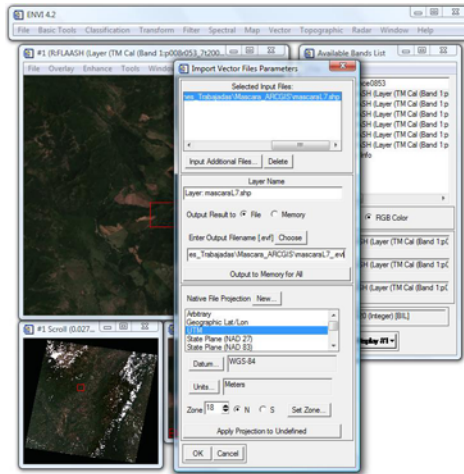


FIGURA N° 4. 45. Ventana **“Select Vector Filenames”** donde se selecciona el archivo *shapefile* de la máscara.

6. Se abre la ventana **“Available Vectors List”** donde se selecciona el archivo *shapefile*, al tiempo que se muestra la información de este en el cuadro, para luego elegir la opción **“Load Selected”** (ver FIGURA 4.46);

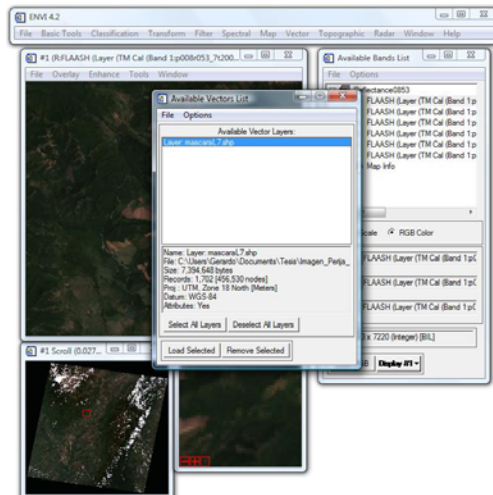


FIGURA N° 4. 46. Ventana **“Available Vectors List”** donde se selecciona el archivo *shapefile* de la máscara.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Se despliega una nueva ventana llamada **“Load Vector”** donde se selecciona el **“Display #1”** y se presiona **“OK”**, cargándose así el archivo *shapefile* sobre la imagen (ver Fig.4.47);

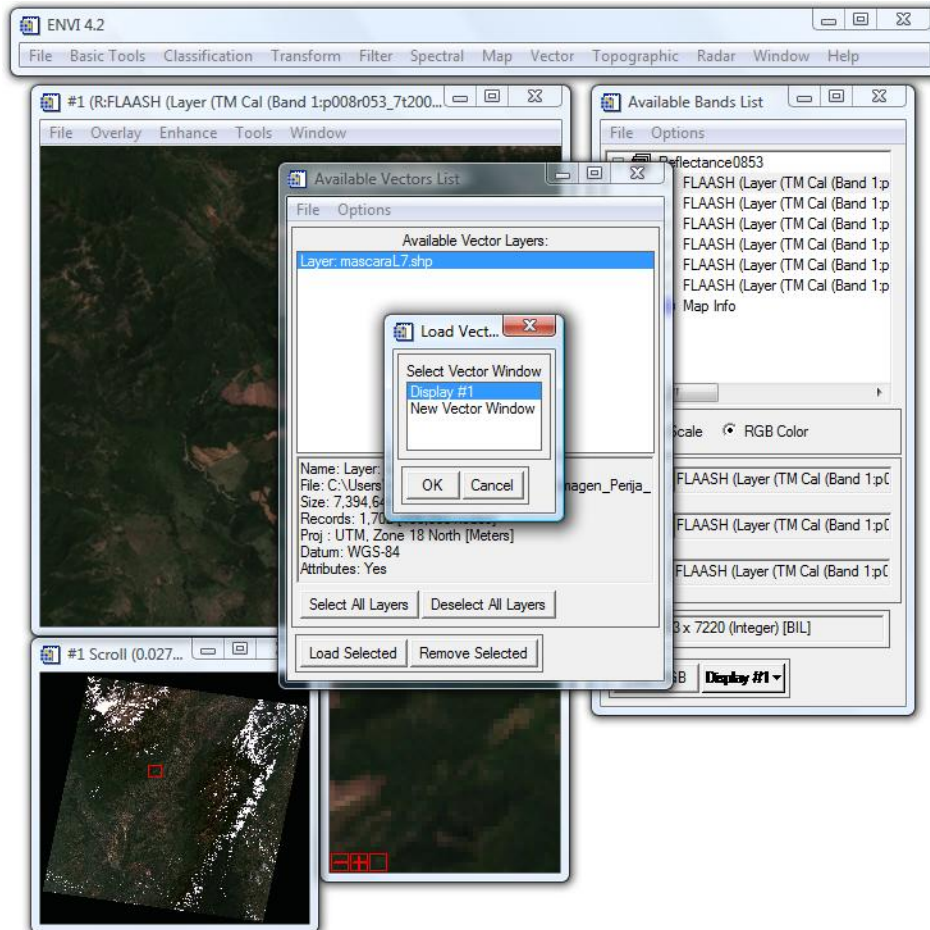


FIGURA N° 4. 47. Ventana **“Load Vector”** donde se selecciona la opción **“Display #1”**.

- Al momento que se carga el archivo *shapefile* sobre la imagen se abre la ventana **“#1 Vector Parameters Cursor Query”**, donde la opción **“Image”** debe de estar seleccionada como **“Window”** al igual que el archivo *shapefile* en la sección **“Available Vector Layer”**, para posteriormente pulsar el botón **“Apply”** (ver FIGURA 4.48);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

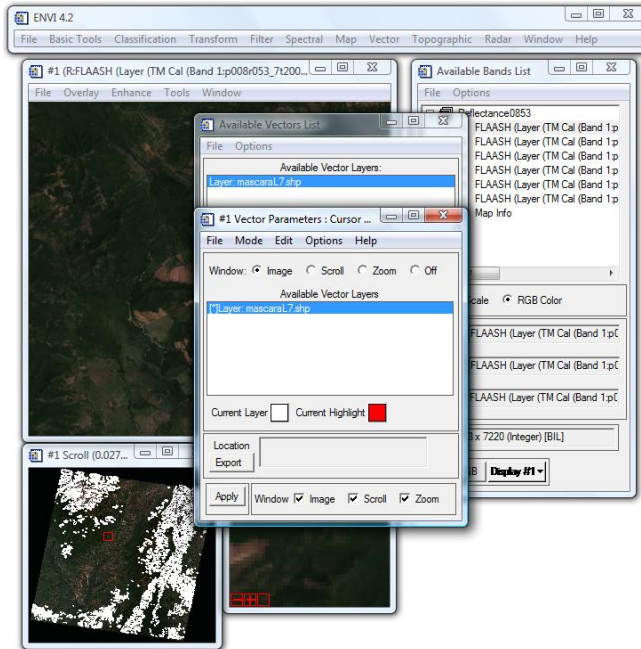


FIGURA N° 4.48. Ventana “#1 Vector Parameters: Cursor”.

9. En el menú principal de la ventana “#1 Vector Parameters Cursor Query” se debe seleccionar “*File > Export Active layer to ROIs*” (ver FIGURA 4.49);

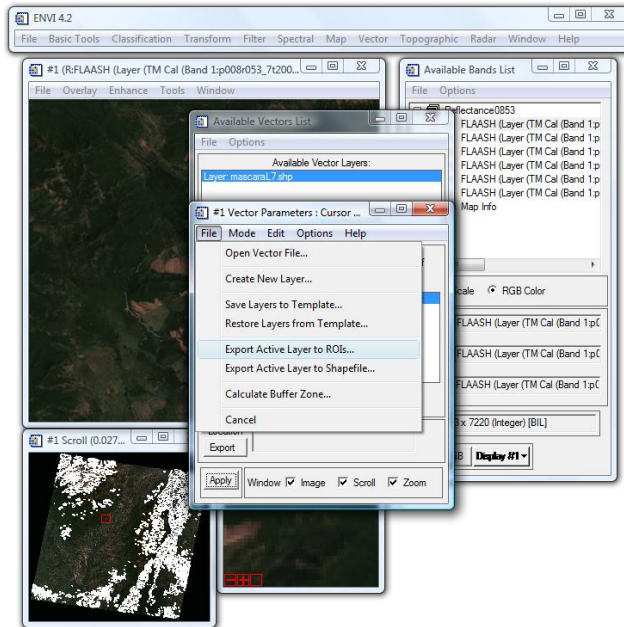


FIGURA N° 4.49. Ventana “#1 Vector Parameters: Cursor” donde se despliega una pestaña de la opción “File” y se selecciona la función “Export Active Layer to ROIs...”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

10. Se despliega la ventana “*Export EVF Layers to ROI*” donde se selecciona la opción “*Convert all records of an EVF layer to one ROI*” y se hace click en “**OK**”, completándose así el procedimiento (ver FIGURA 4.50).

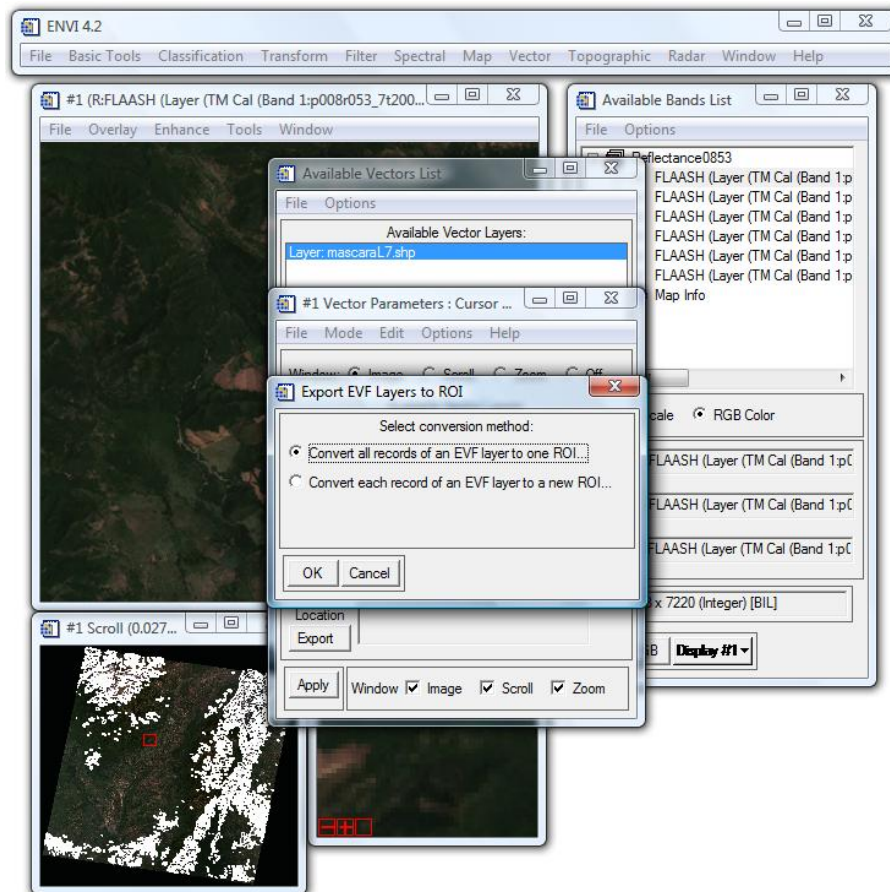


FIGURA N° 4. 50. Ventana “*Export EVF Layers to ROI*” donde se selecciona la opción superior.

4.2.3.3 Construcción de la Máscara

Una vez importado el archivo se procede a construir la máscara para la imagen en el *software ENVI*, mediante el siguiente procedimiento:

1. Seleccionar del menú principal del *ENVI 4.2* la función “*Basic Tools > Masking > Build Mask*” (ver FIGURA 4.51);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

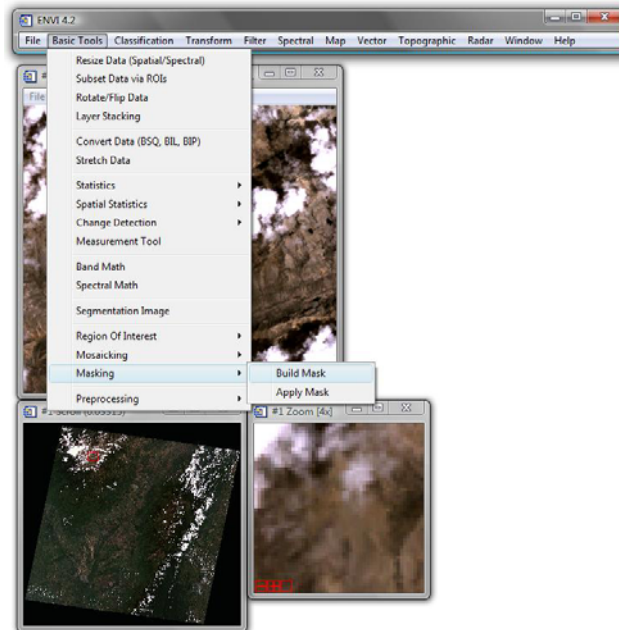


FIGURA N° 4. 51. Ventana del menú principal de ENVI 4.2 donde se despliegan las subsiguientes pestañas y se selecciona “Buil Mask”.

2. Se despliega una nueva ventana llamada “*Mask Definition*” donde se selecciona el “*Display #1*” y se presiona “*OK*” (ver FIGURA 4.52);

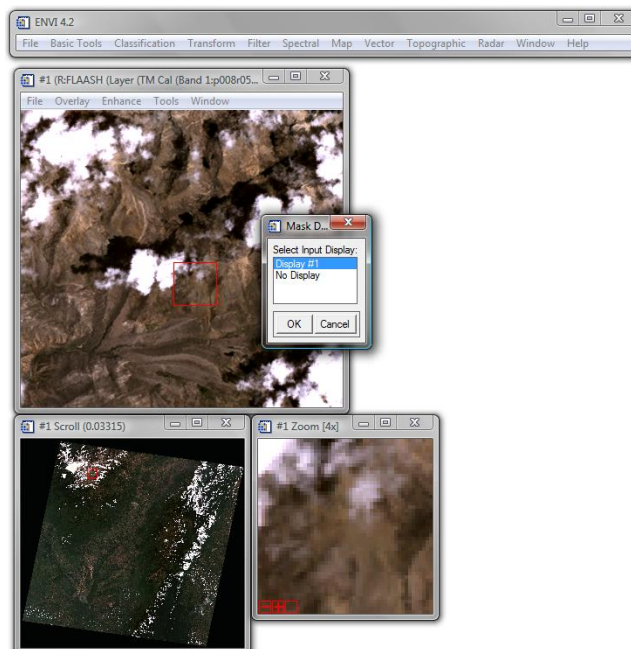


FIGURA N° 4. 52. Ventana “*Mask Definitions*” con la opción “*Display #1*” seleccionada.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

3. Se abre la ventana “#1 *Mask Definitions*” y en su menú se selecciona “*Options > Import ROIs...*”. Deben de estar marcadas las opciones “*Selected Aereas On*” y “*Selected Attributes [Logical OR]*”, para posteriormente hacer click en “*Apply*” cuando vuelva aparecer la ventana anterior (ver FIGURA 4.53);

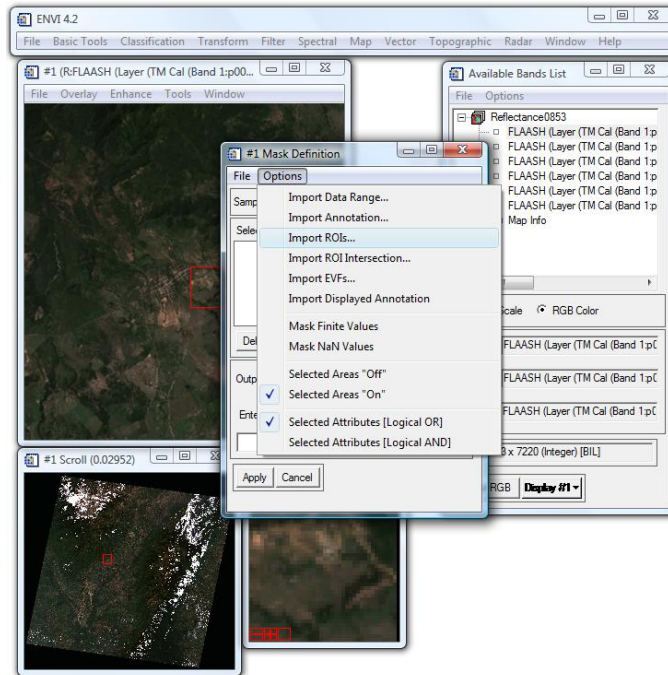


FIGURA N° 4. 53. Ventana “#1 *Mask Definitions*” donde se despliegan la subsiguiente pestaña y se selecciona “*Import ROIs...*”.

4.2.3.4 Transformación de la Fracción Mínima de Ruido (MNF)

Luego de realizada la corrección atmosférica a la imagen se procede a segregar o minimizar el ruido de la data espectral, para lo cual se utilizara el *software ENVI* siguiendo el procedimiento que se describe a continuación:

1. Seleccionar del menú principal del *ENVI 4.2* la función “*Spectral > MNF Rotation > Foward MNF > Estimate Noise Statistics From Data*” (ver FIGURA 4.54);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

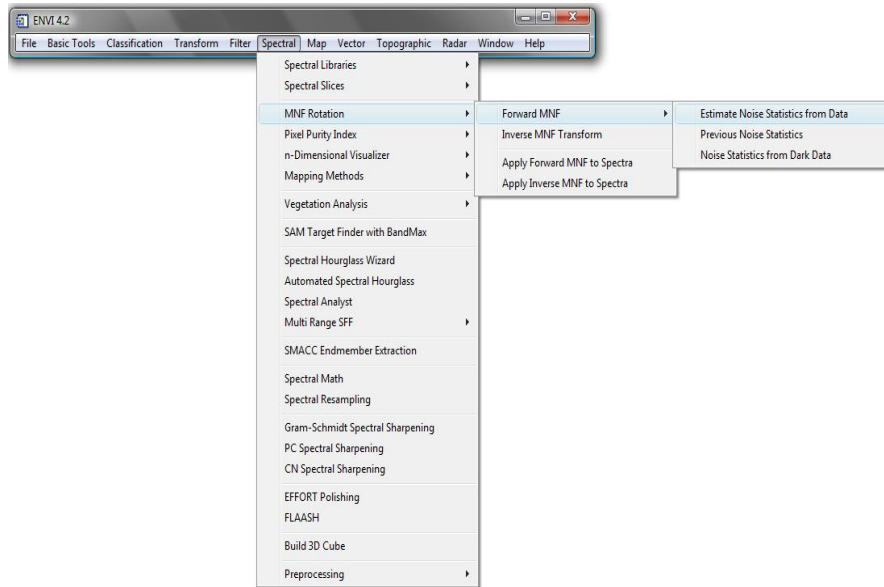


FIGURA N° 4. 54. Ventana del menú principal de ENVI 4.2 donde se despliega la subsiguiente pestaña y se selecciona “Estimate Noise Statistics from Data”.

2. Se despliega la ventana “*MNF Transform Input File*” donde se selecciona la imagen a la cual se le aplicó la corrección atmosférica *FLAASH*, que en este caso sería la “*reflectance*” y en el campo llamado “*Select Mask Band*” se coloca el archivo recién creado de la máscara para posteriormente seleccionar el botón “**OK**” (ver FIGURA 4.55);

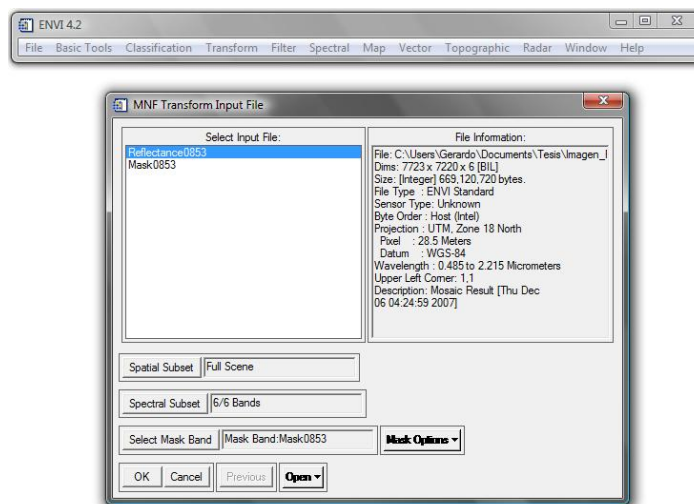


FIGURA N° 4. 55. Ventana “*MNF Transform Input File*” donde se llaman los archivos “*reflectance*” de la imagen y la máscara recién creada.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

3. A continuación se abre la ventana “**Forward MNF Transform Parameters**”, en donde los únicos datos que se modificarán son los correspondientes a los campos “**Output Noise Stats Filename[.sta]**”, “**Output MNF Stats Filename [.sta]**” y “**Enter Output Filename**” donde se colocan los nombres de salida de los archivos requeridos y su ubicación para posteriormente hacer click en “**OK**” (ver FIGURA 4.56)

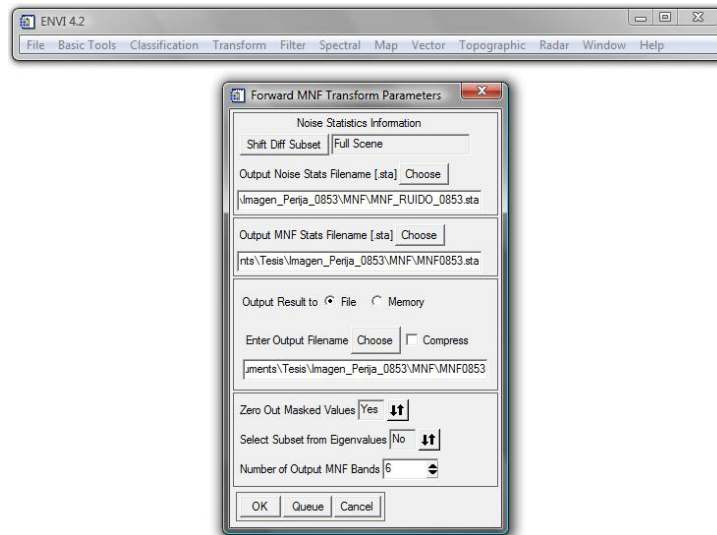


FIGURA N° 4. 56. Ventana “**Foward MNF Transform Parameters**” donde se colocan los datos de salida del archivo **MNF**.

4. Se inicia el proceso de transformación del archivo a **MNF**, mostrando la ventana “**MNF Eigenvalues**” al finalizar el proceso (ver FIGURA 4.57).

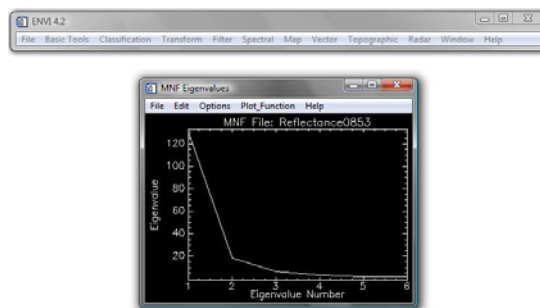


FIGURA N° 4. 57. Ventana “**MNF Eigenvalues**”, la cual muestra los autovalores **MNF** organizados en orden decreciente de la varianza una vez finalizado el proceso.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

4.2.3.4 Índice de Pureza del Pixel (PPI)

Luego de obtener el archivo *MNF* de la imagen, se realiza el proceso de Índice de Pureza del Pixel utilizando el *software ENVI*, mediante el siguiente procedimiento:

1. Seleccionar del menú principal del *ENVI 4.2* la función “*Spectral > Pixel Purity Index > [FAST] New Output Band*” (ver FIGURA 4.58);

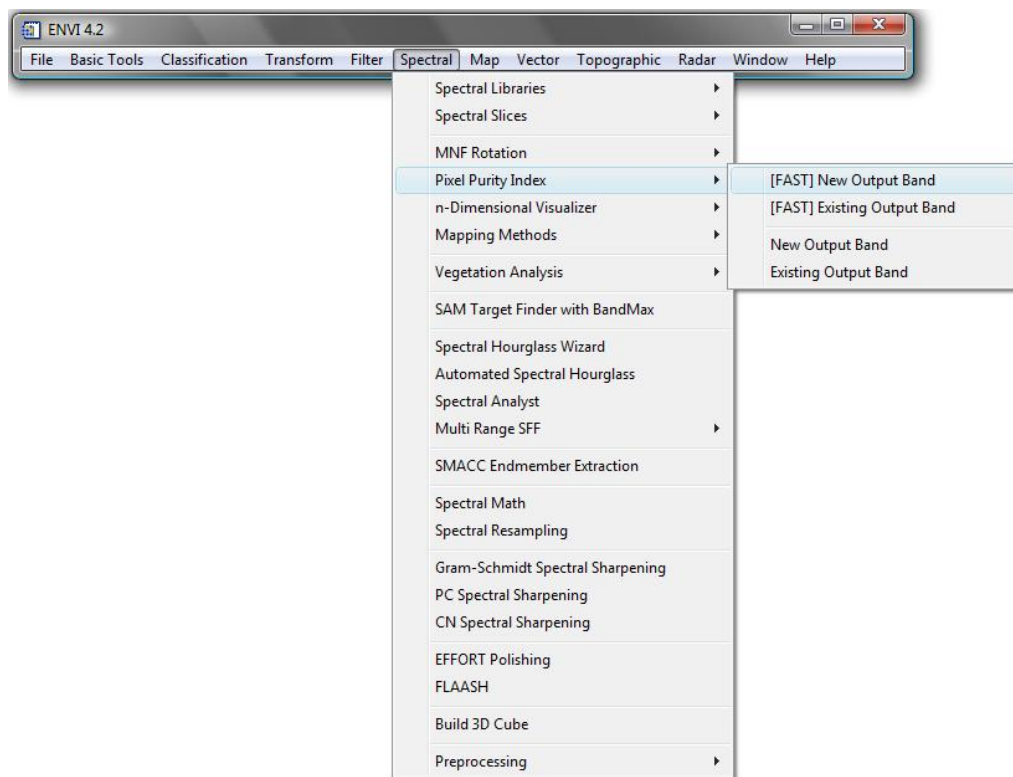


FIGURA N° 4. 58. Ventana del menú principal de *ENVI 4.2* donde se despliega la subsiguiente pestaña y se selecciona “*Estimate Noise Statistics from Data*”.

2. Se despliega la ventana “*Fast Pixel Purity Index Input Data File*” y en el campo “*Select Input File*” se selecciona el archivo *MNF* (ver FIGURA 4.59);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

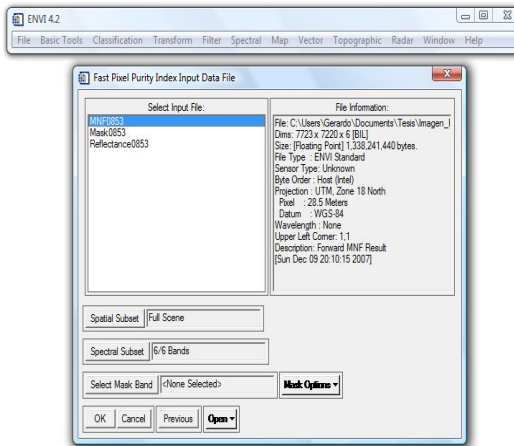


FIGURA N° 4.59. Ventana “Fast Pixel Purity Index Input Data File” donde se selecciona el archivo MNF.

3. Con la finalidad de realizar una *subset* a la imagen, en la misma ventana “Fast Pixel Purity Index Input Data File”, se activa el campo “Spatial Subset”, abriéndose la ventana “Select Spatial Subset”, donde se hace click en el botón “Image” y se despliega la ventana “Subset by Image” para que se pueda recortar el área a la cual se le aplicara el N. Una vez seleccionada el área de trabajo se hace click en “OK”, volviendo a la ventana “Select Spatial Subset”, donde no se hace ninguna otra modificación y se presiona el botón “OK” (ver FIGURA 4.60);

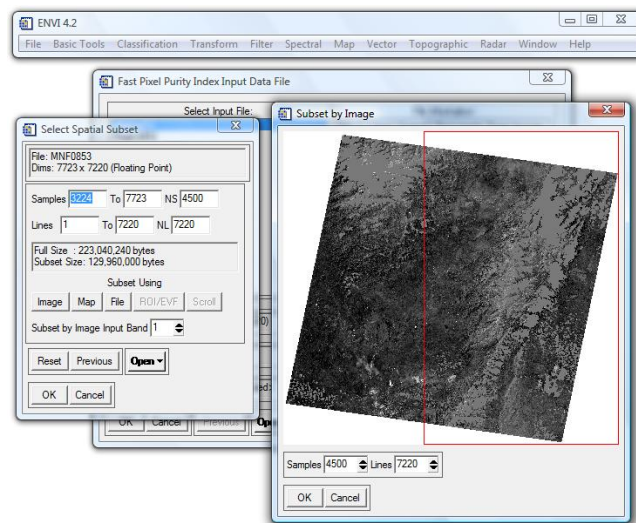


FIGURA N° 4.60. Ventana “Subset by Image” (derecha) que se abrió luego de seleccionar el botón “Image” en la ventana “Select Spatial Subset” (izquierda), la cual a su vez se activo en el campo “Spatial Subset” en la ventana “Fast Pixel Purity Index Input Data File”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Otra vez en la ventana **“Fast Pixel Purity Index Input Data File”** se pueden apreciar las variaciones en los rangos del **“Spatial Subset”** y se hace click en el botón **“OK”** (ver FIGURA 4.61);

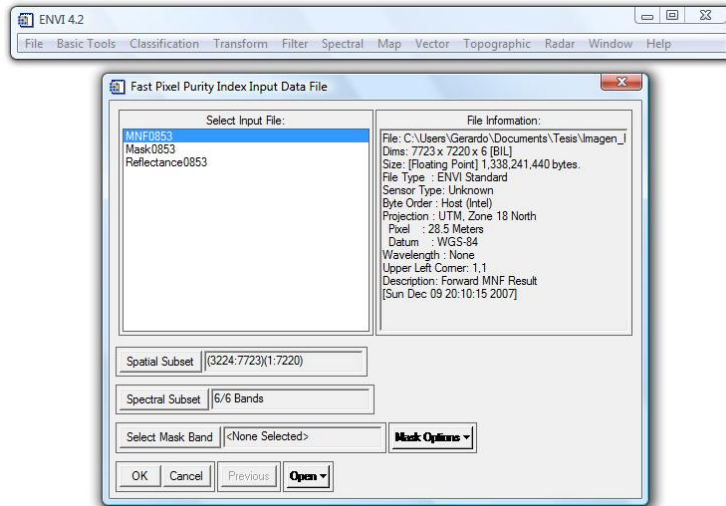


FIGURA N° 4. 61. Ventana **“Fast Pixel Purity Index Input Data File”** luego de aplicar el subset.

- Se abre la ventana **“Fast Pixel Purity Index Parameters”** donde se dejan los valores de los campos sin modificar y en **“Enter Output Filename”** se coloca el nombre de salida del archivo **PPI** y su ubicación para finalmente presionar el botón **“OK”** (ver FIGURA 4.62);

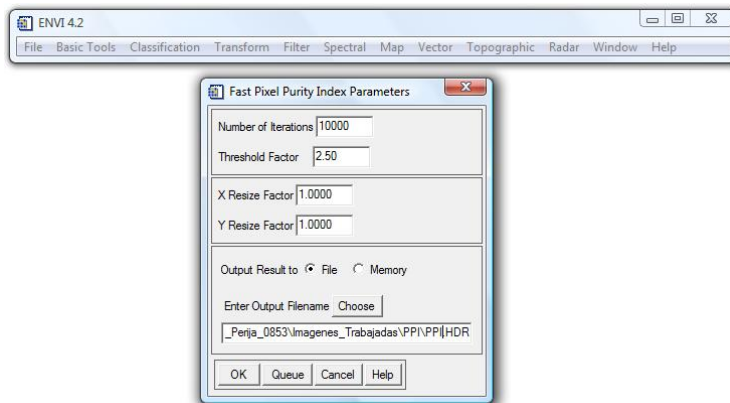


FIGURA N° 4. 62. Ventana **“Fast Pixel Purity Parameters”** donde se colocan los parámetros de salida del archivo **PPI**.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

6. Se inicia el proceso, mostrando la ventana “*Pixel Purity Index Plot*” al finalizar el proceso (ver FIGURA 4.63).

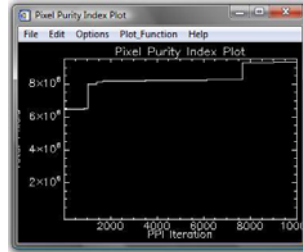


FIGURA N° 4. 63. Ventana “*Pixel Purity Parameters Plot*” una vez terminado el proceso del *PPI*.

4.2.3.5 Distribución en rangos de los *PPI* seleccionados y su cantidad en pixeles

Posterior al proceso de *PPI* se realiza la distribución de los rangos y su cantidad de pixeles mediante la utilización del *software ENVI*, siguiendo los pasos que se describen a continuación:

1. Generado el *PPI* de la imagen, se abre en el menú de este archivo la función “*Overlay > Density Slice*” (ver FIGURA 4.64);

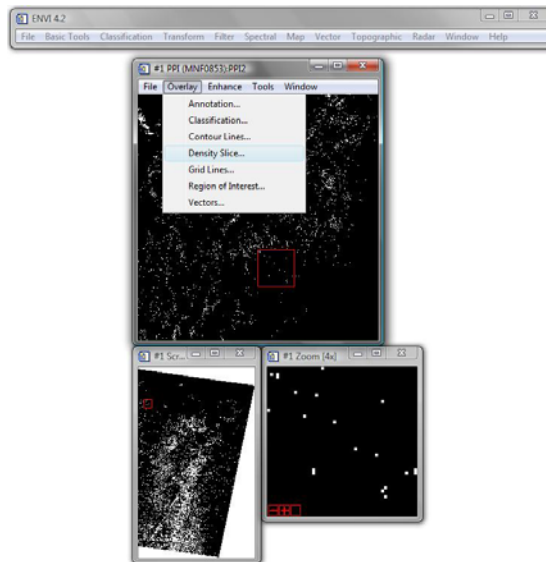


FIGURA N° 4. 64. Menú de la imagen *PPI* donde se despliega la pestaña y se selecciona la función “*Density Slice*”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Se despliega la ventana “*Density Slice Band Choise*” donde se selecciona el archivo *PPI* para luego hacer click en “*OK*” (ver FIGURA 4.65);

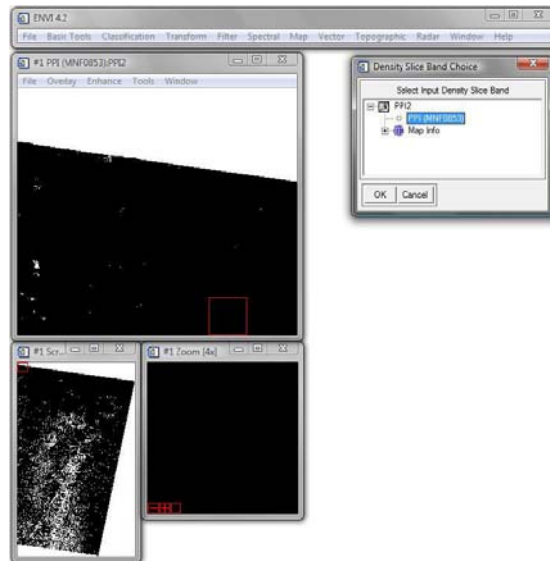


FIGURA N° 4. 65. Ventana “*Density Slice Band Choise*” donde se selecciona el archivo *PPI*.

- Se abre la ventana “*#1 Density Slice*” donde se selecciona el último de los rangos en la sección “*Defined Density Slice Ranges*” y se hace click en el botón “*Apply*” (ver FIGURA 4.66);

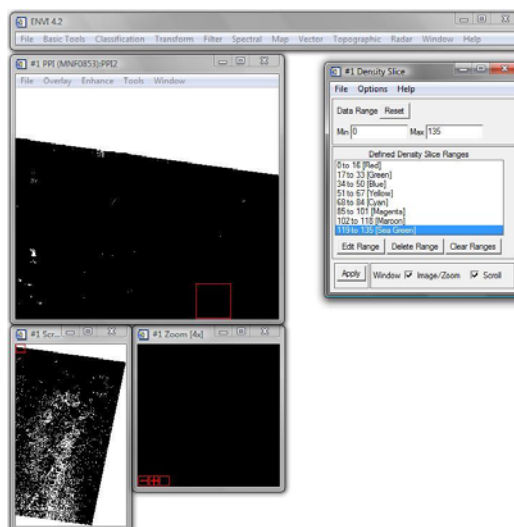


FIGURA N° 4. 66. Ventana “*Density Slice*”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

4.2.3.6 Convertir los *PPI* en *ROI*

Luego de generado el archivo *PPI*, es necesario transformarlo a formato *ROI* para lo cual se sigue el procedimiento que se describe a continuación:

1. Primero se debe de abrir el archivo de la imagen *PPI* y en el menú de este abrir “*Tools > Region Of Interest > Band Threshold to ROI...*” (ver FIGURA 4.67);

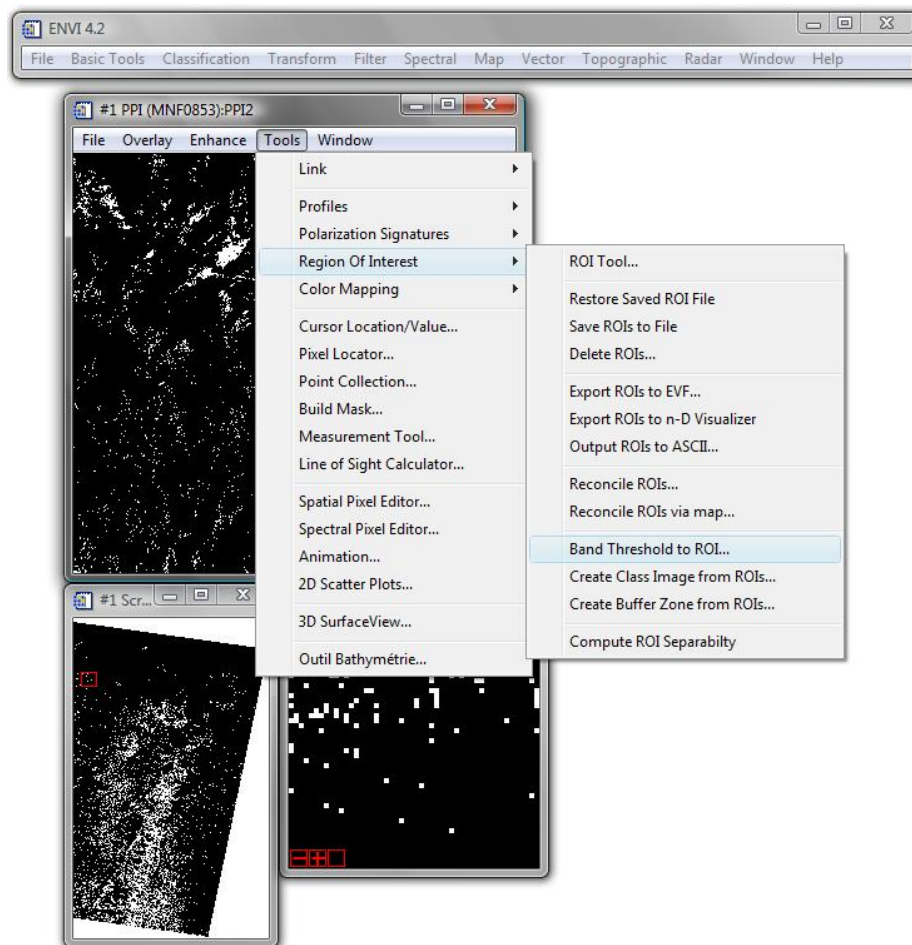


FIGURA N° 4. 67. Menú de la ventana de la imagen *PPI* donde se selecciona la función “*Band Threshold to ROIs...*”.

2. Se despliega la ventana “*Band Threshold to ROI Input Band*” donde se selecciona el archivo *PPI* y se hace click en “*OK*” (ver FIGURA 4.68);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

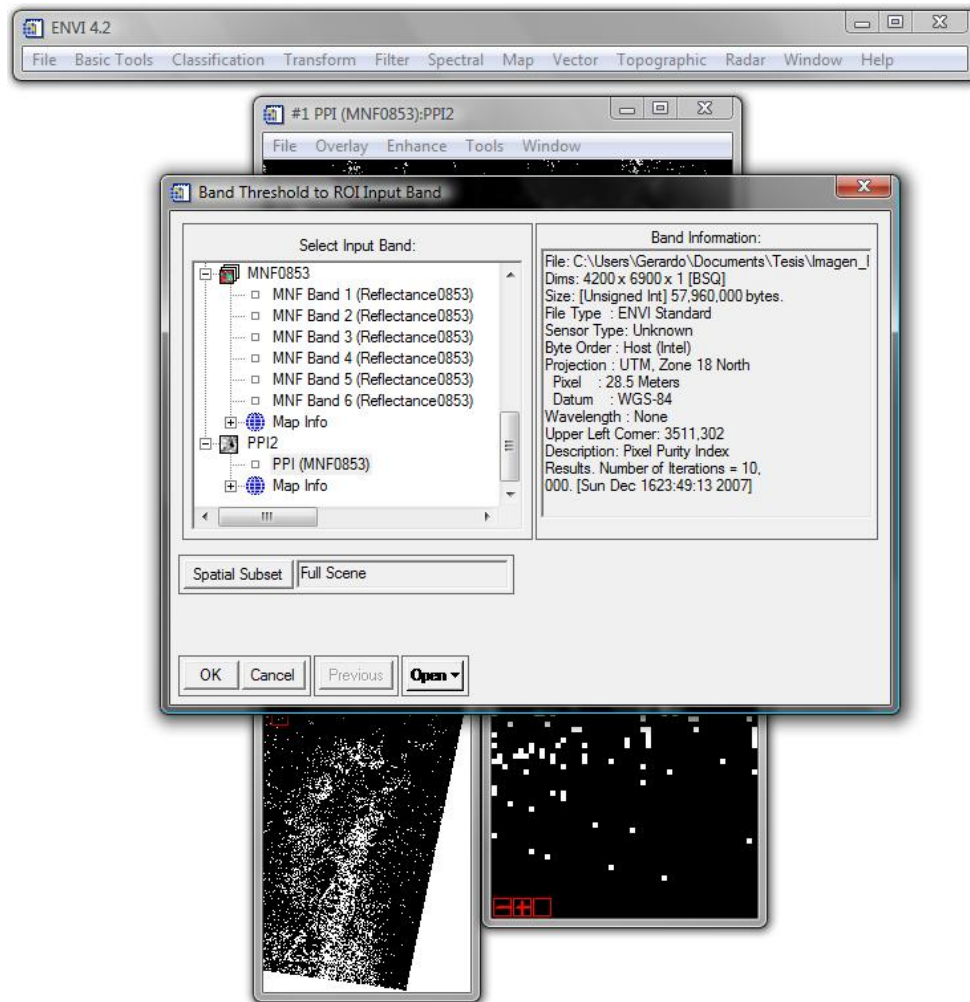


FIGURA N° 4. 68. Ventana “*Band Threshold to ROIs Input Band*”.

3. Aparece la ventana “*Band Threshold to ROI Parmeters*” donde es necesario colocar los valores mínimos y máximos de tolerancia en los respectivos campos, dejando los demás campos de la misma manera (ver FIGURA 4.69);

En nuestro caso esos valores fueron:

“*Min Thresh Value*”: 27

“*Max Thresh Value*”: 131

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

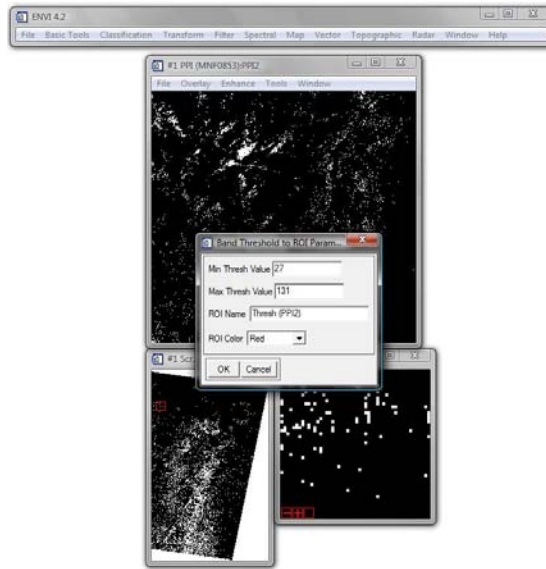


FIGURA N° 4. 69. Ventana “Band Threshold to ROIs Parameters” donde se colocan los valores mínimos y máximos.

4. Cada vez que se coloquen nuevos valores se hace click al botón “OK” y se abrirá una ventana llamada “ENVI Question”. Es importante resaltar, que si los valores de tolerancia no están alrededor de 10000 puntos, es necesario seguir colocando valores hasta que el número se aproxime a la cifra mencionada anteriormente. Si el valor es el adecuado será en ese momento cuando se hará click a “SI” en la ventana “ENVI Question” (ver FIGURA 4.70);

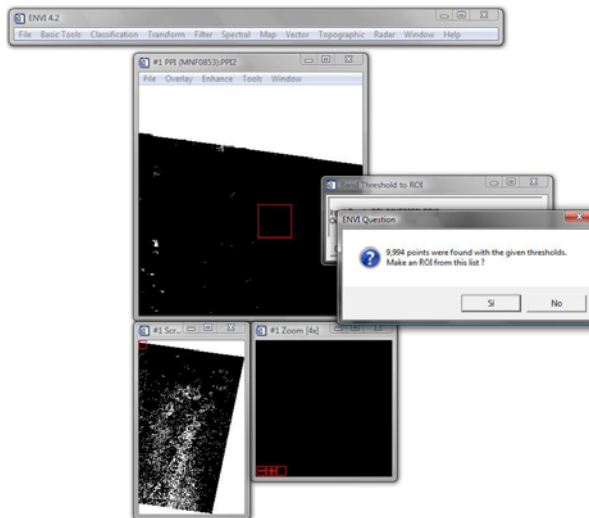


FIGURA N° 4. 70. Ventana “ENVI Question”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

5. A continuación de aceptar el valor, se abre la ventana “#1 ROI Tool”. En esta ventana tiene que estar seleccionado el icono “Off” y el “Thresh (ppi)” (ver FIGURA 4.71);

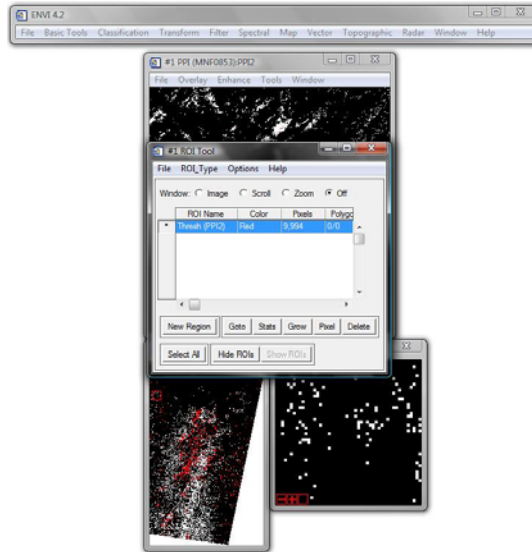


FIGURA N° 4. 71. Ventana “#1 ROI Tool” con el archivo “Thresh (PPI)” seleccionado.

6. En el menú de la ventana “#1 ROI Tool” abrir “File > Save ROIs” (ver FIGURA 4.72);

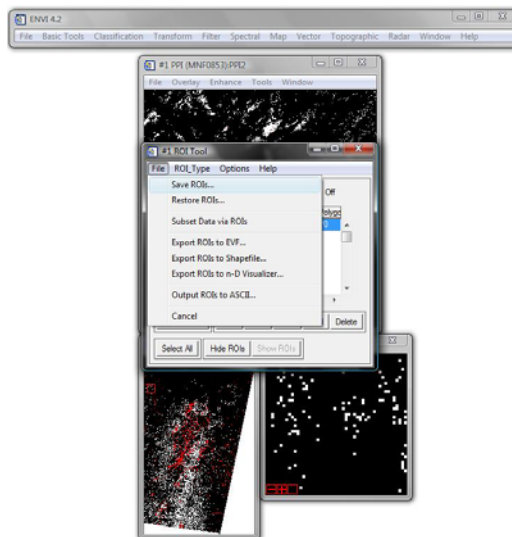


FIGURA N° 4. 72. Menú de la ventana “#1 ROI Tool” donde se selecciona la opción “Save ROIs..”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Se abre la ventana “*Save ROIs to File*” donde se selecciona el archivo “*Thresh (PPI)*” y en el “*Enter Output Filename*” se coloca el nombre de salida del archivo en **.roi** con su respectiva ubicación (ver FIGURA 4.73).

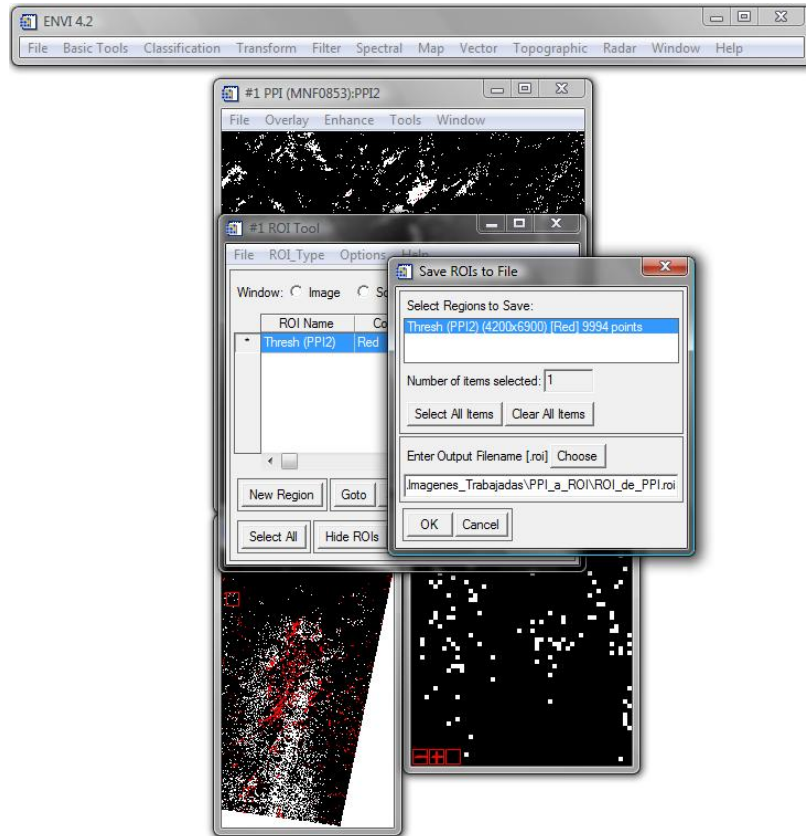


FIGURA N° 4. 73. Ventana “*Save ROIs to File*”.

4.2.3.6 Visualizador *N-Dimensional*

Luego de transformado el archivo *PPI* a *ROI*, se procede a exportar la imagen al *n-D Visualizer* utilizando el *software ENVI* siguiendo los pasos que se describen a continuación:

- Con la imagen *PPI* abierta, se vuelve a la ventana “*#1 ROI Tool*” y en su menú se abre “*File > Export ROIs to n-D Visualizer..*” (ver FIGURA 4.74);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

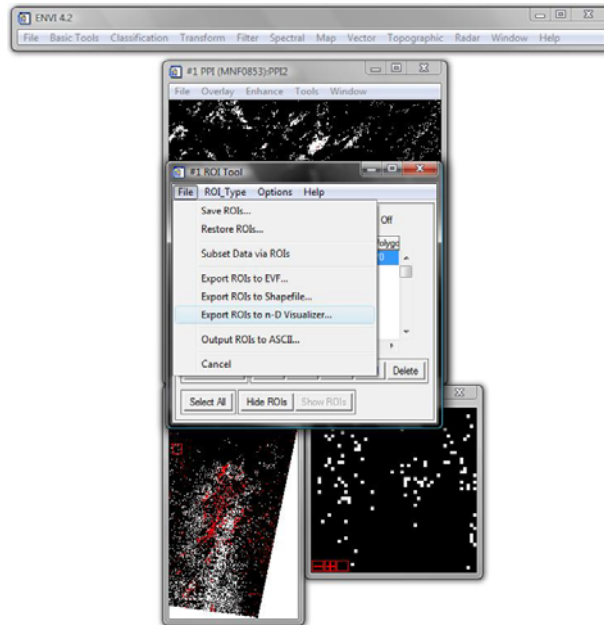


FIGURA N° 4. 74. Menú de la ventana “#1 ROI Tool” donde se selecciona la opción “Export ROIs to n-D Visualizar...”.

2. Se despliega la ventana “*Select Input Data File*” donde se selecciona el archivo *MNF* con la misma área de trabajo que el archivo *PPI* y se hace click en “OK” (ver FIGURA 4.75);

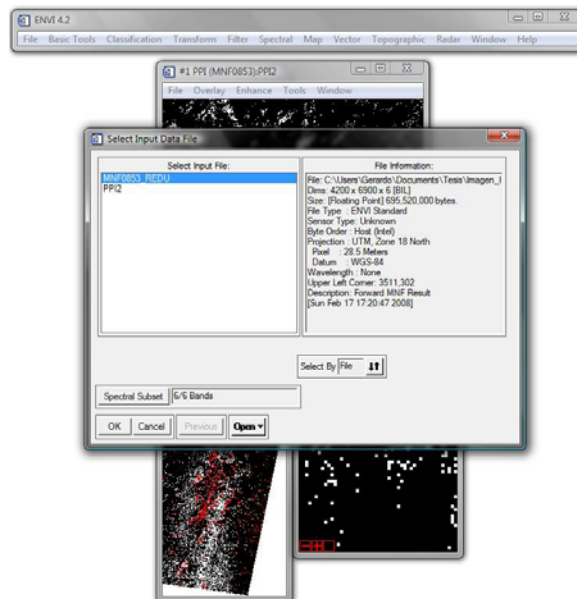


FIGURA N° 4. 75. Ventana “*Select Input Data File*” donde se selecciona el archivo *MNF*.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Se abre la ventana “**n-D Visualizer Input ROIs**” seleccionando el “**Thresh (PPI)**” en el “**Select Input ROIs**” y se hace click en “**OK**” (ver FIGURA 4.76);

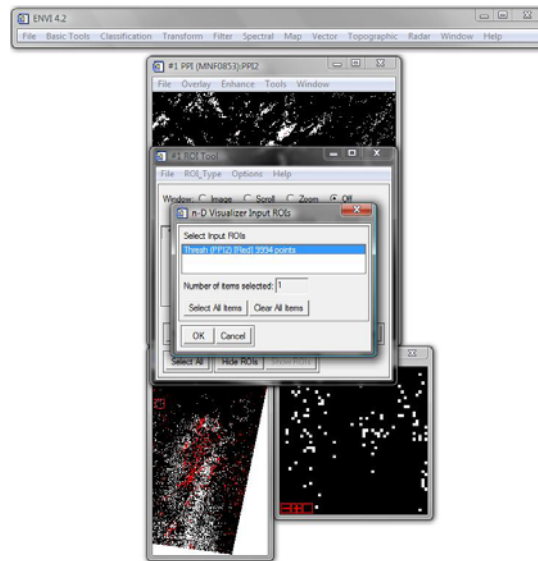


FIGURA N° 4. 76. Ventana “**n-D Visualizer Input ROIs**” con el archivo “**Thresh (PPI)**” seleccionado.

- Se despliegan dos ventanas, la “**n-D Visualizer**” (izquierda) y la “**n-D Controls**” (derecha) (ver FIGURA 4.77);

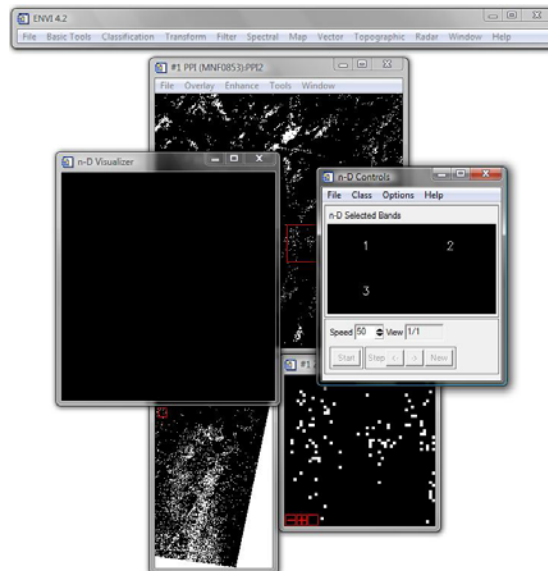


FIGURA N° 4. 77. Ventanas “**n-D Visualizer**” (Izquierda) y “**n-D Controls**” (Derecha).

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- En la ventana “**n-D Controls**” se seleccionan tres bandas con las cuales se va a trabajar, cada una de ellas representando un eje (ver FIGURA 4.78);

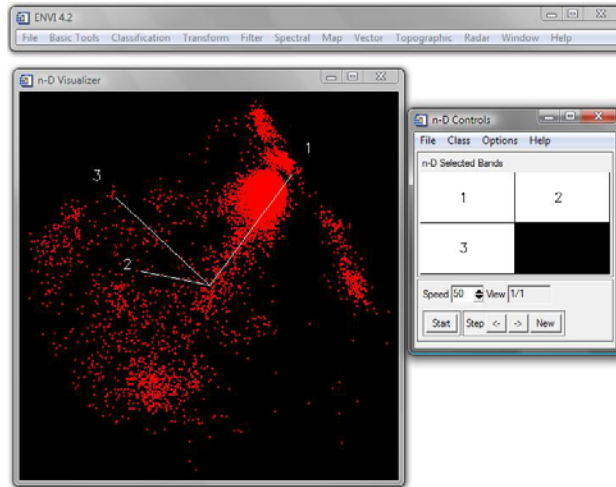


FIGURA N° 4. 78. Ventanas “**n-D Visualizer**” donde se aprecian los tres ejes con los puntos (Izquierda) y “**n-D Controls**” (Derecha) con las tres bandas seleccionadas, las cuales representan los ejes.

- En el menú de la ventana “**n-D Controls**” se selecciona la función “**Options > Show Axes**” para agrupar en clases los puntos que se consideren extremos dentro de la constelación de puntos (ver FIGURA 4.79);

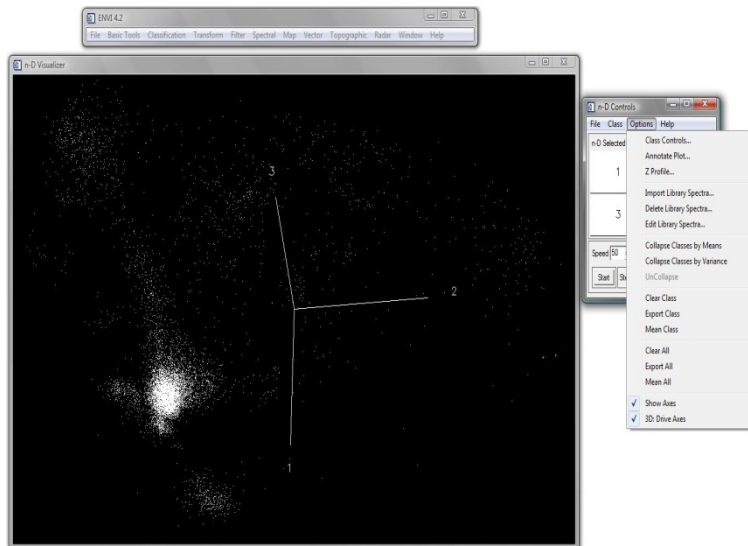


FIGURA N° 4. 79. Ventanas “**n-D Visualizer**” (Izquierda) y “**n-D Controls**” (Derecha) con su menú desplegado y la función “**Show Axes**” seleccionada.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- En el menú de la ventana “**n-D Controls**” se abre “**Class > Items 1:20 > Blue** (Color que se le asigna a la nueva clase)” para crear una la nueva clase, a la cual se le asigna un color (ver FIGURA 4.80). Ubicándose sobre la imagen, esta se va rotando y a medida que se va determinando de manera individual o grupal los puntos extremos, este(os) se encierran haciendo un polígono que los contenga, el cual se cierra haciendo click al botón derecho del mouse. Este paso se repite hasta que se considere se tomen en cuenta y se agrupen todos los puntos extremos (ver FIGURA 4.81);

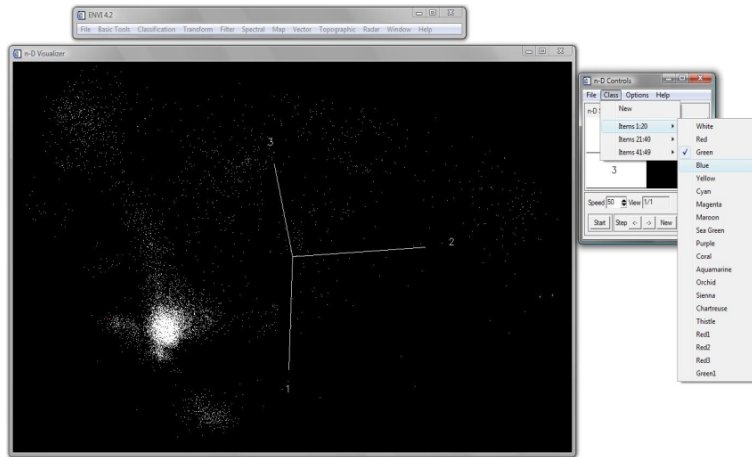


FIGURA N° 4. 80. Ventanas “**n-D Visualizer**” (Izquierda) y “**n-D Controls**” (Derecha) con su menú desplegado y el color que se le asigna a la nueva clase seleccionado.

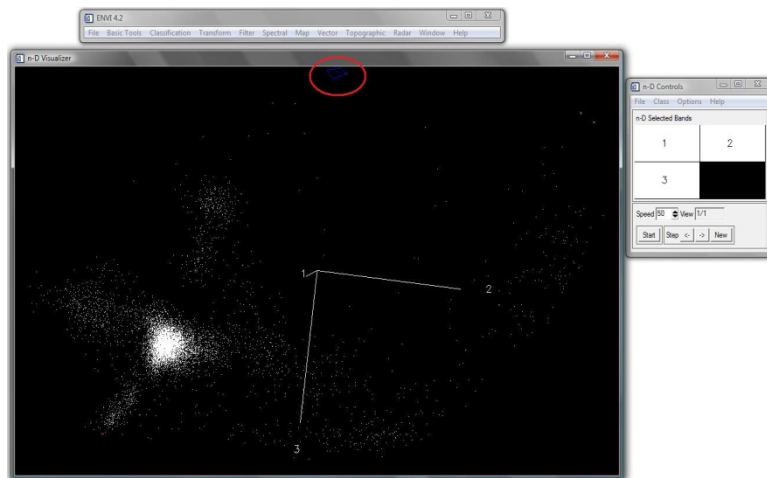


FIGURA N° 4. 81. Ventanas “**n-D Visualizer**” (Izquierda) donde se puede apreciar el punto encerrado en el polígono azul (este único punto forma una clase a la cual se le asigno el color azul) y la ventana “**n-D Controls**” (Derecha).

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

8. Una vez determinadas todas las clases que se consideren estén presentes en la constelación de puntos, se procede a exportarlas, para ello se abre “*Options* > *Export All*” del menú principal de la ventana “*n-D Controls*”. Las clases quedan claramente diferenciadas según el color que se le asigno (ver FIGURA 4.82);

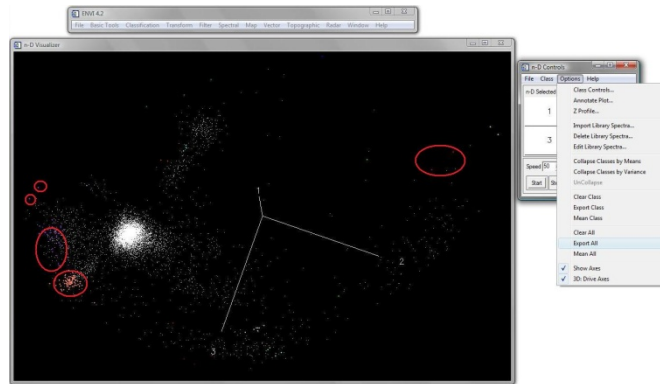


FIGURA N° 4. 82. A la izquierda la ventana “*n-D Visualizer*”, donde se observan encerradas en círculos rojos algunas de las clases identificadas y a la derecha el menú de la ventana “*n-D Controls*” desplegado en la función “*Options*” con “*Export All*” seleccionada.

9. Se despliega la ventana “*#1 ROI Tool*” donde se muestran todas las clases determinadas junto con sus características. En este momento es posible eliminar alguna de las clases que se considere que por sus valores es incongruente para luego seleccionar las restantes y presionar la opción “*Hide ROIs*”, revisando que la opción de “*Window*” seleccionada sea “*Off*” (ver FIGURA 4.83);

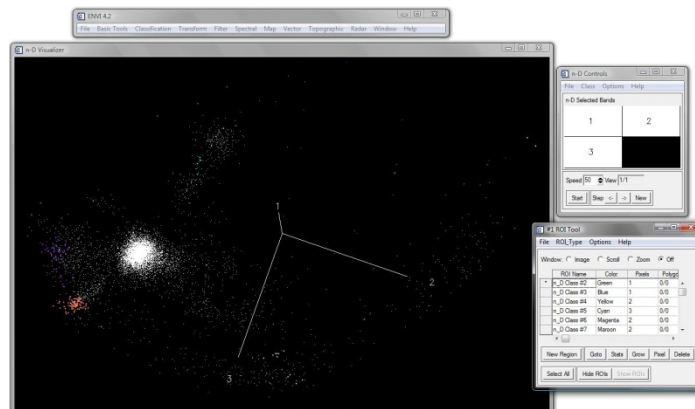


FIGURA N° 4. 83. Ventanas “*n-D Visualizer*” (Izquierda), “*n-D Controls*” (Derecha) y “*#1 ROI Tool*” (abajo a la derecha) donde se muestran las distintas clases reconocidas.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

10. En el menú de la ventana “#1 ROI Tool” se abre “File > Save ROIs...” (ver FIGURA 4.84);

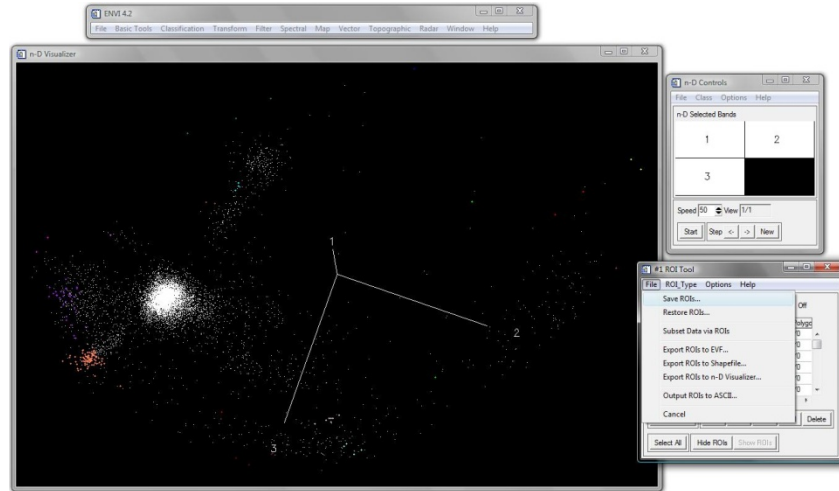


FIGURA N° 4.84. Ventanas “n-D Visualizer” (Izquierda), “n-D Controls” (Derecha) y “#1 ROI Tool” (Abajo a la derecha), la cual muestra su menú desplegado con la opción “Save ROIs” seleccionada.

11. Se despliega la ventana “Save ROIs to File”, en la cual se muestran y se seleccionan todas las clases a exportar, colocando en el “Enter Output” el nombre de salida y ubicación del nuevo archivo (ver FIGURA 4.85);

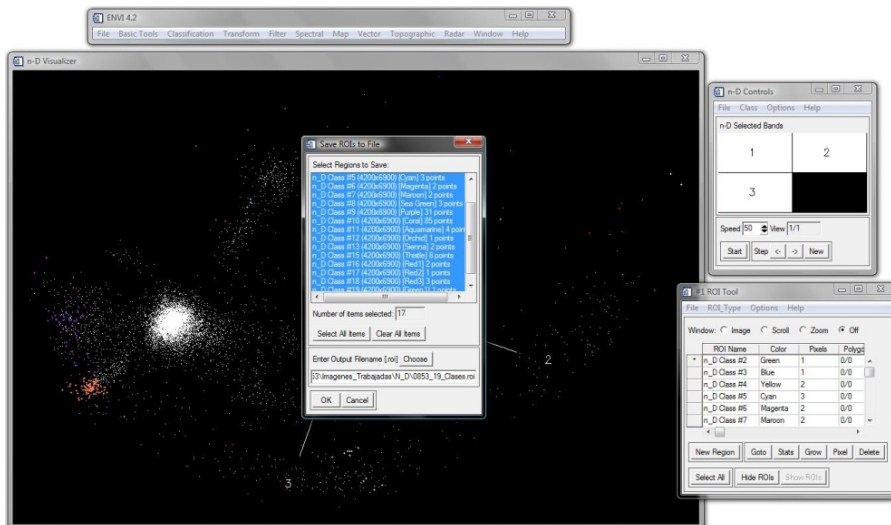


FIGURA N° 4.85. Ventanas “n-D Visualizer” (Izquierda), “n-D Controls” (Derecha), “#1 ROI Tool” (Abajo a la derecha) y “Save ROIs to File” (Centro), la cual muestra las clases seleccionadas para exportar y el nombre y ubicación del nuevo archivo.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

4.2.3.7 Spectral Angle Mapper

Una vez realizado el “n-D Visualaizer” se procede a aplicar el proceso de “Spectral Angle Mapper” a la imagen, para lo cual se utilizará el Software ENVI siguiendo la metodología que se explica a continuación.

1. Seleccionar del menú principal del ENVI 4.2 la función “Spectral > Mapping Methods > Spectral Angle Mapper”, manteniendo la ventana del “n-D Visualaizer” abierta (ver FIGURA 4.86);

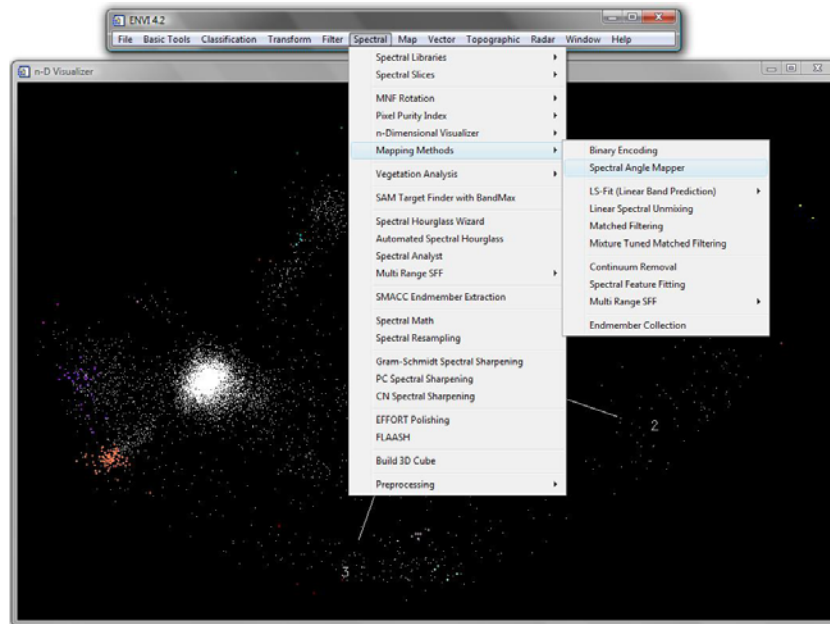


FIGURA N° 4. 86. Ventana del menú principal de ENVI 4.2 donde se despliega la subsiguiente pestaña y se selecciona “Estimate Noise Statistics from Data”.

2. Automáticamente se abre la ventana “Classification Input File” donde se selecciona el archivo MNF y se activa el campo de “Spectral Subset” con lo que se despliega la ventana “File Spectral Subset” para seleccionar las tres (3) primeras bandas de la imagen. Posteriormente que se tengan las bandas seleccionadas se hace click en “OK” y se vuelve a la ventana “Classification Input File” donde se presiona el botón de “OK” (ver FIGURA 4.87);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

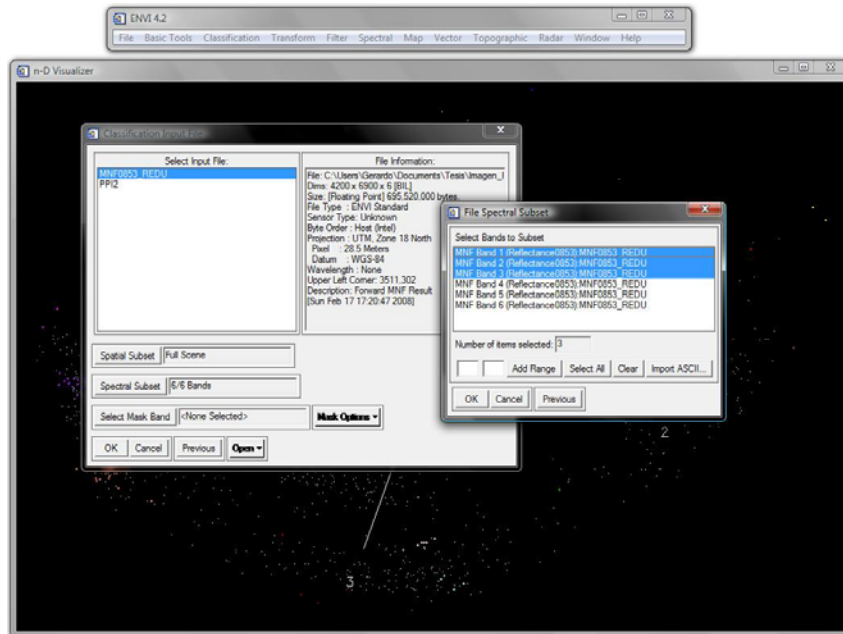


FIGURA N° 4. 87. Ventanas “*Classification Input File*” y “*File Spectral Subset*” que se despliegan para abrir la imagen MNF.

3. Se despliega la ventana “*Endmember Collection SAM..*” y en su menú se abre la función “*Import > from ROI/EVF from input file...*” (ver FIGURA 4.88);

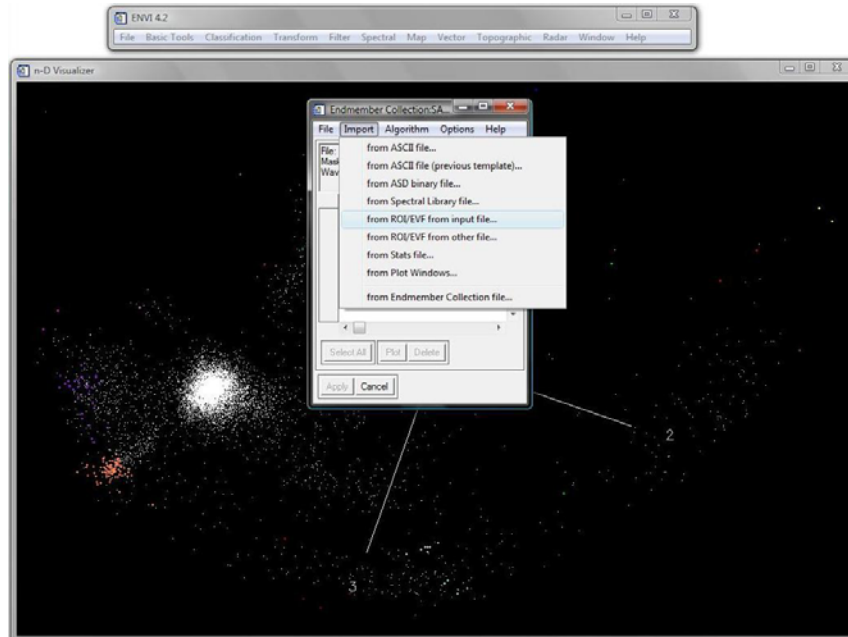


FIGURA N° 4. 88. Ventana “*Endmember Collections SAM*” con su menú desplegado y en el cual se selecciona la opción “*from ROI/EVF from input file...*”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Seguidamente se abre la ventana **“Select Regions for Stats Calculation”** en donde se proceden a seleccionar todas las clases identificadas en el **n-D Visualaizer** y se hace click en el botón **“OK”** (ver FIGURA 4.89);

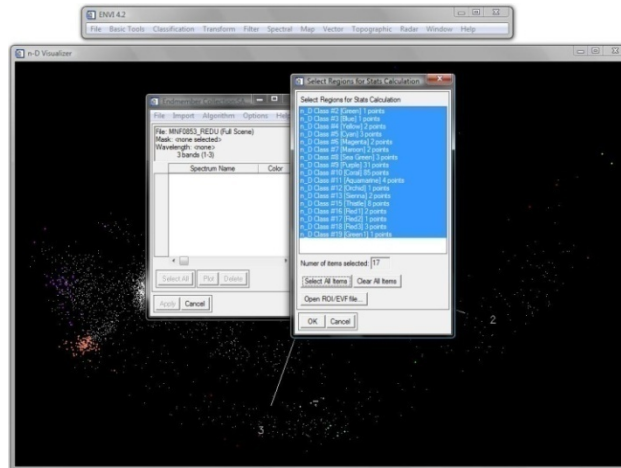


FIGURA N° 4. 89. Ventana **“Select Regions for Stats Calculation”** donde se pueden observar seleccionadas las clases que se determinaron en el **“n-D Visualaizer”**.

- Todas las clases seleccionadas quedan cargadas en la ventana **“Endmember Collection SAM...”**, donde se procede a seleccionar una de las clases y luego hacer click en el botón **“Apply”** (este proceso se repite con todas las clases) (ver FIGURA 4.90);

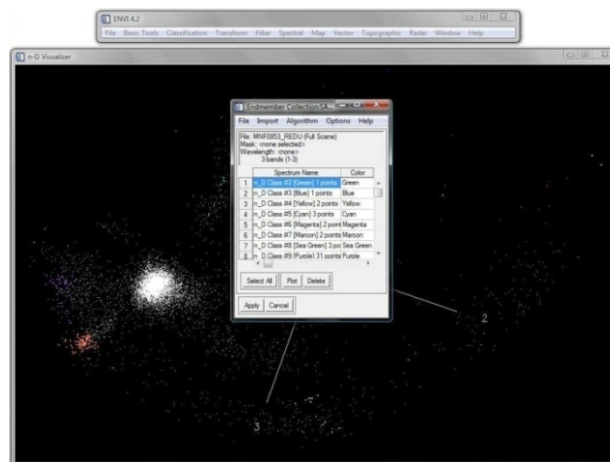


FIGURA N° 4. 90. Ventana **“Endmember Collection SAM”** donde se van seleccionando las clases identificadas en el **“n-D Visualaizer”**.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Posteriormente se abre la ventana **“Spectral Angle Mapper Parameters”** en donde hay que asegurarse que los datos de salida estén como se muestra en la gráfica de abajo (ver Fig.4.76). En los campos **“Enter Output Filename”** y **“Enter Output Rule Filename”** se coloca el nombre de salida y ubicación del nuevo archivo. Del lado derecho de esta ventana se encuentra un recuadro donde se aprecia la ubicación espacial de los puntos de la clase (una a una a medida que se vayan seleccionando en el paso anterior) dentro de la imagen, lo que va ayudar a determinar la verdadera existencia de la misma (ver FIGURA 4.91);

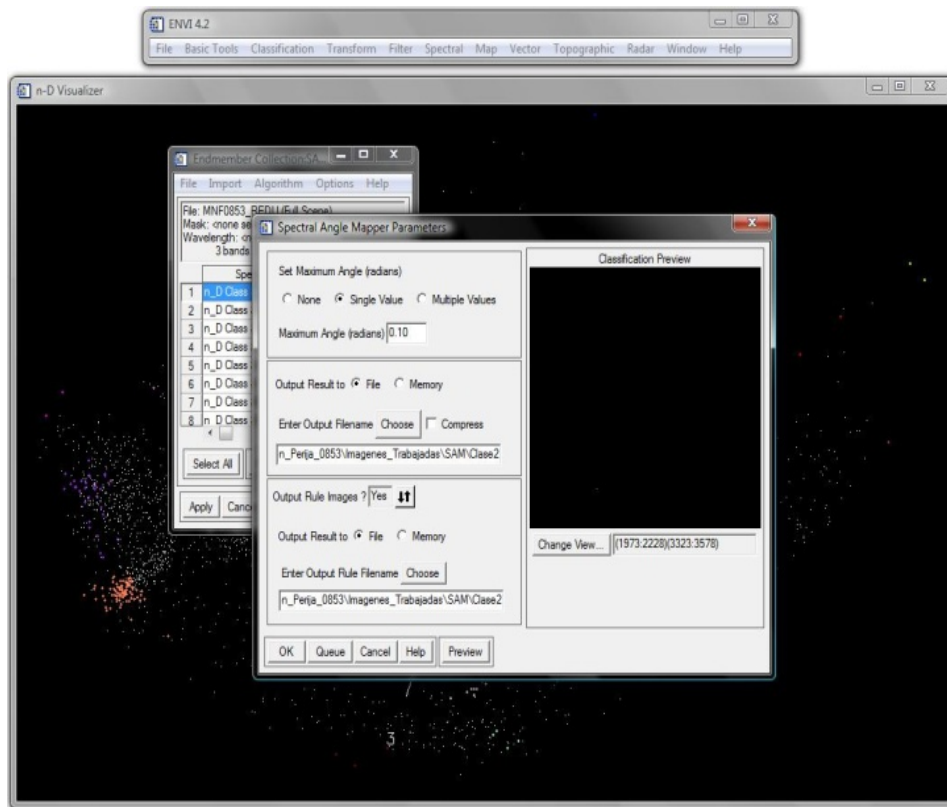


FIGURA N° 4. 91. Ventana **“Endemember Collection SAM”** donde se van seleccionando las clases identificadas en el **“n-D Visualaizer”**.

- Cuando se han introducido todos los parámetros de manera correcta dentro de la ventana **“Spectral Angle Mapper Parameters”** se hace click en el botón **“OK”** para correr el proceso y se guarda el archivo (ver FIGURA 4.92);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

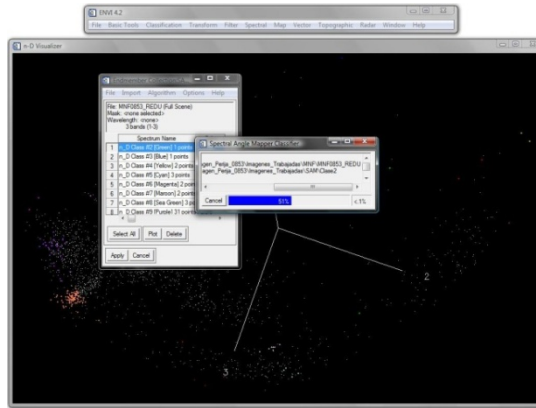


FIGURA N° 4.92. Ventana “Endmember Collection SAM” donde se van seleccionando las clases identificadas en el “n-D Visualizer”.

4.2.3.8 Generación del Modelo Digital de Elevación (MDE)(en inglés DEM)

El Modelo Digital de Elevación es una herramienta muy útil para visualizar la zona de estudio pues permite apreciar la perspectiva 3D de la imagen.

El MDE se lleva realiza con la utilización del *software ENVI 4.2* siguiendo el procedimiento que se sigue a continuación:

1. Seleccionar del menú principal del ENVI 4.2 la función “*File > Open Image File*” (ver Fig.4.93);

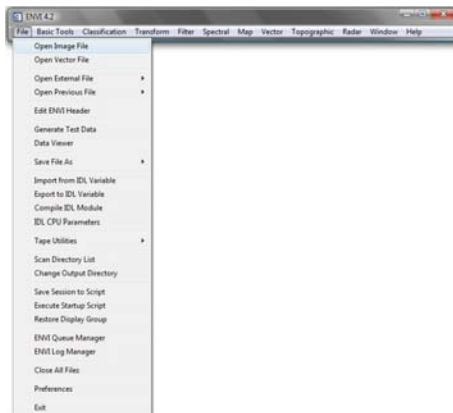


FIGURA N° 4.93. Ventana del menú principal de ENVI 4.2 donde se despliega la subsiguiente pestaña y se selecciona “Open Image File”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

2. Abrir el archivo que contiene la imagen corregida atmosféricamente (*reflectance*) (ver FIGURA 4.94);

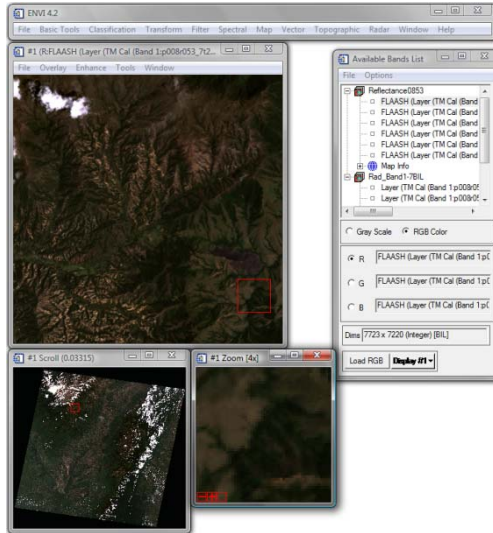


FIGURA N° 4.94. Ventanas que se despliegan al abrir la imagen “*Reflectance*”.

3. Del menú principal de *ENVI 4.2* seleccionar “*Topographic > 3D SurfaceView*” (ver FIGURA N° 4.95);

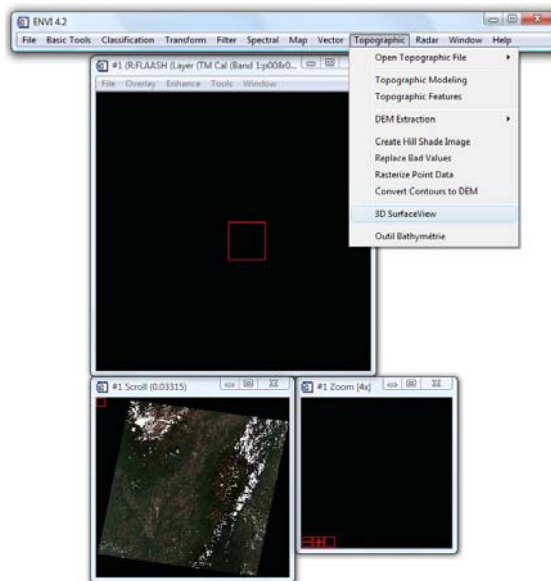


FIGURA N° 4.95. Ventana del *ENVI 4.2* con la pestaña de la función “*Topographic*” desplegada y seleccionada “*3D SurfaceView*”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Se despliega la ventana “*Associated DEM Input File*” donde se selecciona una de las bandas de la imagen *reflectance* y posteriormente se hace click al botón “**OK**” (ver FIGURA 4.96);

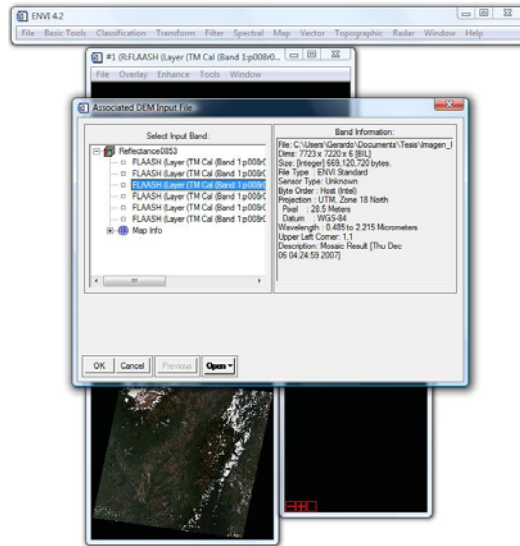


FIGURA N° 4. 96. Ventana “*Associated DEM Input File*” con la banda Tres (3) de la imagen *reflectance* seleccionada.

- Se despliega la ventana “*3D SurfaceView Input Parameters*” donde se hace click en “*Spatial Subset*” (ver FIGURA N° 4.97);

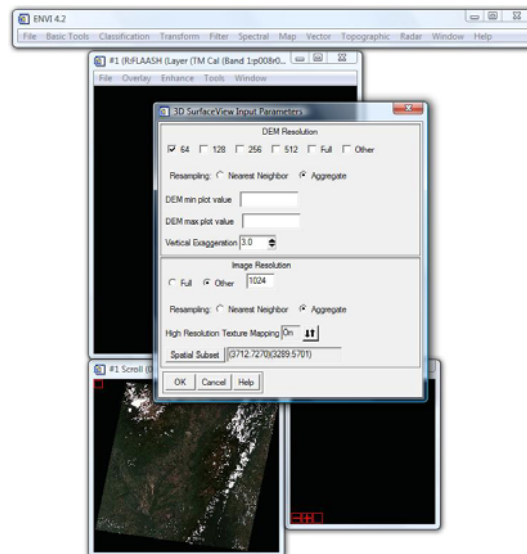


FIGURA N° 4. 97. Ventana “*3D SurfaceView Input Parameters*” donde se hace click en “*Spatial Subset*”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Se abre la ventana **“Select Spatial Subset”** y en esta se hace click en **“Image”** (ver FIGURA 4.98);

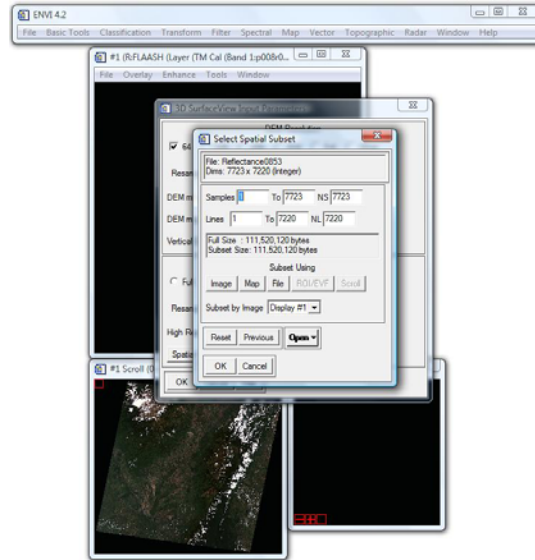


FIGURA N° 4. 98. Ventana **“Select Spatial Subset”** donde se selecciona **“Image”**.

- Se despliega la ventana **“Subset by Image”** donde se selecciona la porción de la imagen a la cual se le aplicara el modelaje 3D (ver FIGURA 4.99);

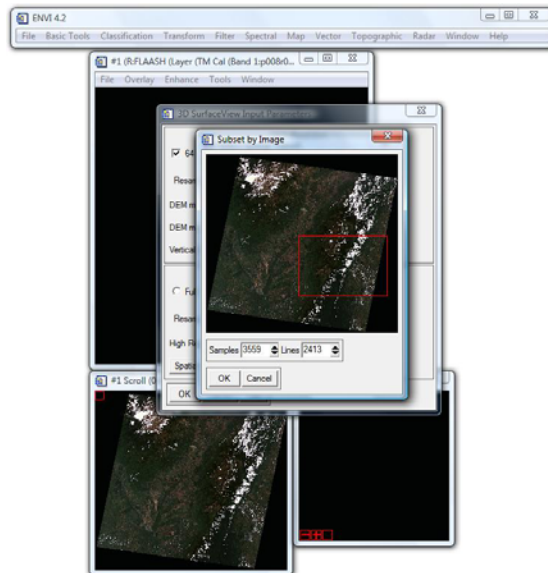


FIGURA N° 4. 99. Ventana **“Subset by Image”** donde se observa encerrado en un cuadro rojo el área a la cual se aplicara em MDE.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Se vuelve abrir la ventana **“Select Spatial Subset”** con los datos de la nueva área. Una vez verificados que estén cargados esos nuevos datos se hace click en **“OK”** (ver FIGURA N° 4.100);

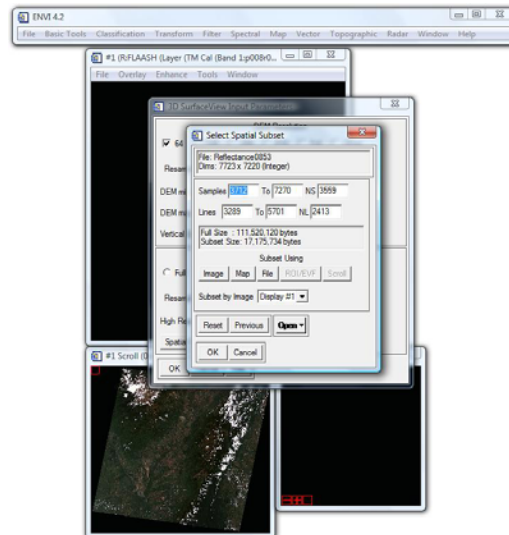


FIGURA N° 4. 100. Ventana **“Select Spatial Subset”** con los nuevo valores del área.

- Se despliega la ventana **“3D SurfaceView Input Parameters”** donde se hace click en **“OK”** para dar inicio al proceso (ver FIGURA N° 4.101);

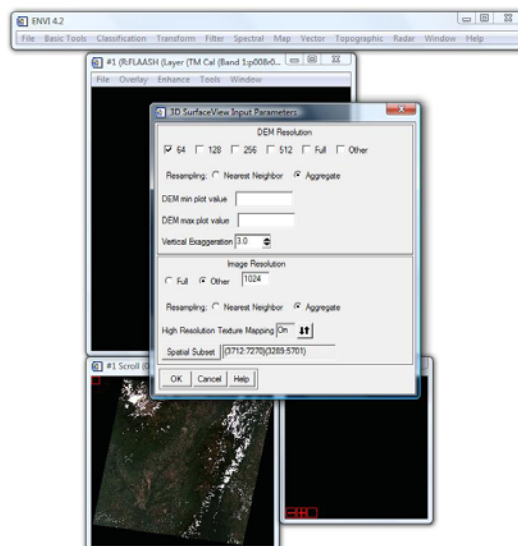


FIGURA N° 4. 101. Ventana **“3D SurfaceView Input Parameters”** donde se hace click en **“Spatial Subset”**.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

10. Se despliega la ventana “**3D SurfaceView**” que muestra el área de la imagen luego de aplicado el MDE (ver FIGURA N° 4.102);

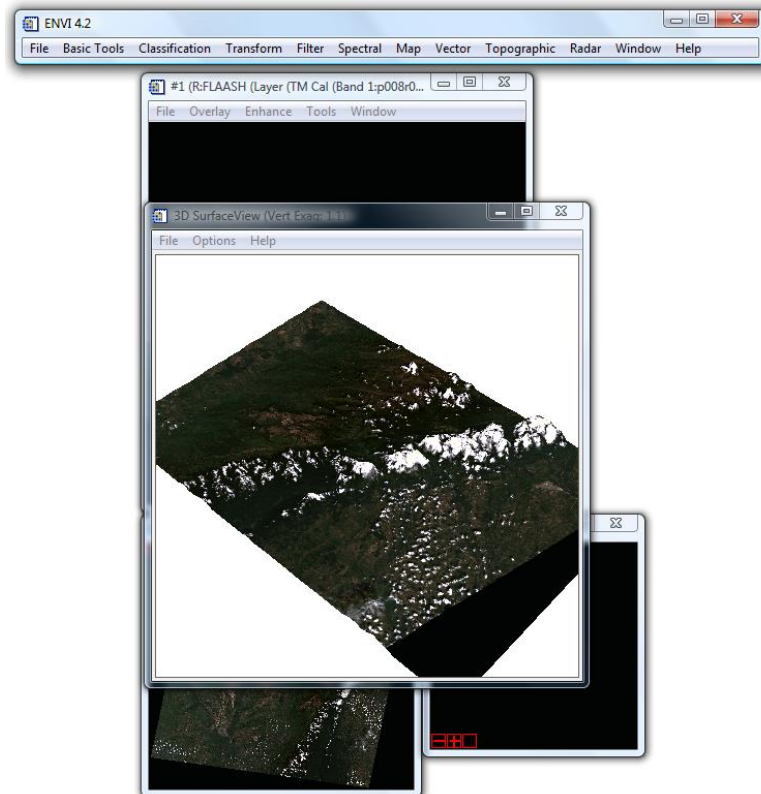


FIGURA N° 4. 102. Ventana “3D SurfaceView” que muestra el resultado del MDE.

4.2.4 Transformación de imágenes a formato .img para su procesamiento en el *Software ERDAS Imagine*

Hasta el momento todos los procesos realizados se han llevado a cabo en el *software ENVI 4.2*, por lo que los archivos generados tienen un formato de salida no compatible para ser trabajados en el *software ERDAS Imagine*, es así que, se hace necesario transformar el formato de los archivos a utilizar a un formato **.img**.

La transformación de los archivos a **.img** se realiza utilizando el *software ENVI* y siguiendo los pasos que se describen a continuación.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

1. Seleccionar del menú principal del *ENVI 4.2* la función “*File > Open Image File*” (ver FIGURA 4.103) y abrir el archivo de la imagen corregida atmosféricamente (ver FIGURA 4.104);

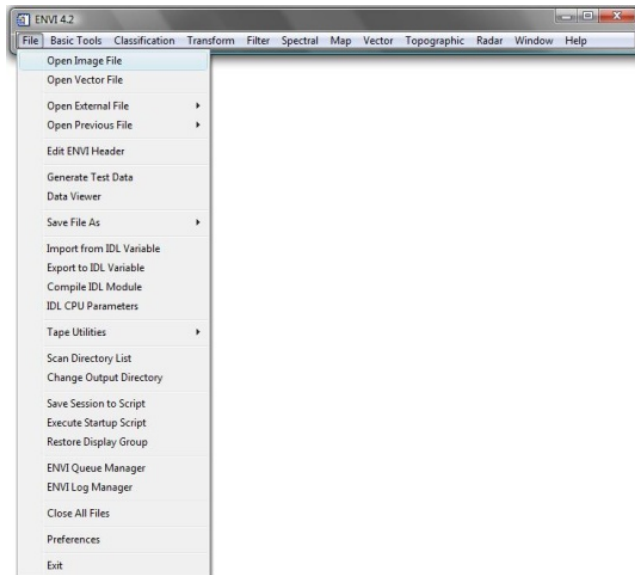


FIGURA N° 4. 103. Ventana del menú principal de *ENVI 4.2* donde se despliega la pestaña “*File*” y se selecciona “*Open Image File*”.

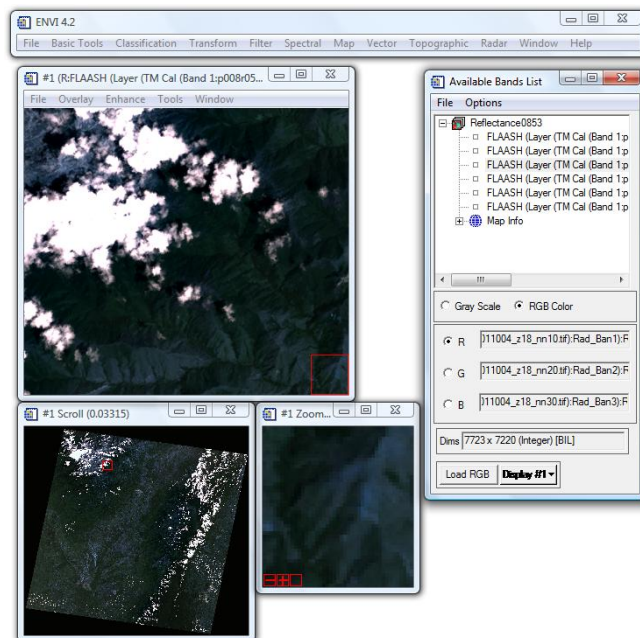


FIGURA N° 4. 104. Ventanas con la imagen corregida atmosféricamente desplegadas.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Una vez desplegada la imagen, seleccionar de su menú la función **“File > Save Image As > Image File...”** (ver FIGURA 4.105);

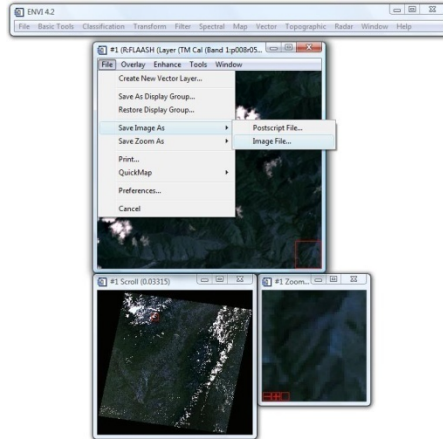


FIGURA N° 4. 105. Ventana **“#1(R: FLAASH(Layer(TM Cal.....)))”** donde se despliega la función **“File”** y se selecciona la opción **“Image File...”**.

- Se abre la ventana **“Output Display to Image File”**, donde el único parámetro que debe de variar es el **“Output File Type”**, que en este caso tendrá como tipo de archivo de salida el **“ERDAS IMAGINE”**. En el **“Enter Output Filename”** se coloca el nombre de salida del archivo y su ubicación para finalmente hacer click en el botón **“OK”** (ver FIGURA 4.106):

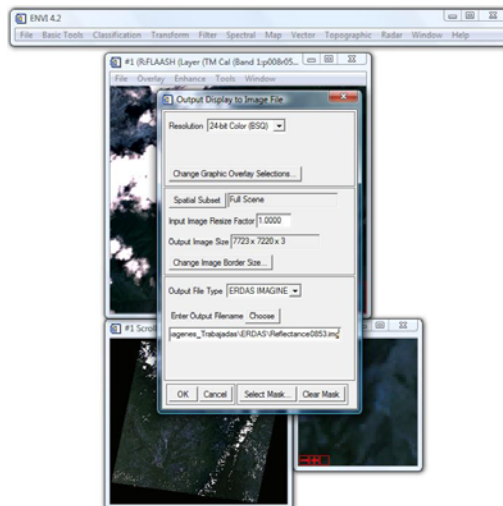


FIGURA N° 4. 106. Ventana **“Output Display to Image File”** con los datos de salida de la imagen **.img**.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

4.2.5 Realización de la Clasificación NO Supervisada

El proceso de Clasificación NO Supervisada se realizo mediante la utilización del *software ERDAS Imagine*, siguiendo la metodología que a continuación se describe.

1. Seleccionar del menú principal del *ERDAS Imagine* 8.6. la función “*Classifier*”, con lo que se despliega la ventana “*Classification*”, en donde se selecciona la opción “*Unsupervised Classification...*” (ver FIGURA 4.107);

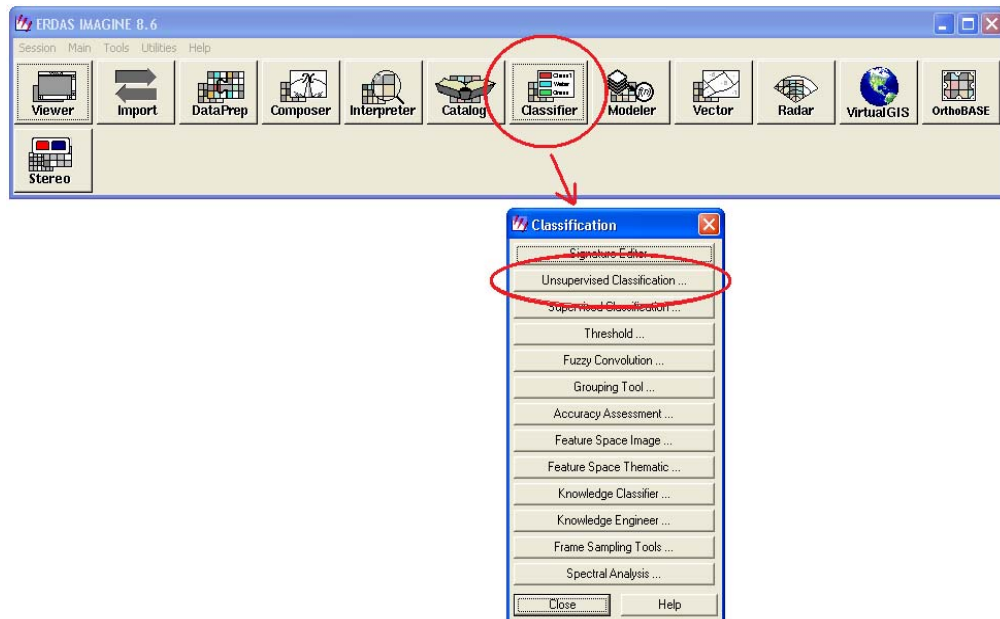


FIGURA N° 4. 107. Ventana del menú principal del software *ERDAS Imagine* donde se resalta la función “*Classifier*”. Abajo se observa la ventana “*Classification*” donde se encuentra resaltada la función “*Unsupervised Classification...*”.

2. Se despliega la ventana “*Unsupervised Classification (Isodata)*”, en la cual se introducen los siguientes de datos:

- Se comienza por colocar en el campo “*Input Raster File: (*.img)*” el archivo al cual se le aplicara la clasificación no supervisada;

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- en el campo “**Output Cluster Layer Filename: (*.img)**” se ubica el sitio donde se guardara el nuevo archivo y se le da nombre al mismo en formato .img;
- en el campo “**Output Signature Set Filename: (*.img)**” se ubica el sitio donde se guardara el nuevo archivo y se le da nombre al mismo en formato .sig;
- en el “**Number of Classes:**” se colocan el número de máximo de clases con el cual el software hara la clasificación;
- los demás campos se dejan igual.

Cuando todos los datos hayan sido introducidos se hace click en el botón “**OK**” (ver FIGURA 4.108);

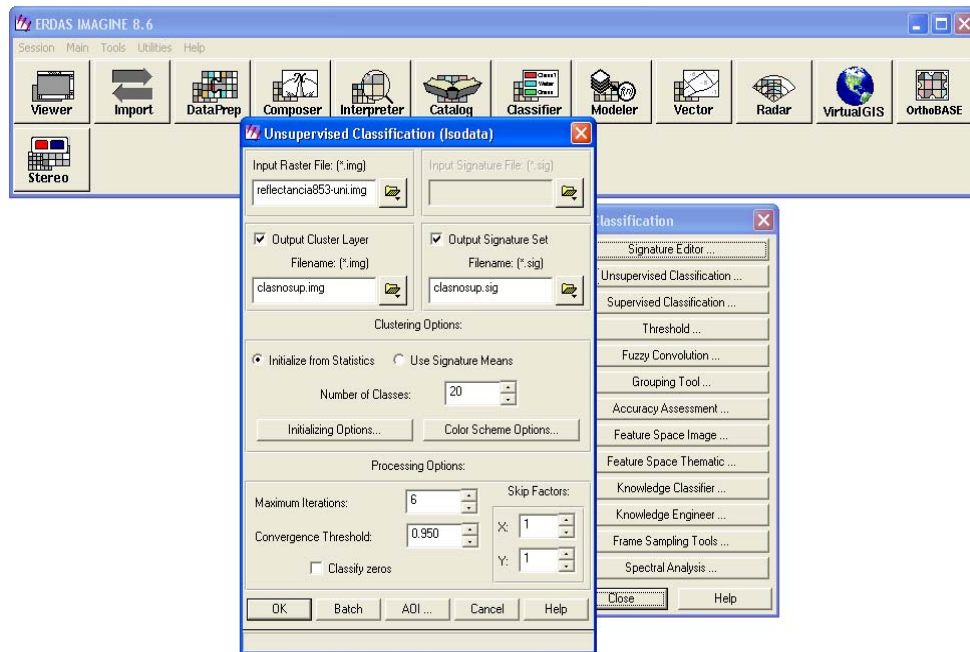


FIGURA N° 4.108. En primer plano la ventana “**Unsupervised Classification...**” luego de introducir todos los datos de salida.

En el momento que esta corriendo el proceso se puede apreciar que aparecen ventanas (ver FIGURA 4.109) que muestran el avance del mismo;

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

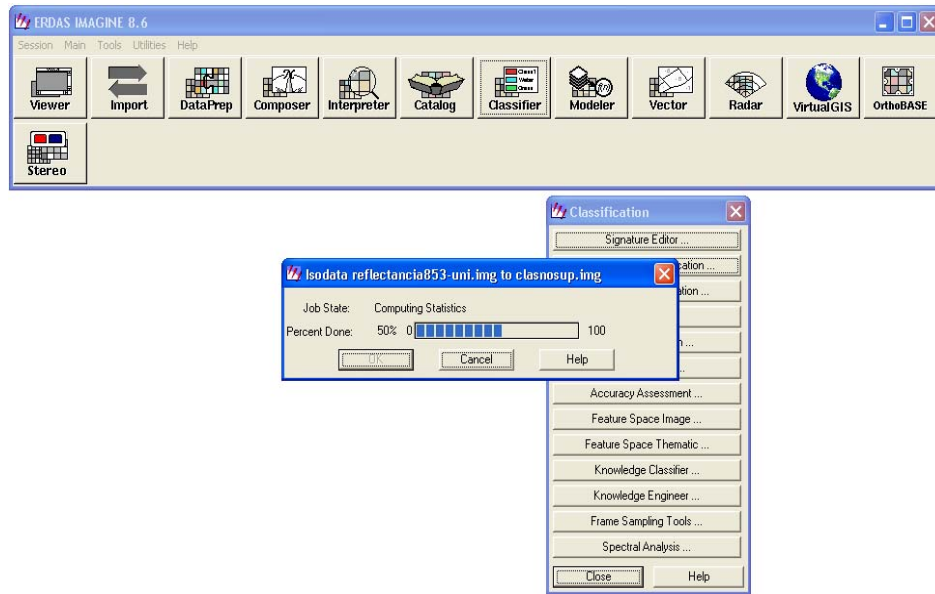


FIGURA N° 4. 109. En primer plano la ventana “Isodata...”, la cual muestra el porcentaje de avance que tiene el proceso.

3. A continuación se abre el “Viewer #1: clasnosup.img(:Layer_1)”, la cual muestra como queda la imagen luego de aplicado el proceso de clasificación no supervisada (ver FIGURA 4.110);

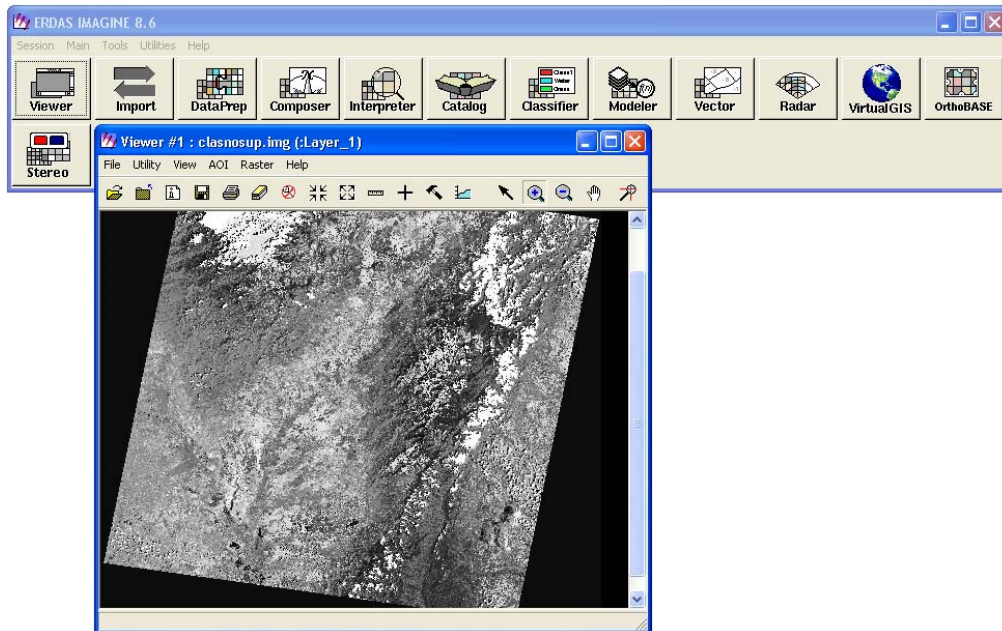


FIGURA N° 4. 110. Ventana “Viewer #1: clasnosup.img(:Layer_1)”, la cual muestra la imagen una vez terminado el proceso.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- En el menú de la ventana “**Viewer #1: clasnosup.img(:Layer_1)**” se selecciona la opción “**Raster > Tools**” (ver FIGURA 4.111);

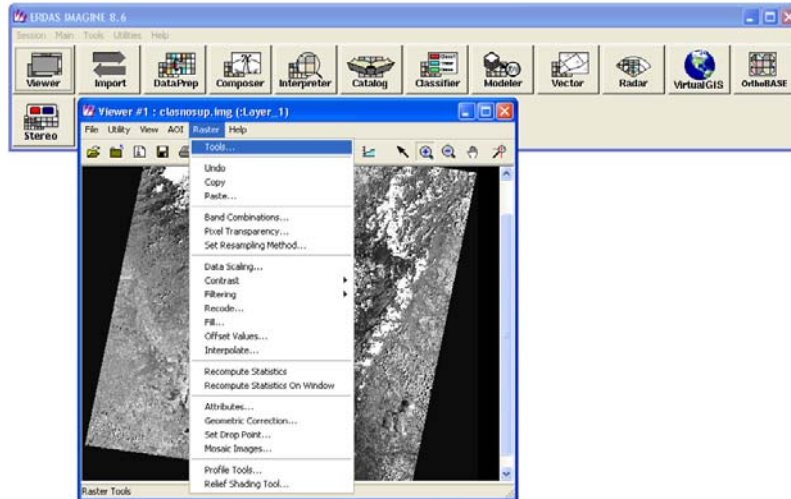


FIGURA N° 4. 111. Ventana “**Viewer #1: clasnosup.img(:Layer_1)**” con la pestaña de la función “**Raster**” desplegada, de donde se selecciona la función “**Tools**”.

- Se despliega la ventana “**Raster**” donde se muestran sus herramientas y en esta se selecciona la opción que abre el archivo **.sig** generado (ese botón se observa en la FIGURA 4.112 encerrado en un círculo rojo);

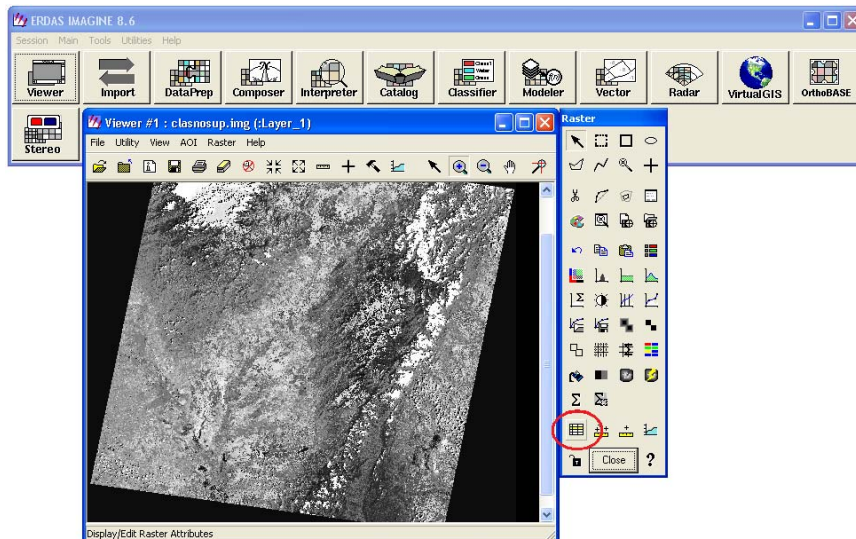


FIGURA N° 4. 112. Ventana “**Viewer #1: clasnosup.img(:Layer_1)**” (Izquierda) y ventana “**Raster**” (Derecha), en donde se selecciona la herramienta encerrada en un círculo rojo.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Se abre la ventana “**Raster Attribute Editor-clasnosup.img(:Layer_1)**” donde se muestran todos los datos de las clases en que se dividió la clasificación no supervisada (ver FIGURA 4.113);

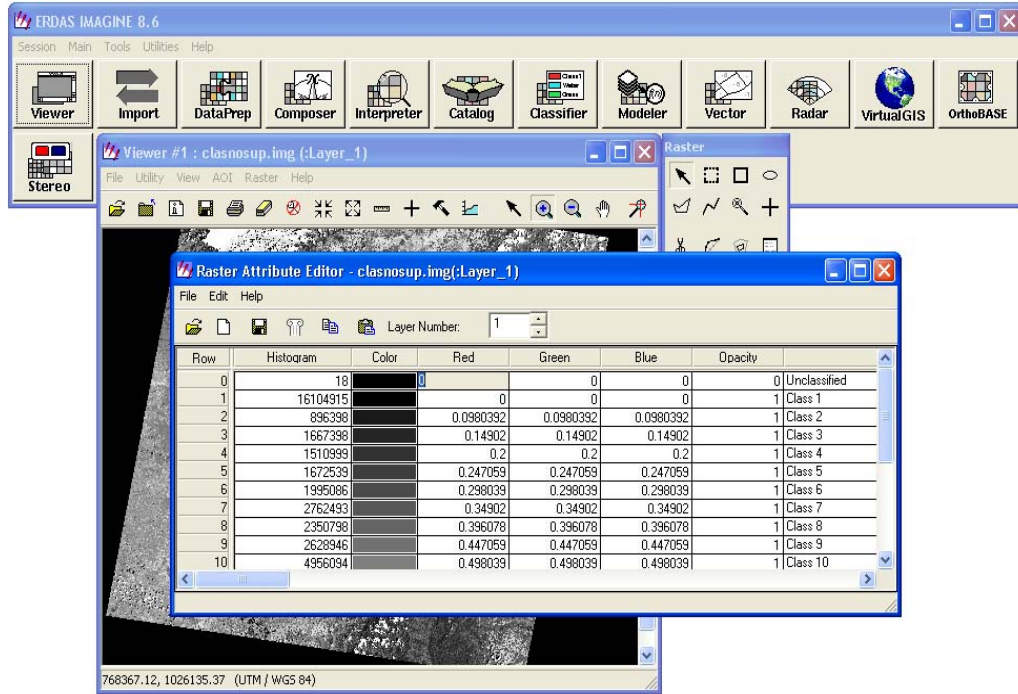


FIGURA N° 4.113. En primer plano la ventana “**Raster Attribute Editor-clasnosup.img(:Layer_1)**”.

- Posteriormente se procede a analizar las clases generadas y se trata de identificar cuales se pueden relacionar entre sí, es decir, representan la misma información. Una vez se logren identificar cuales clases se relacionan y cuales representan un carácter diferente a las demás, se le asigna un color, para ello se hace click sobre el color de la clase original, con lo que se despliega el menú de colores de la cual se selecciona uno para ese carácter (ver FIGURA 4.114). Luego de asignar el color, se coloca el nombre a la clase, según lo que se piensa que represente (ver FIGURA 4.115). Automáticamente al variar el color de alguna de las clases dentro de la ventana “**Raster Attribute Editor-clasnosup.img(:Layer_1)**”, el color cambia dentro de la imagen (ver FIGURA 4.115 y FIGURA 4.116);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

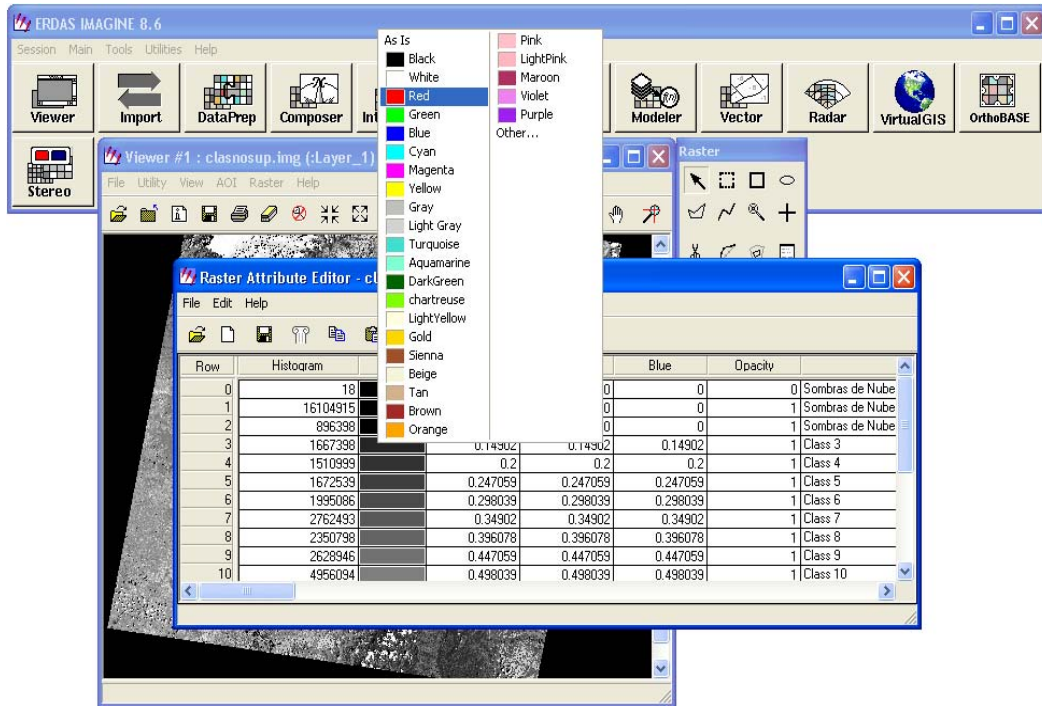


FIGURA N° 4. 114. Menú de colores que se despliega luego de hacer click sobre el color original de alguna de las clases que se encuentran en la ventana “Raster Attribute Editor-clasnosup.img(:Layer_1)”.

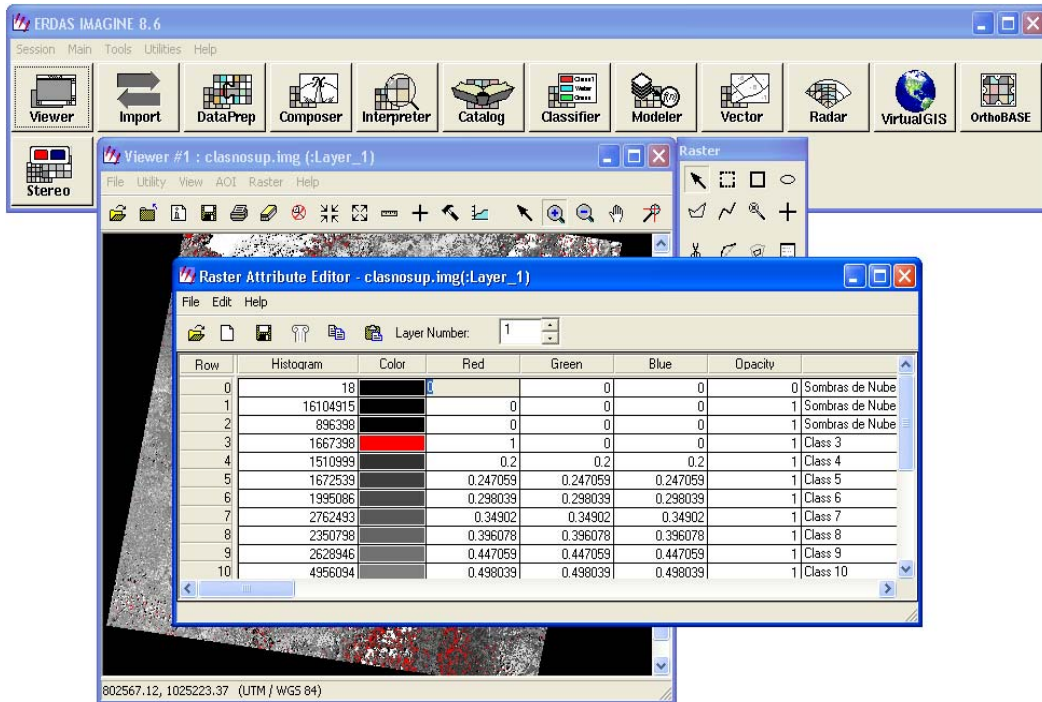


FIGURA N° 4. 115. Ventana “Raster Attribute Editor-clasnosup.img(:Layer_1)” que muestra como se modifica el color de la clase seleccionada.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

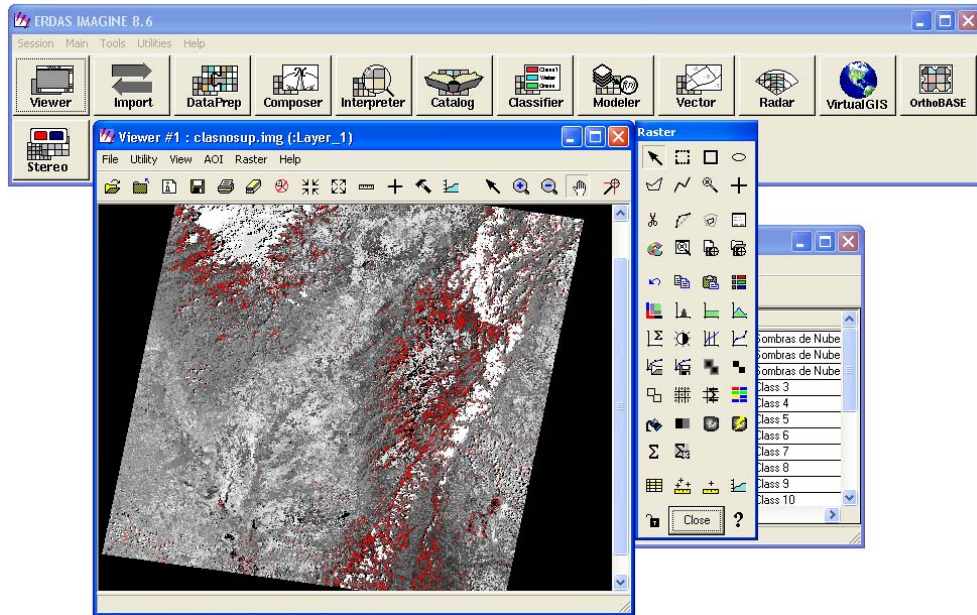


FIGURA N° 4. 116. Ventana “Viewer #1: clasnosup.img(:Layer_1)” (Izquierda) donde se puede observar la modificación del color dentro de la imagen una vez modificado en la tabla de clases y ventana “Raster” (Derecha).

8. Luego de caracterizadas las clases el producto final es el que se muestra en la FIGURA 4.117 y la FIGURA 4.118 ;

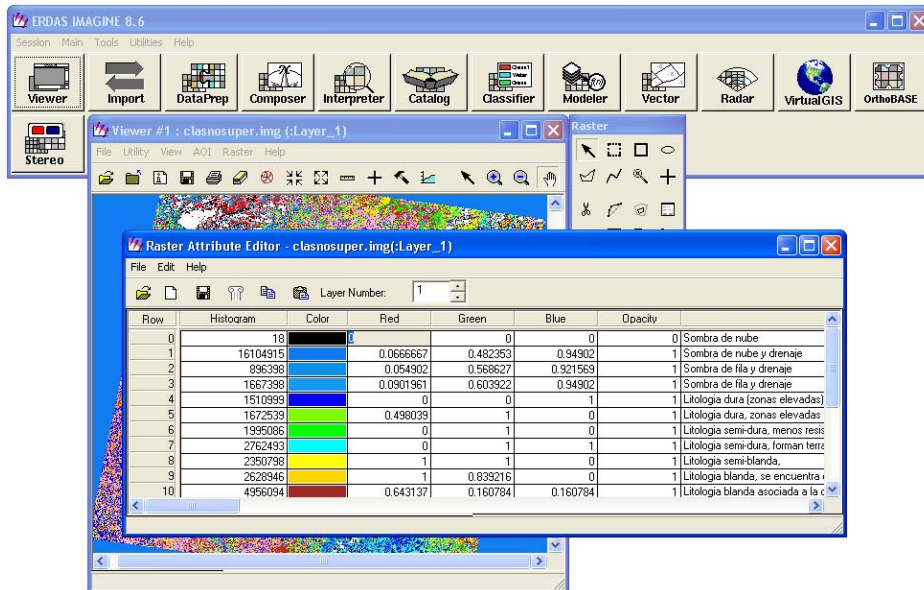


FIGURA N° 4. 117. Ventana “Raster Attribute Editor-clasnosuper.img(:Layer_1)” luego de identificar y agrupar las clases que se reconocen dentro de la imagen.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

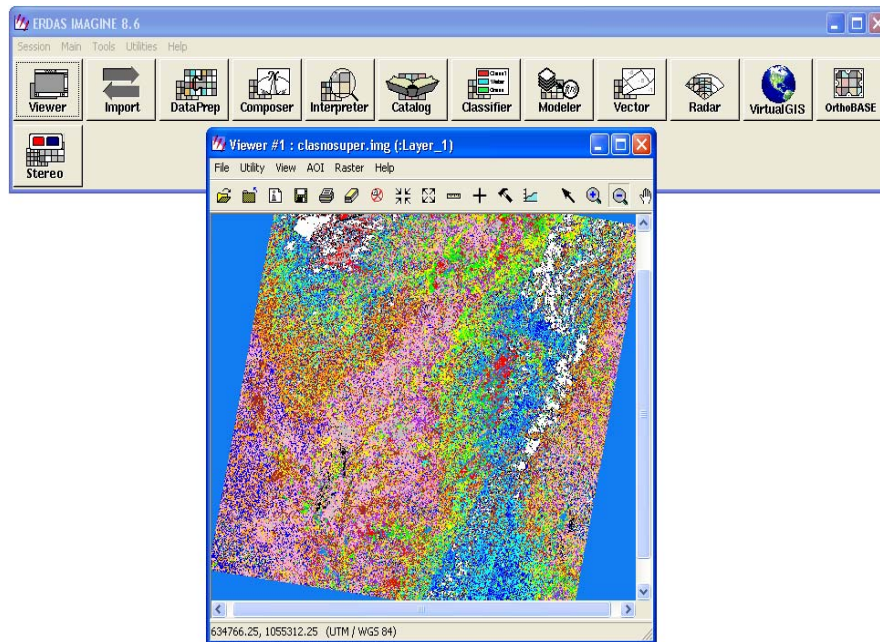


FIGURA N° 4. 118. Ventana “Viewer #1: clasnosuper.img(:Layer_1)” con el apariencia final, luego de realizada la clasificación.

4.2.6 Realización de la Clasificación Supervisada

Para la Clasificación Supervisada se utiliza el *software ERDAS Imagine*, siguiendo los pasos que se describen a continuación:

1. Seleccionar del menú principal del *ERDAS Imagine 8.6* la función “**Viewer**”, con lo que se despliega la ventana “**Viewer #1**”, en donde se selecciona de su menú la opción “**File > Open > AOI Layer**” (ver FIGURA 4.119);

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

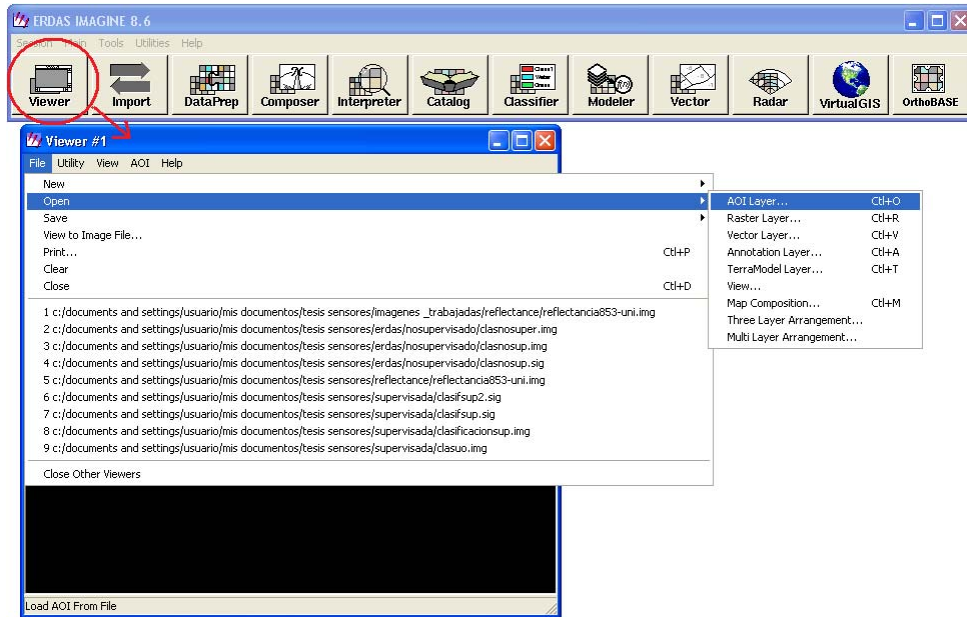


FIGURA N° 4. 119. Ventana con el menú principal del software *ERDAS Imagine* donde se resalta la función “*Viewer*”. Abajo se observa desplegada la ventana “*Viewer #1*” donde se despliega la pestaña de la “*File*” y se selecciona la función “*Open > AOI Layer...*”.

2. Se abre la ventana “**Select Layer To Add**” donde se selecciona la imagen reflectance (ver FIGURA 4.120);

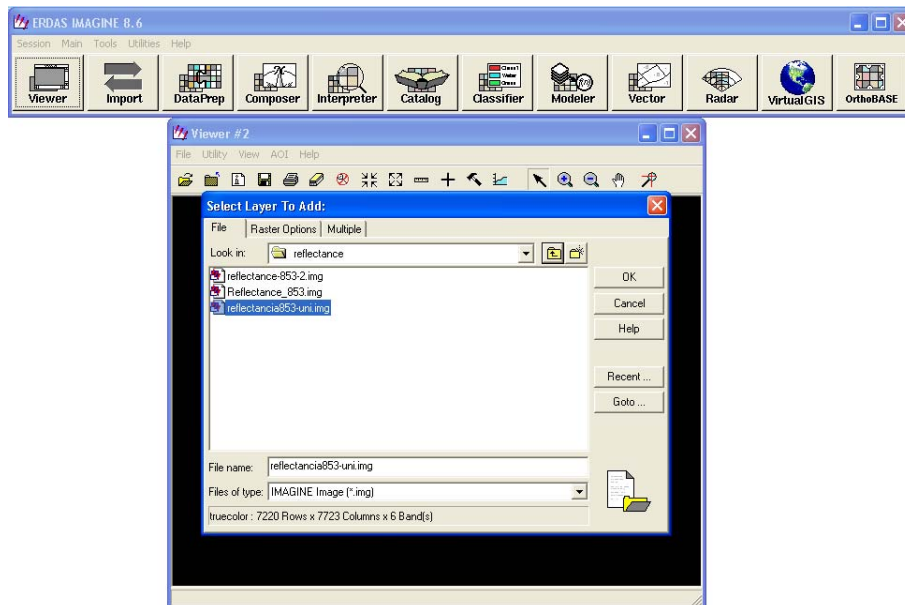


FIGURA N° 4. 120. Ventana “*Select Layer to Add*”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Luego que la imagen se carga en el “*Viewer #1*” (ver Fig.4.96), del menú principal del *ERDAS Imagine 8.6* se selecciona la función “*Classifier*”, desplegándose la ventana “*Classification*” donde se selecciona el comando “*Signature Editor*” (ver FIGURA 4.121);

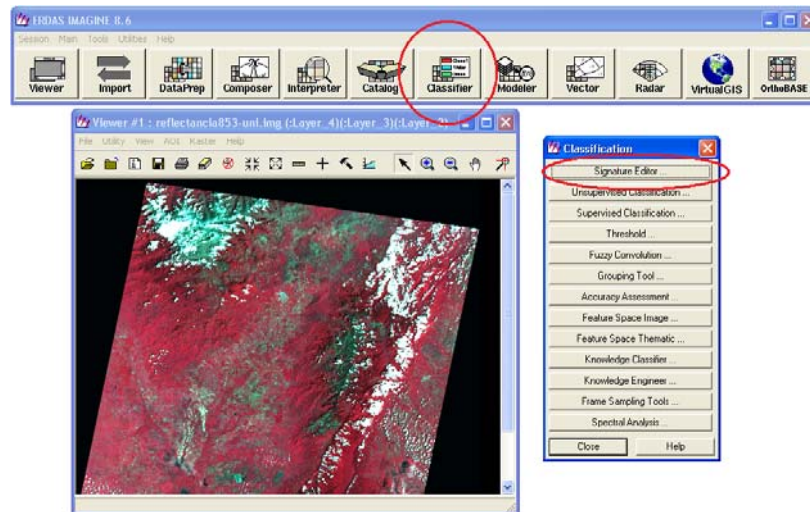


FIGURA N° 4. 121. Ventana “*Viewer*” (Izquierda) la cual muestra abierta la imagen “*Reflectance*” y la ventana “*Classification*” (Derecha) donde se encuentra resaltada en un círculo rojo la función “*Signature Editor*”.

- Se despliega la ventana “*Signature Editor*” (ver FIGURA 4.122);

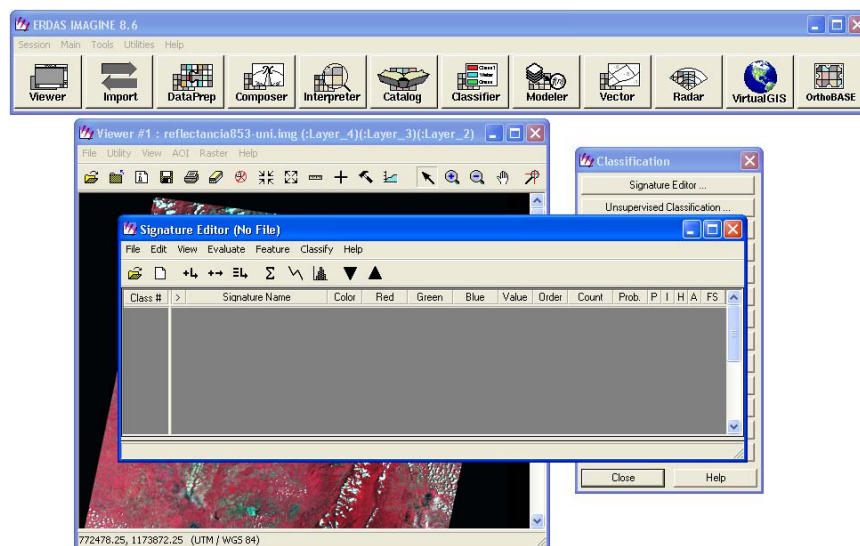


FIGURA N° 4. 122. En primer plano la ventana “*Signature Editor*”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Del menú de la ventana “**Viewer #1**” se selecciona “**AOI > Tools**” (ver FIGURA 4.123);

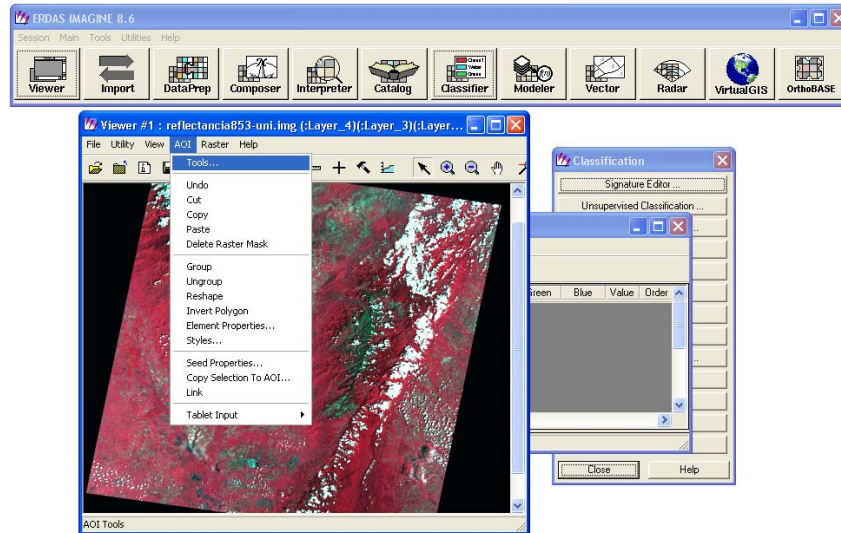


FIGURA N° 4. 123. Ventana “**Viewer #1**” con la pestaña de la función “**AOI**” desplegada, de donde se selecciona la función “**Tools...**”.

- Al desplegarse la ventana “**AOI**”, en esta se selecciona la herramienta para armar polígonos (ver FIGURA 4.124);

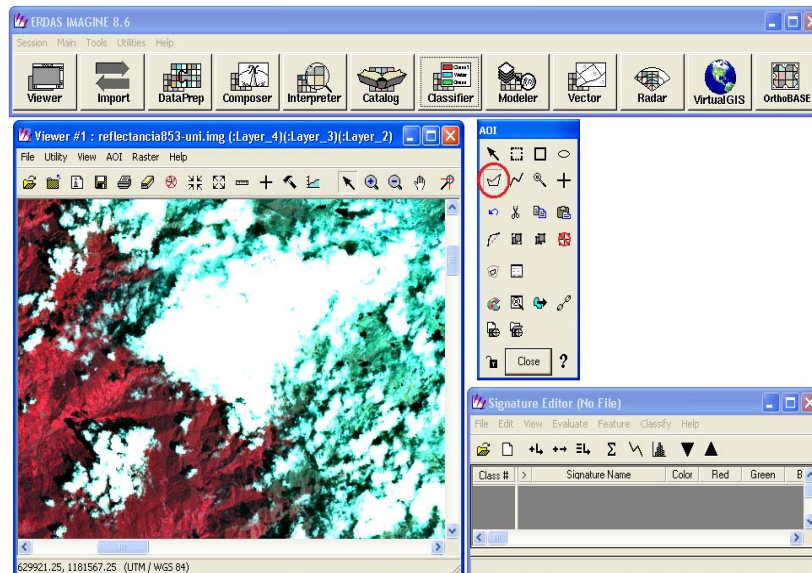


FIGURA N° 4. 124. Ventana “**AOI**” (Derecha arriba) con la herramienta de dibujar polígonos encerrada en un círculo rojo.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Luego de apoyarse en un mapa geológico para identificar la ubicación de las distintas formaciones existentes, se procede en el “*Viewer #1*” a seleccionar la porción de la imagen previamente identificada que represente dicha formación, para lo cual se construirá un polígono (ver FIGURA 4.125). Inmediatamente en la ventana “*Signature Editor*” se hace click sobre la herramienta de agregar clase (ver FIGURA 4.125, herramienta encerrada en un círculo rojo);

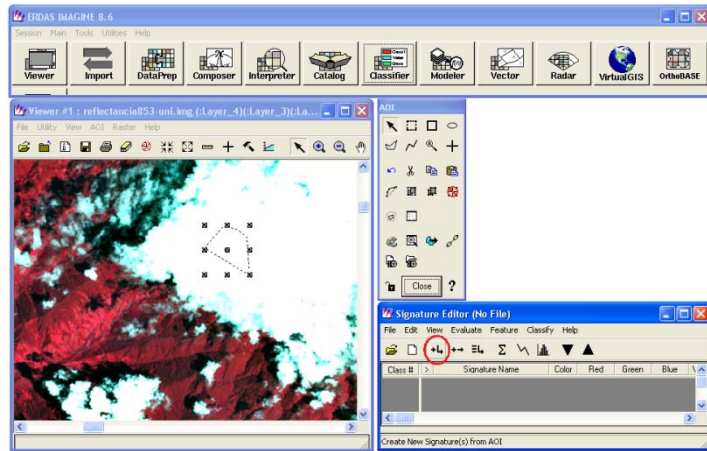


FIGURA N° 4. 125. Ventana “*Signature Editor*” (Abajo a la derecha) con la opción para agregar clases encerrada en un círculo rojo.

- La nueva clase queda agregada en el “*Signature Editor*” y se procede a colocarle el nombre en el recuadro correspondiente (ver FIGURA 4.126);

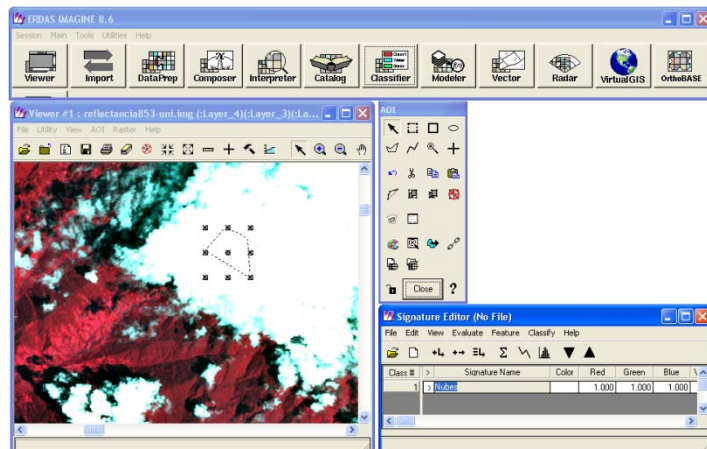


FIGURA N° 4. 126. Ventana “*Signature Editor*” (Abajo a la derecha) con la nueva clase agregada.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

9. Los pasos 7 y 8 se repiten continuamente hasta que se logren identificar todos los rasgos litológicos conocidos y representados en información previa. Una vez determinadas todas las clases se selecciona del menú principal del *ERDAS Imagine 8.6* la función “*Classifier*”, desplegándose la ventana “*Classification*” y de esta se activa la función “*Supervised Classification*” (ver FIGURA 4.127);

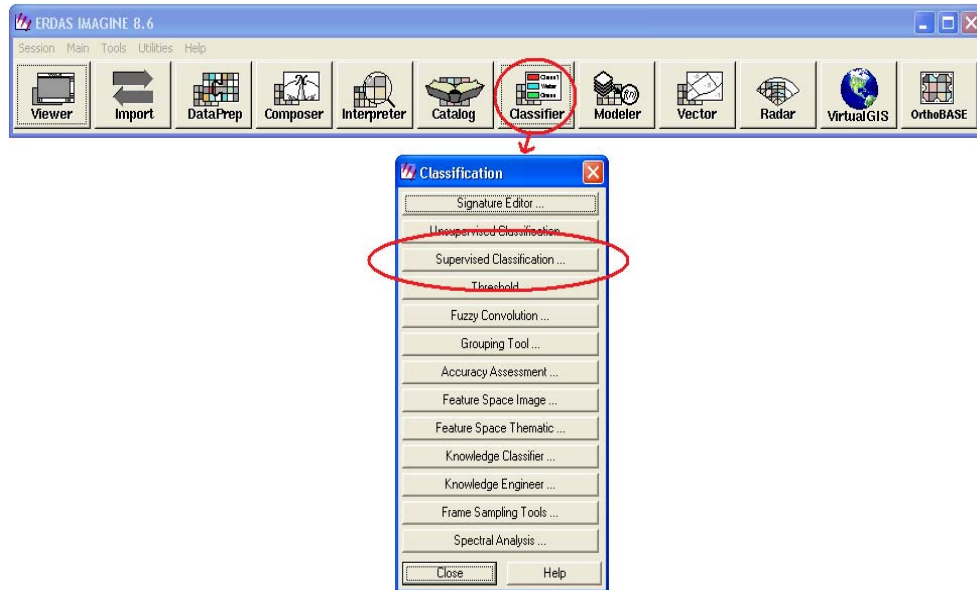


FIGURA N° 4. 127. Ventana con el menú principal del software *ERDAS Imagine* donde se resalta la función “*Classifier*”. Abajo se observa desplegada la ventana “*Classification*” donde se selecciona la función “*Supervised Classification*”.

10. Se abre la ventana “*Supervised Classification*” donde se colocan los siguientes datos de entrada y salida:

- ***Input Raster File***: en este campo se coloca el archivo de la imagen que se viene trabajando (en este caso “*reflectance853-uni.img*”);
- ***Input Signature File***: en este campo se coloca el archivo **.sig** creado en el paso 3 (en este caso “*clasifsupdef.sig*”);
- ***Classified File***: en este campo se coloca el nombre y ubicación del archivo de salida de la clasificación supervisada;

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Cuando estos campos estén completos se hace click en “OK” (ver FIGURA 4.128);

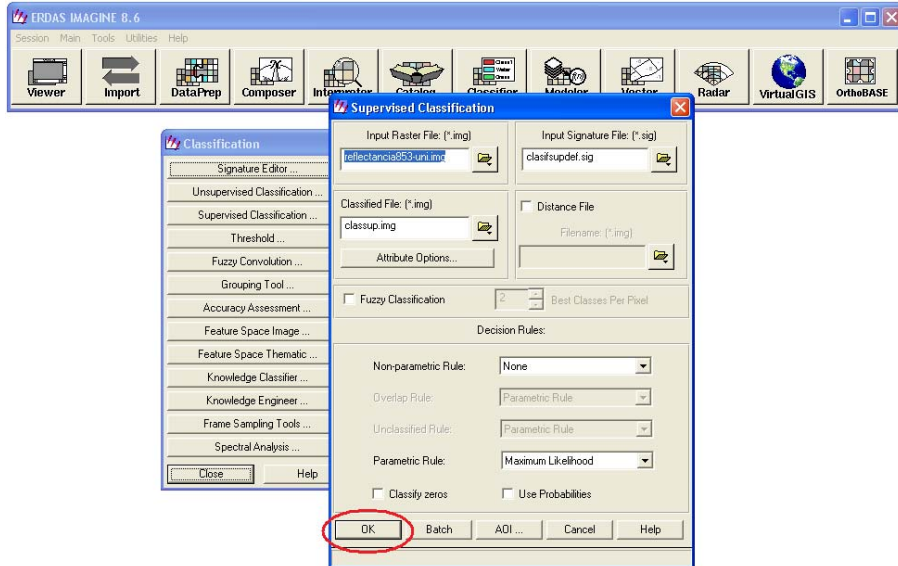


FIGURA N° 4. 128. Ventana “Supervised Classification” donde se colocan los datos de entrada y salida.

11. El resultado final es el que se observa en las FIGURA 4.129 y FIGURA 4.130.

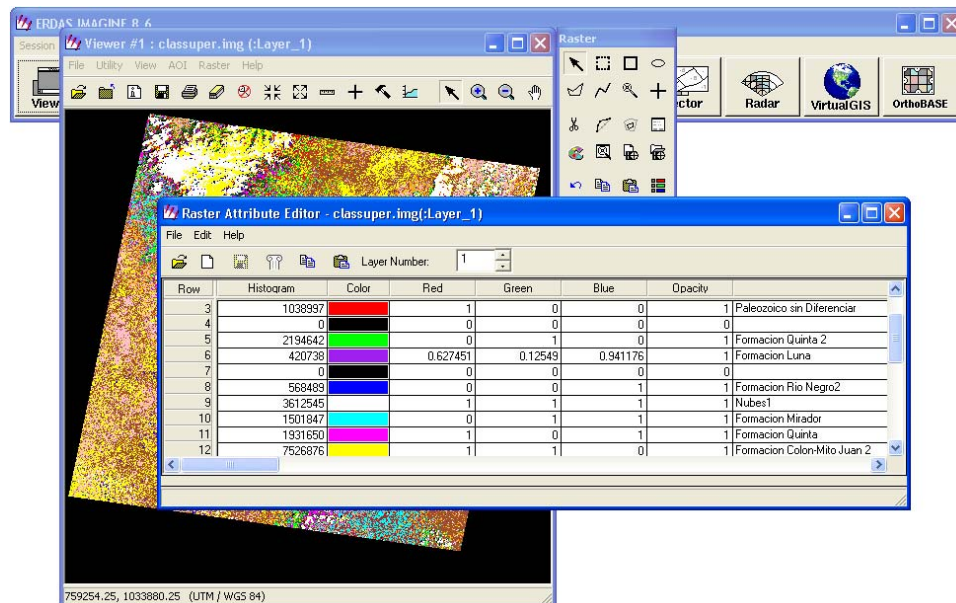


FIGURA N° 4. 129. Ventana “Raster Attribute Editor-....” donde se observan las clases establecidas.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

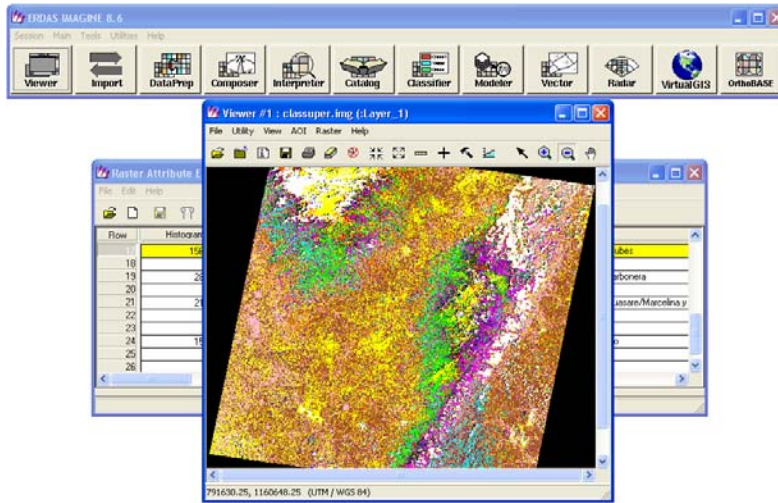


FIGURA N° 4. 130. Ventana “Viewer #1: classosuper.img (:Layer_1)” con el apariencia final de la clasificación supervisada.

4.2.7 Georeferenciación de los Mapas Topográficos

Los mapas 5545 y 5645 se Georeferencian utilizando el *software ArcGis*, siguiendo el procedimiento que se describe a continuación.

1. Del menú principal del *software ArcGis* 9.1 se selecciona la función “*ArcCatalog* - *ArcView*” (ver FIGURA 4.131);

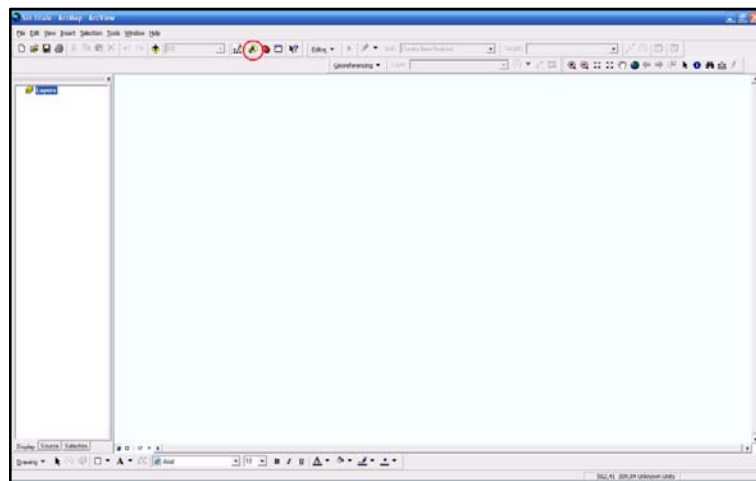


FIGURA N° 4. 131. Ventana “ArcMap-ArcView” donde se resalta dentro de un círculo rojo en el menú de herramientas la opción “ArcCatalog”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Una vez desplegada la ventana del “*ArcCatalog – Arc View*” se ubica el archivo del mapa en .img, en este caso el 5545, y sobre el se hace click al botón derecho, desplegandose una pequeña ventana en donde se selecciona la opción “*Properties...*” (ver FIGURA 4.132);

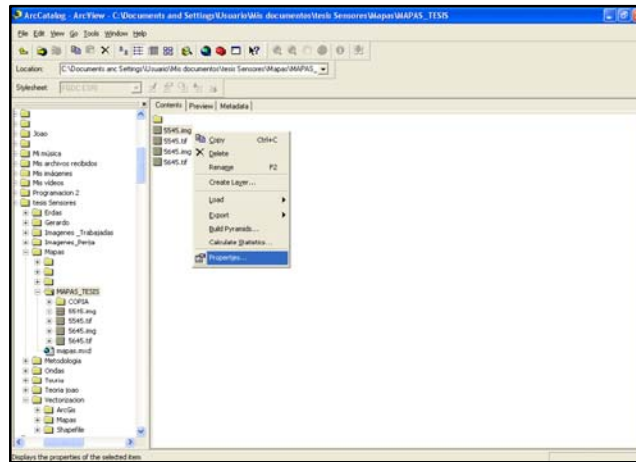


FIGURA N° 4. 132. Ventana “*ArcCatalog-ArcView*” donde se observa la pestaña que se despliega al hacer click con el botón derecho sobre el archivo “*5545.img*” y se selecciona la opción “*Properties...*”.

- Se abre la ventana “*Raster Dataset Properties*” donde se busca el parámetro con el nombre “*Spatial Reference*”, el cual debe de tener valores indefinidos y se hace click en “*Edit*” (ver FIGURA 4.133);

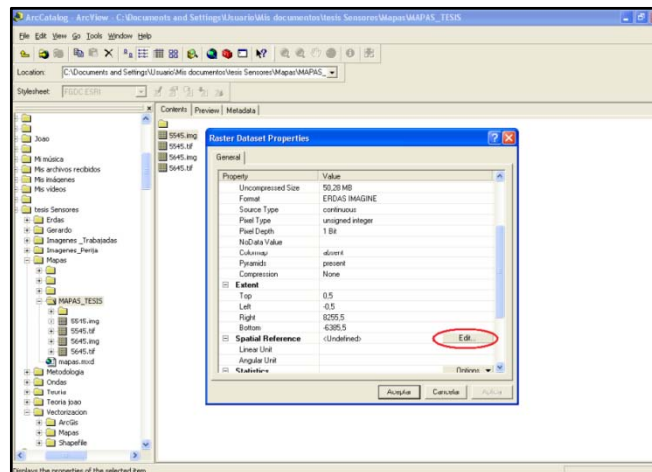


FIGURA N° 4. 133. Ventana “*Raster Dataset Properties*” donde se selecciona la opción “*Edit*” en la “*Property > Spatial Reference*”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Se despliega la ventana “**Propiedades de Spatial Reference**” y se hace click en el botón “**Select**” (ver FIGURA 4.134);

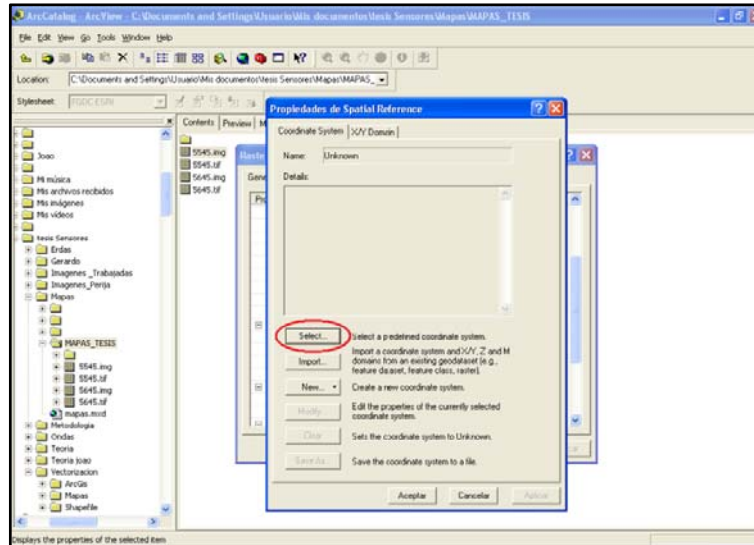


FIGURA N° 4. 134. Ventana “**Propiedades de Spatial Reference**” donde se hace click en el botón “**Select**”.

- Seguidamente se abre la ventana “**Browse for Coordinate System**”, se selecciona la opción “**Projected Coordinate Systems**” y se hace click en “**Add**” (ver FIGURA 4.135);

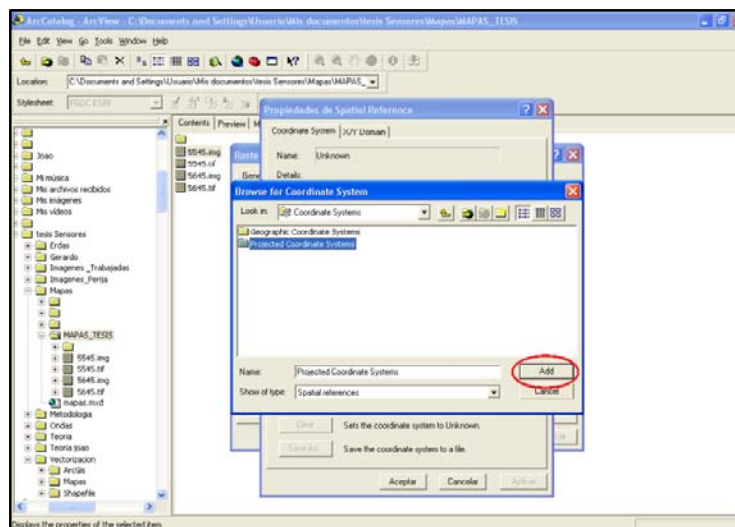


FIGURA N° 4. 135. Ventana “**Browse for Coordinate System**” donde se selecciona la opción “**Projected Coordinate Systems**” y resaltado en rojo el botón “**Add**”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Se muestran en la misma ventana los diferentes sistemas de proyección de coordenadas y de estos se elige el “UTM” y se hace click en “Add” (ver FIGURA 4.136);

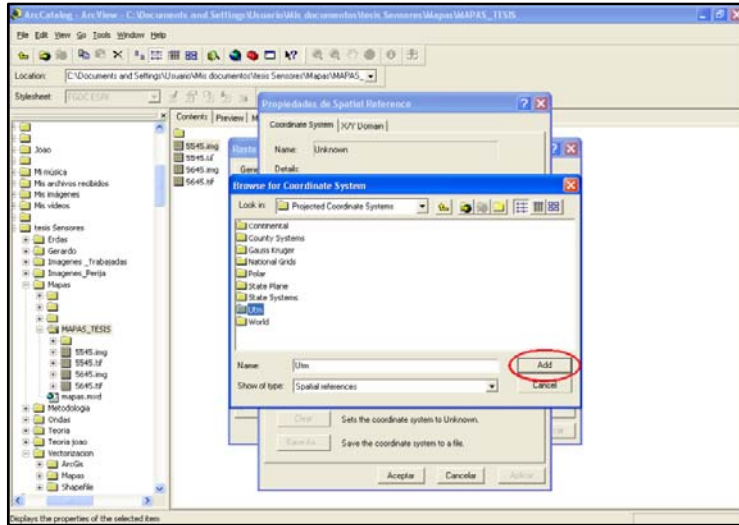


FIGURA N° 4. 136. Ventana “Browse for Coordinate System” donde se selecciona la opción “UTM” y resaltado en rojo el botón “Add”.

- Dentro del sistema UTM se escoge el “Wgs 1984” y se hace click en “Add” (ver FIGURA 4.137);

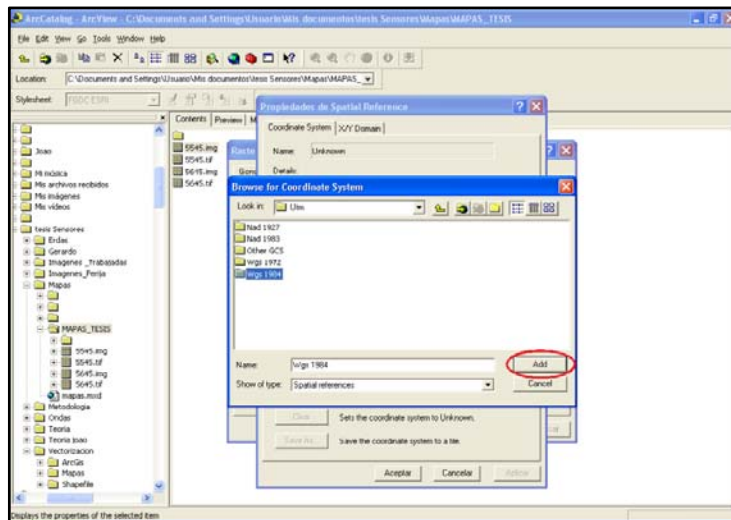


FIGURA N° 4. 137. Ventana “Browse for Coordinate System” donde se selecciona la opción “Wgs 1984” y resaltado en rojo el botón “Add”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- Posteriormente se busca el huso que le corresponda a la zona de trabajo y se hace click en **“Add”** (ver FIGURA 4.138);

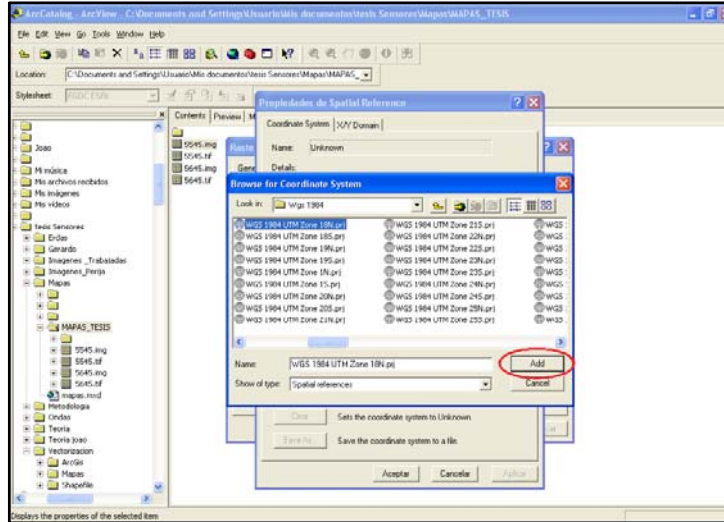


FIGURA N° 4. 138. Ventana **“Browse for Coordinate System”** donde se selecciona la opción **“WGS 1984”** y resaltado en rojo el botón **“Add”**.

- Se vuelve a la ventana **“Propiedades de Spatial Reference”** y en ella se observan todos los detalles del huso que se selecciono. Se hace click en **“Aceptar”** (ver FIGURA 4.139);

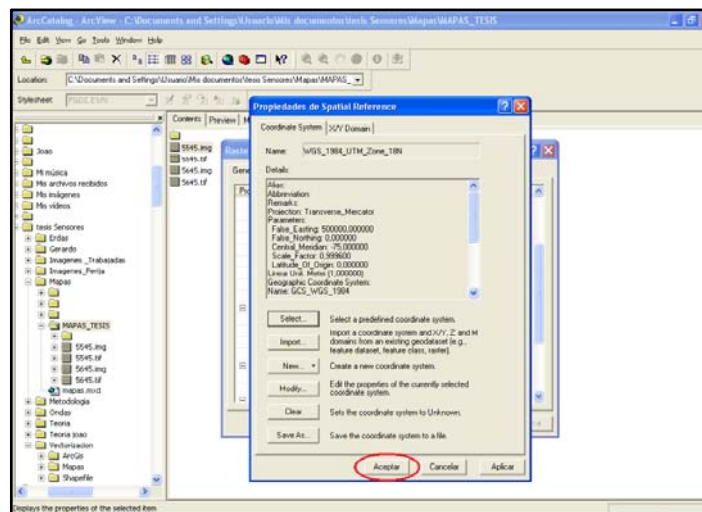


FIGURA N° 4. 139. Ventana **“Propiedades de Spatial Reference”** donde se pueden observar todos los detalles del sistema de coordenadas seleccionado.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

10. Seguidamente se regresa a la ventana principal del *ArcGis 9.1*, de su menú se selecciona “**File > + Add Data**” (ver FIGURA 4.140);

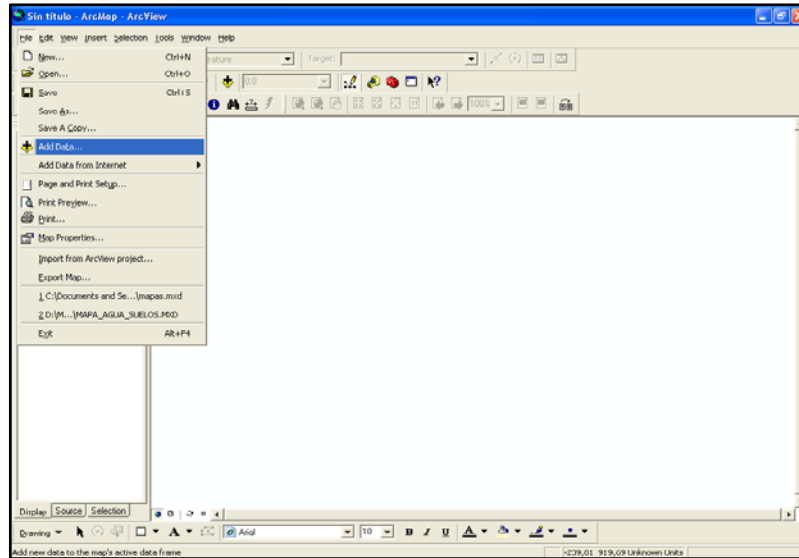


FIGURA N° 4. 140. Ventana “*ArcMap-ArcView*” donde se selecciona de su menú principal la opción “**File > Add Data..**”.

11. Se abre la ventana “**Add Data**” busca el mapa que se desea referenciar, en este caso el “**5545.img**” y se hace click en “**Add**” (ver FIGURA 4.141);

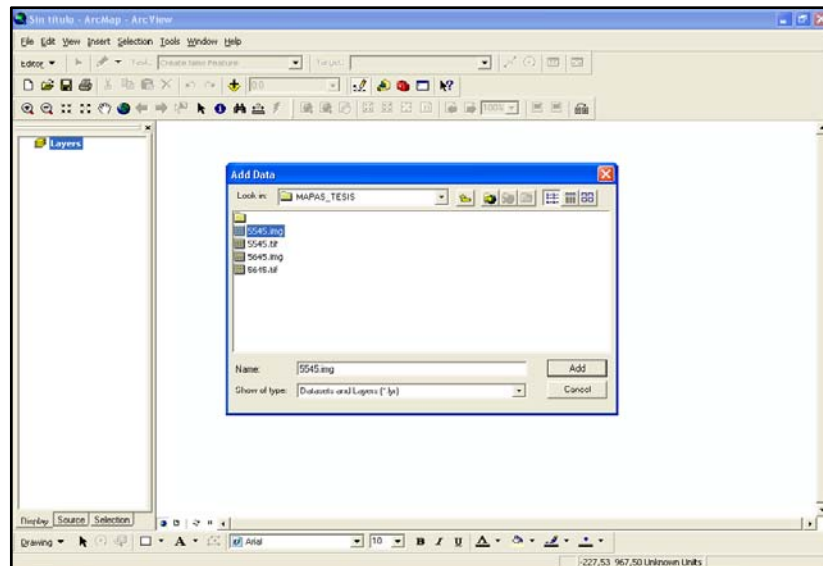


FIGURA N° 4. 141. Ventana “*Add Data*” en primer plano, donde se selecciona el archivo que se desea abrir.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

12. Se elige una de las esquinas del mapa en donde se cruzan las líneas de coordenadas conocidas y en la barra de herramientas se selecciona la opción (ver FIGURA 4.142 y FIGURA 4.143);

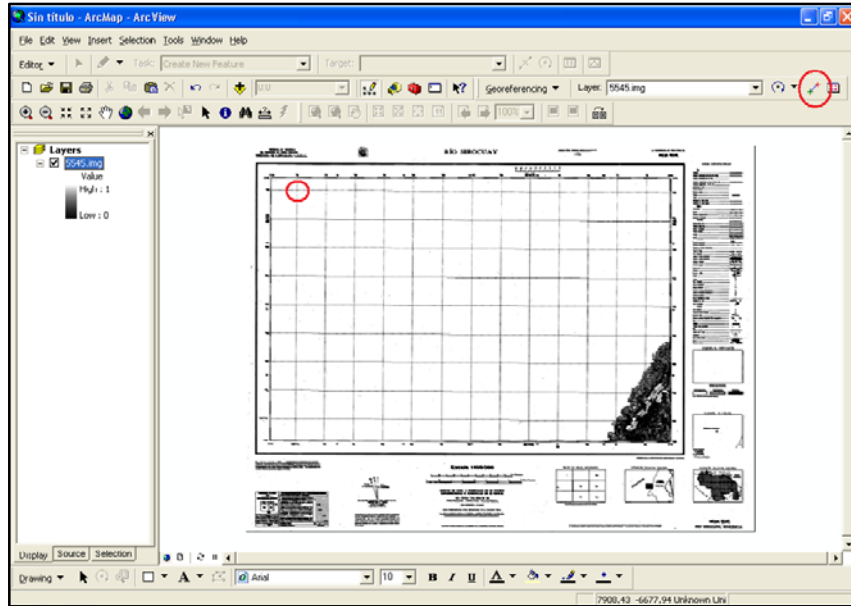


FIGURA N° 4. 142. Ventana “ArcMap-ArcView” con la imagen del mapa ya desplegada y en el extremo derecho de la barra de herramientas la opción “” encerrada en un círculo rojo.

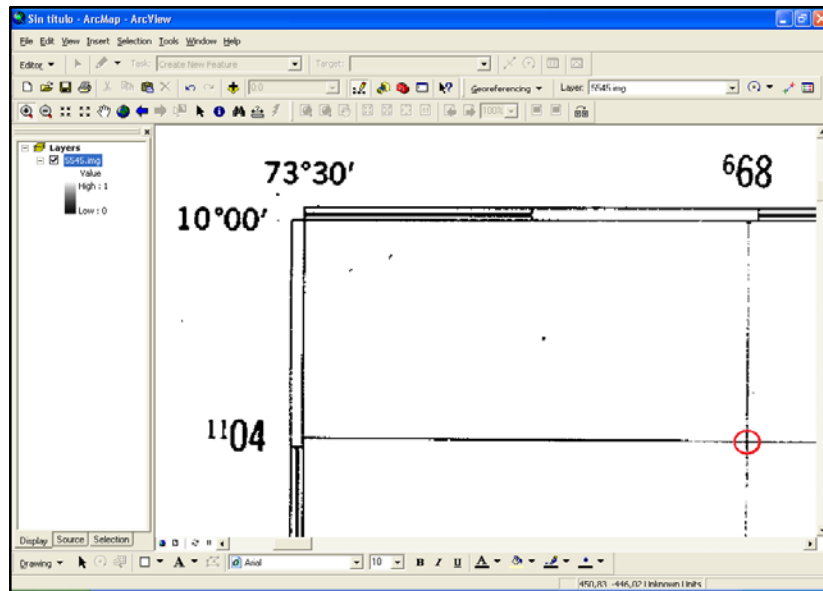


FIGURA N° 4. 143. Ventana “ArcMap-ArcView” donde se pueden apreciar el punto seleccionado encerrado en un círculo rojo con sus respectivas coordenadas .

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

13. En el cruce de las líneas se coloca la marca, se hace click al botón derecho y se despliega una pequeña ventana donde se selecciona la opción **“Input X and Y...”** (ver FIGURA 4.144);

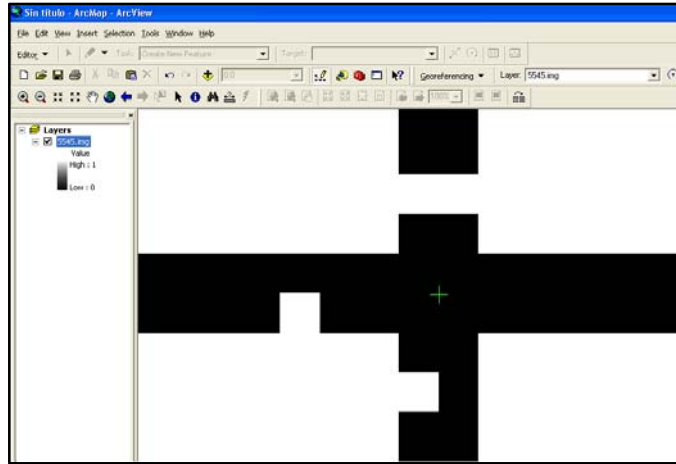


FIGURA N° 4. 144. Ventana “ArcMap-ArcView” donde se observa el cruce de las líneas (de coordenadas conocidas) y la marca verde que se coloca sobre esta.

14. Se abre la ventana donde se introducen los valores de las coordenadas conocidas y que representan el punto seleccionado (ver FIGURA 4.145);

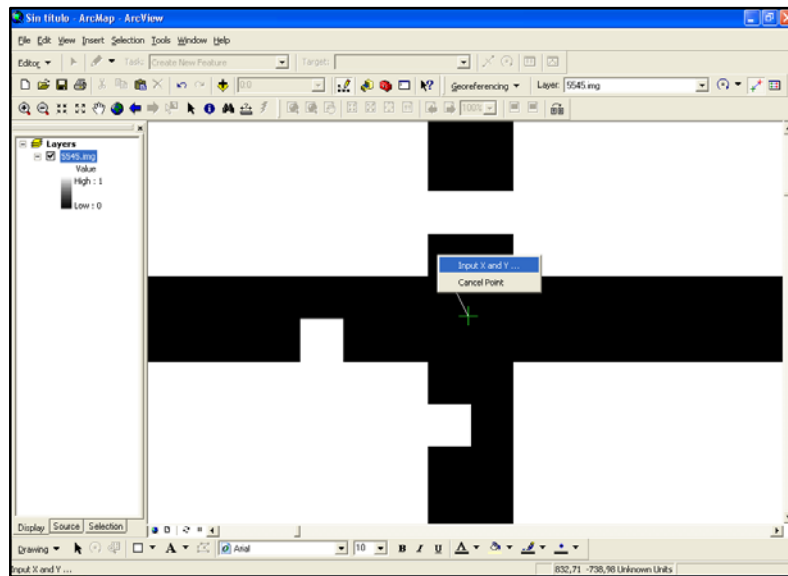


FIGURA N° 4. 145. Ventana “ArcMap-ArcView” donde se observa la pestaña se selecciona la opción **“Input X and Y...”**.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

15. Posteriormente se seleccionan otros ocho (8) puntos del mapa, preferiblemente las esquinas, puntos intermedios en los extremos y la coordenada central del mapa (ver FIGURA 4.146);

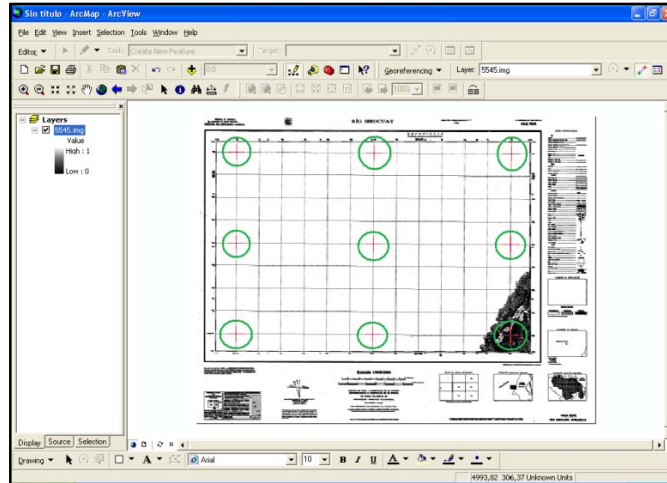


FIGURA N° 4. 146. Ventana “ArcMap-ArcView” donde se observan los nueve puntos que se utilizarán para referenciar el mapa marcados con una cruz roja y encerrados en un círculo verde.

16. Finalmente, una vez referenciado los nueve (9) puntos se selecciona de la barra de herramientas la opción “Georeferencing > Update Georeferencing” (ver FIGURA 4.147);

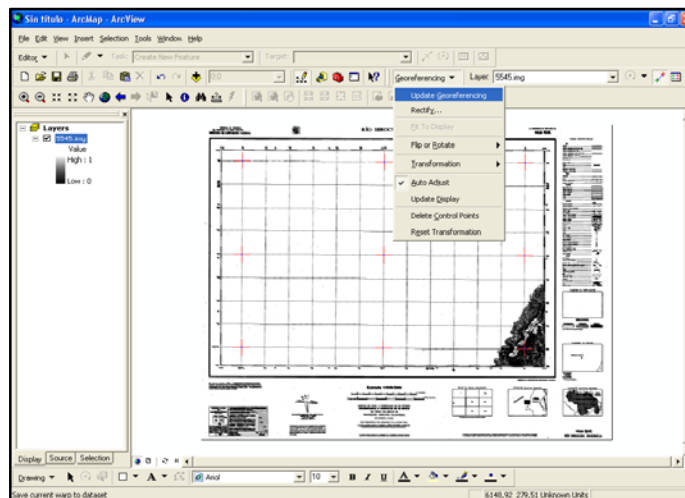


FIGURA N° 4. 147. Ventana “ArcMap-ArcView” donde se selecciona de la barra de herramienta la opción “Georeferencing” y se abre la pestaña en donde se selecciona la opción “Upadate Georeferencing”.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

4.2.8 Generación del mapa geológico

Una vez obtenidos los subproductos anteriores se proceden a crear los archivos *shapefile* que contengan los diversos rasgos geológicos e información necesaria para la generación del mapa actualizado. Dichos archivos incluyen litología, drenajes y estructuras, y se generan siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente en el punto 4.2.3.5

CAPITULO V

INTERPRETACIÓN DE LA IMAGEN

Con la aplicación de los procedimientos descritos en el capítulo IV se generaron una serie de archivos o sub-productos, tales como el *reflectance*, *MNF*, *PPI*, *SAM*, *N-Dimensional*, clasificación No supervisada, clasificación supervisada, además de archivos *shapefile* en donde se identifican y delinearón todos los rasgos geológicos de importancia, que de manera individual o integrada permitieron la interpretación de la imagen, lo que conlleva a la actualización de la cartografía geológica del área de estudio.

Es así que, de cada uno de esos sub-productos se obtuvo información geológica, la cual se presenta a continuación descrita de manera general.

5.1 IMAGEN *FLAASH*

El primero de los subproductos generados durante la ejecución de la fase de procesamiento de la imagen, es el archivo o imagen corregida atmosféricamente (ver FIGURA 5.1), el cual se constituyó en la base para el desarrollo de los demás procedimientos, esto motivado al hecho de que este archivo representa la imagen libre de los efectos de dispersión y absorción, lo que le da una aspecto más real a la misma.

En la imagen observada abajo (ver FIGURA5.1), se emplea como base la combinación de bandas 3-2-1(que es la combinación que da los colores más reales), siendo posible apreciar ciertos cambios de color, que indican variaciones en la vegetación, diferenciando además aquellas zonas en donde esta es más tupida y

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

abundante con relación aquellas zonas (intermedias a bajas) donde la vegetación está presente en menor magnitud y se torna con colores marrones, lo que inferimos como cambios en la litología. Igualmente, se logran diferenciar a simple vista las zonas de alto relieve y de bajo relieve, además de apreciar claramente aquellas zonas intermedias. Las zonas bajas las relacionamos con zonas de planicies de inundación.

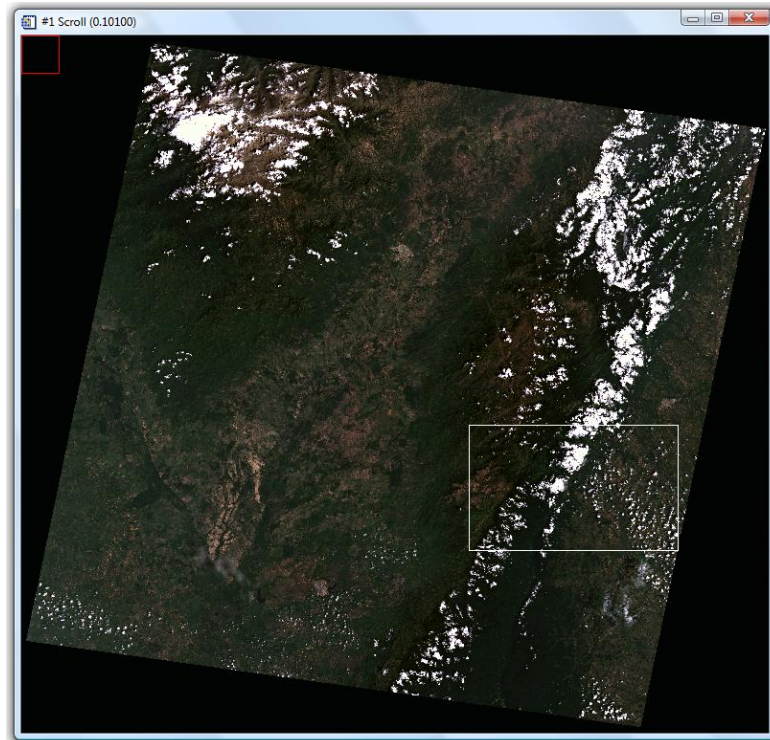


FIGURA N° 5. 1. Imagen corregida atmosféricamente en el *software ENVI 4.2*, con combinación de bandas 3-2-1. El área encerrada en el recuadro blanco representa la zona de estudio.

Un ejemplo de la información obtenida con la interpretación de la imagen *reflectance*, es el que se presenta en la siguiente figura (ver FIGURA N° 5.2), donde se aprecia los cambios en las tonalidades de los colores dentro de la misma, echo que se atribuye a la variación en la vegetación, indicio de la presencia de diferentes tipos de litología. Del lado derecho se observa mayor presencia de vegetación, la cual se asocia a colores más verdosos, mientras que del lado izquierdo un tono de color verde mas claro y marrón indican la presencia de una vegetación de menor abundancia intercalada con zonas de poca vegetación.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

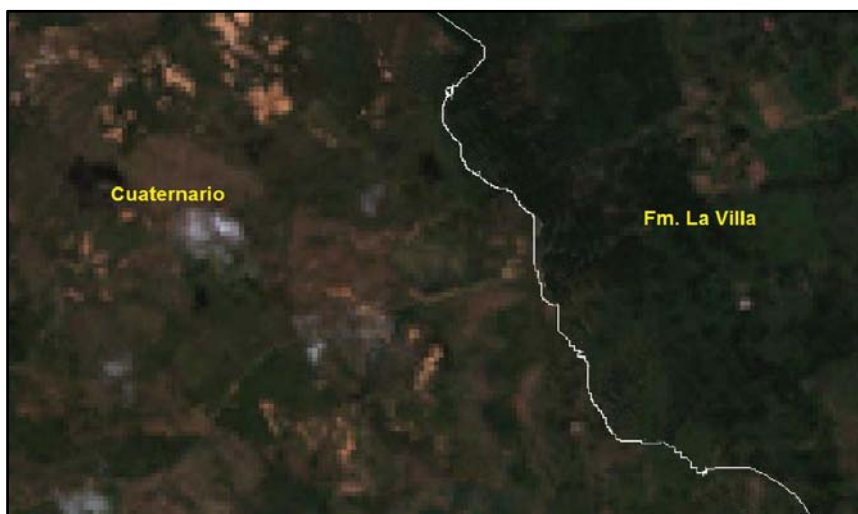


FIGURA N° 5. 2. Zona de la imagen *reflectance* (3-2-1) donde se aprecia la diferencia de colores en la vegetación, identificando del lado izquierdo, en color marrón-verdoso, depósitos cuaternarios, y del lado derecho la Formación La Villa, la cual se observa con un color más verdoso.

5.2 IMAGEN *MNF*

El segundo de los subproductos generados es el archivo *MNF*, en donde se ha eliminado la incidencia del ruido sobre el dato espectral de la imagen. Previo a la generación de este archivo se le aplicó la máscara de nubosidad a la imagen *reflectance*, con el objetivo de eliminar la incidencia de las nubes en el procesamiento de la imagen, de ahí que en la imagen *MNF* se observen los espacios vacíos que ocupaban las nubes en la imagen original. Este archivo es el primordial en los demás procesos y generación de los siguientes subproductos

En la imagen *MNF* que se presenta a continuación (ver FIGURA 5.3), son claramente separables por colores las zonas de alto relieve (representadas por colores azulados, morados y algo rojizos) de las de bajo relieve (representadas por colores amarillentos y naranja). En este caso, las zonas de alto relieve representan las áreas de relieve abrupto, donde la litología presente es competente; mientras que las zonas de bajo relieve representan la litología de menor competencia. De igual manera, son claramente apreciables en la imagen las variaciones de colores internas en esas dos zonas, lo que está representando los posibles cambios de litología.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

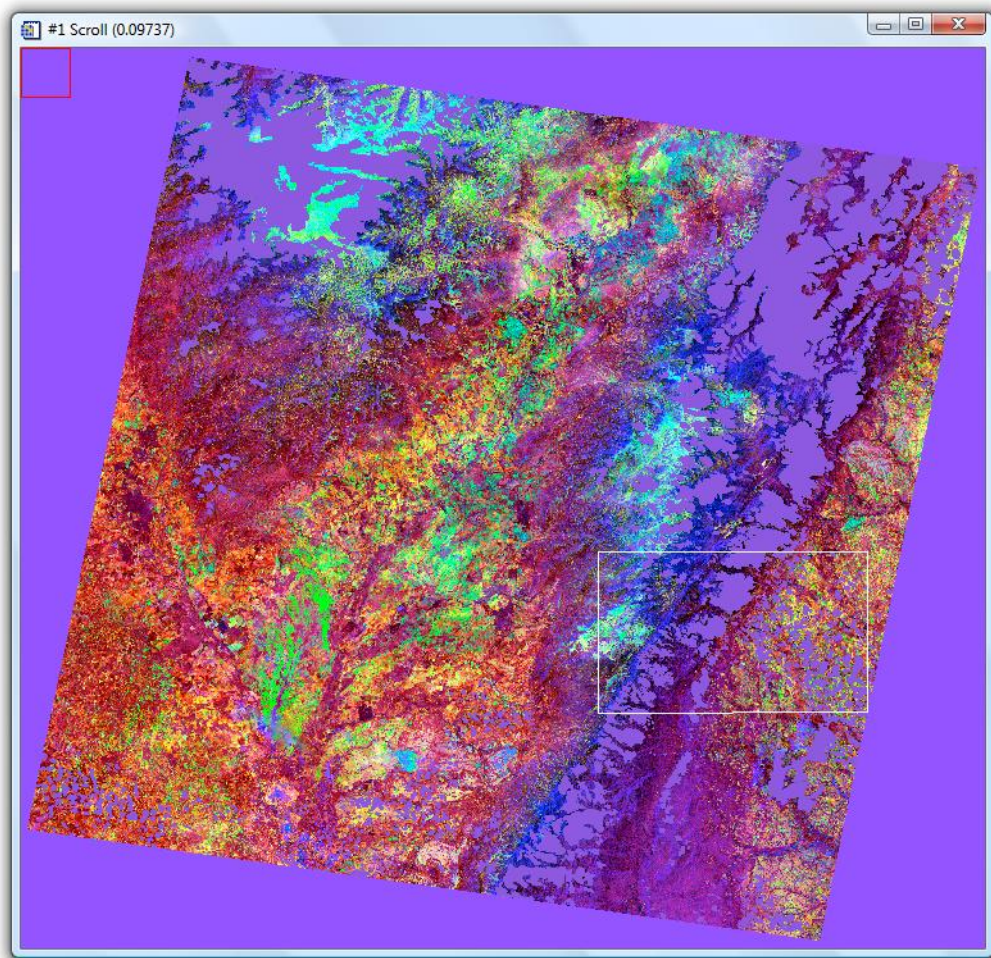


FIGURA N° 5. 3. Imagen *MNF* generada en el *software ENVI 4.2* a partir de la imagen *FLAASH*. En esta imagen la combinación de bandas utilizada es la 3-2-1 y el recuadro blanco en marca el área de estudio.

Un ejemplo de la utilidad de la imagen *MNF* para la identificación de las diferentes unidades litológicas se presenta a continuación (ver FIGURA N° 5.4). En la imagen, los posibles contactos interpretados a partir de la imagen *MNF* se encuentran representados por las líneas negras, esas líneas separan los agrupamientos de puntos donde hay dominio de determinado color, representando un tipo de litología.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

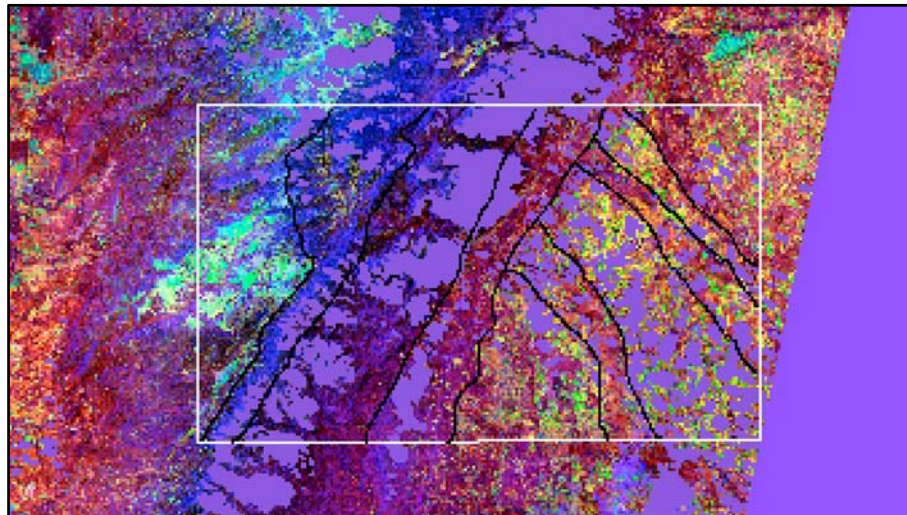


FIGURA N° 5. 4. Imagen *MNF* donde son claramente identificables las variaciones de colores que se encuentran asociados a cambios en la litología. El área dentro del recuadro blanco representa la zona de estudio.

Otra de las utilidades de esta imagen vino dada por el aporte hecho en lo que respecta a la identificación de drenajes, los cuales fueron apreciables claramente en la imagen con la combinación de bandas 1-2-3, tal como se puede observar en la figura que se presenta a continuación (ver FIGURA N° 5.5). Adicionalmente esta combinación de bandas resalta las variaciones de litologías (ver FIGURA N° 5.5).

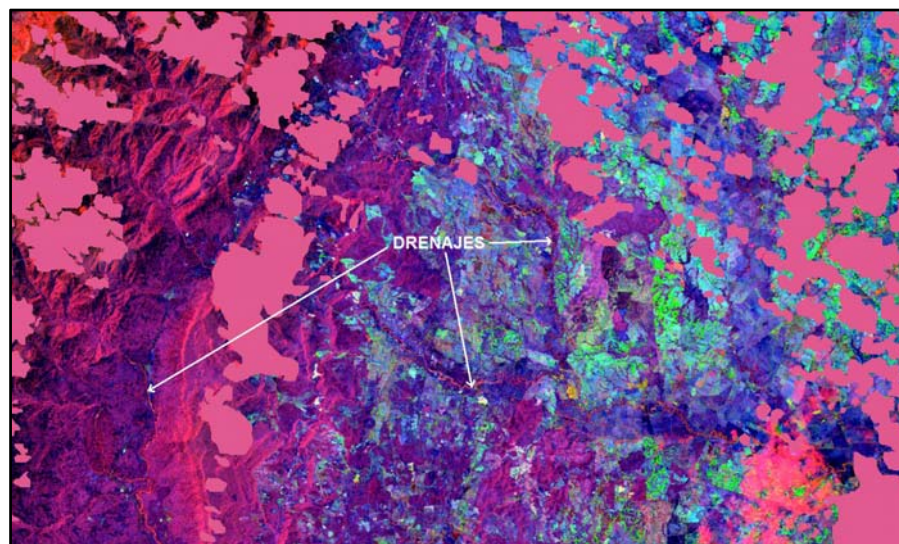


FIGURA N° 5. 5. En la imagen *MNF* las flechas blancas indican la presencia de drenajes. Igualmente la variación de colores indica variaciones en la litología.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

5.3 IMAGEN *PPI*

El tercero de los subproductos generados es la imagen *PPI*, que como se observa en la imagen de abajo (ver FIGURA 5.3), destacan en color blanco aquellos pixeles considerados puros dentro de la imagen, los cuales son mayoritarios hacia la zona central de la imagen.

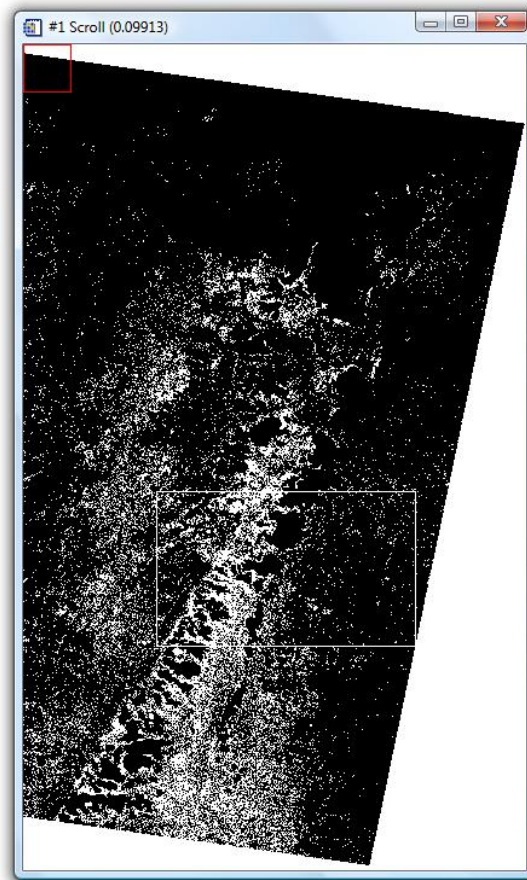


FIGURA N° 5. 6. Imagen *PPI* generada en el *software ENVI 4.2*, en el recuadro blanco se encuentra el área de estudio.

En la siguiente figura (ver FIGURA N° 5.6) se observa la mayor acumulación de pixeles puros en la parte centrooccidental del área de estudio, caracterizándose por seguir el alineamiento de la zona de alto relieve.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

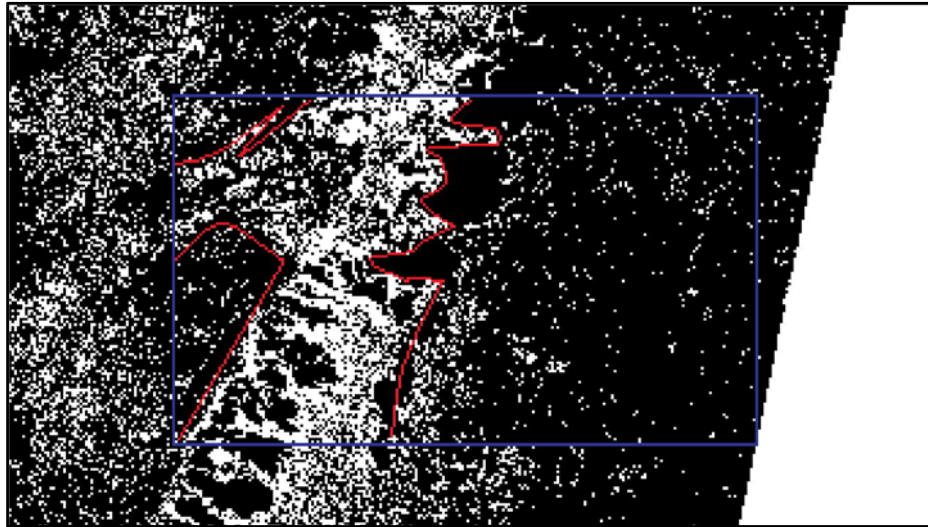


FIGURA N° 5.7. Imagen PPI con el área de estudio encerrada en el recuadro azul. La línea roja representa el límite entre las zonas de mayor presencia de pixeles puros de las zonas de menor presencia de pixeles.

5.4 N-DIMENSIONAL

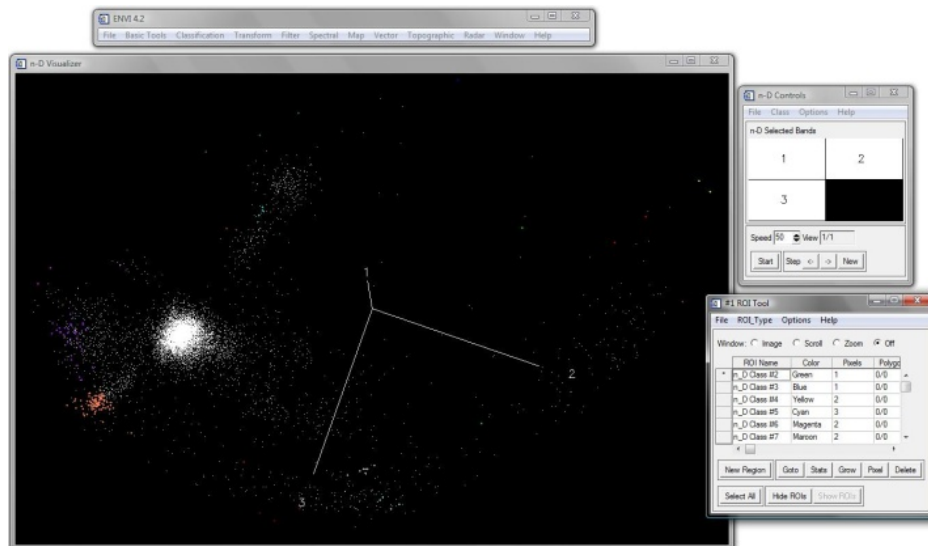


FIGURA N° 5.8. Imagen que muestra las clases obtenidas luego de ejecutado el proceso del N-Dimensional.

El *N-Dimensional* es un subproducto que sirvió para agrupar en clases los pixeles puros que conforman la imagen, para posteriormente aplicar el procedimiento del *SAM* a las clases identificadas en este proceso (ver FIGURA N° 5.8).

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

5.5 IMAGEN SAM

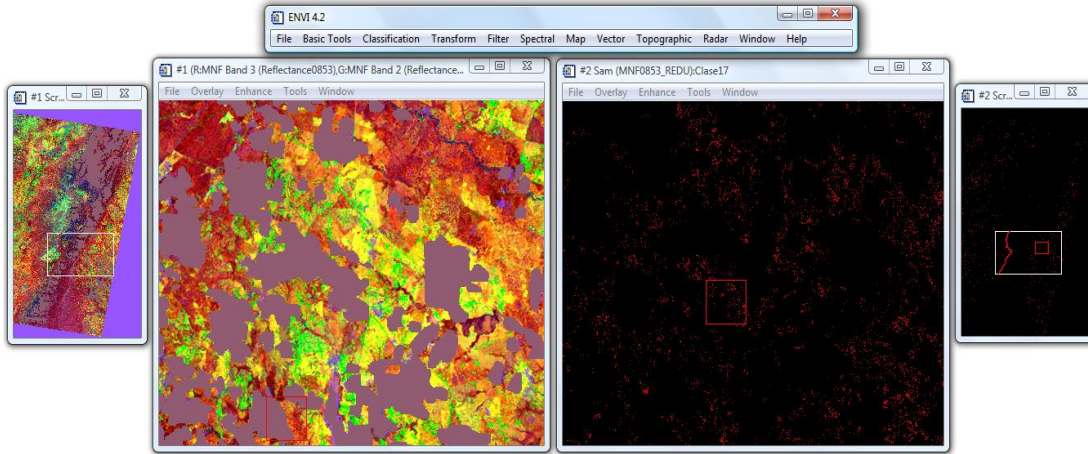


FIGURA N° 5.9. A la izquierda la imagen *MNF* y a la derecha una de las clases identificadas en el proceso del N-Dimensional, donde se puede apreciar la cantidad de píxeles puros que representan esa clase y el espacio que ocupan en el área seleccionada.

Con la aplicación del *SAM* se pudo determinar cuales de las clases encontradas con la ayuda del visualizador *N-Dimensional* existen en realidad, descartando aquellas que no se encontraban dentro del rango preestablecido.

Posteriormente, aquellas clases que por su condición angular se comprobó su existencia, fueron combinándose una a una con la imagen *MNF*, para ser ubicadas dentro del área de estudio y ver su correspondencia con la imagen, lo que ayudo en la determinación de los puntos reales en la imagen (ver FIGURA 5.9).

5.6 CLASIFICACION NO SUPERVISADA

Al introducir el numero de clases (20) para realizar la división de la imagen *LANDSAT* correspondiente a la región de Perijá, se obtuvo una variada distinción de litologías que van desde blandas hasta duras, pasando por clasificaciones intermedias como lo son litologías semi-blandas o semi-duras. En un principio sólo dos colores delimitan dichas clases, el negro absoluto determinando las sombras tanto de nubes como de filas, y por otro lado, el blanco absoluto determinando las nubes. El color

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

azul se asigna para los drenajes, aunque existen drenajes que se aprecian lo suficientemente oscuros como para relacionarlos con el negro. El tipo de relieve es un factor clave para la clasificación, debido a que el relieve de topografía alta se asocia con rocas que presentan litología de mayor resistencia a la erosión y meteorización; a diferencia del relieve con topografía baja el cual se asocia a rocas que presenten litología de menor o poca resistencia a los efectos de la erosión y meteorización. Al relieve intermedio se asociaron litologías que se encuentran comprendidas en la escala de dureza entre duro y blando.

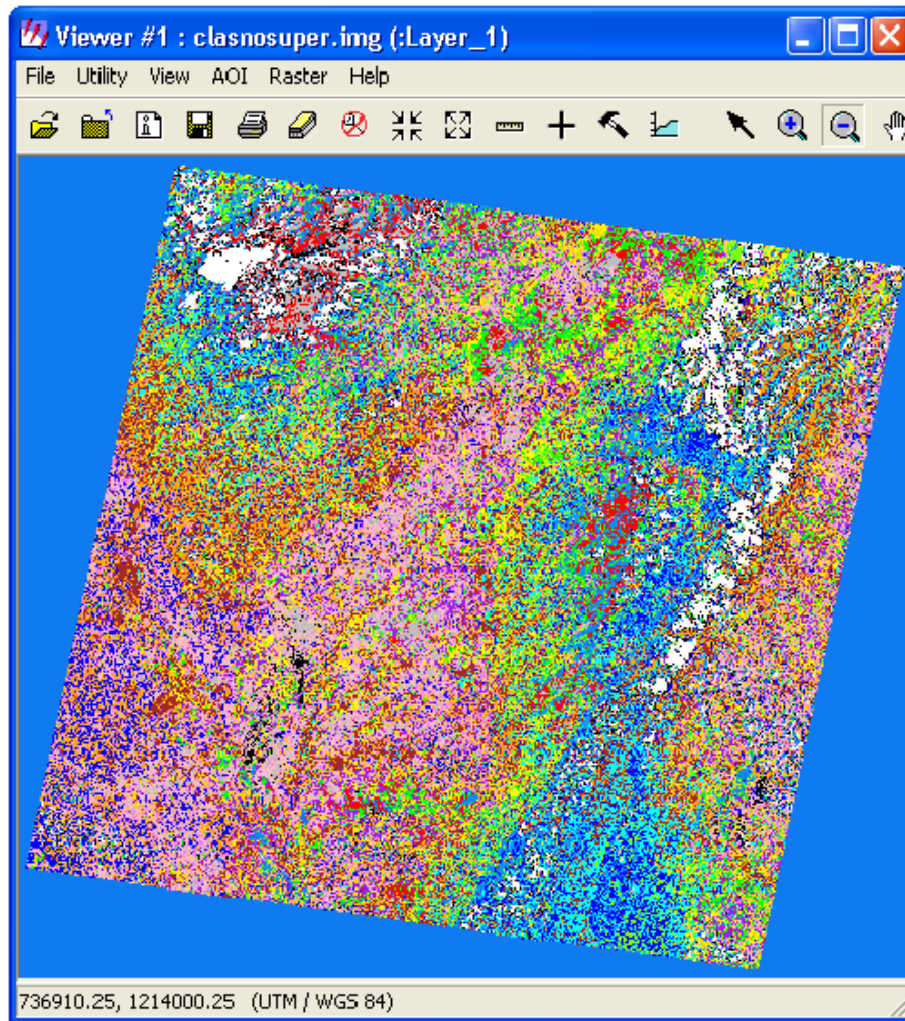


FIGURA N° 5. 10. Imagen de la clasificación NO supervisada realizada a la imagen *reflectance*.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Row	Histogram	Color	Red	Green	Blue	Opacity	Class Names
0	18		0	0	0		0 Sombra de nube
1	16104915		0.0627451	0.478431	0.945098		1 Sombra de nube y drenaje
2	836338		0.0509804	0.564706	0.917647		1 Sombra de fila y drenaje
3	1667398		0.0862745	0.6	0.945098		1 Sombra de fila y drenaje
4	1510939		0	0	1		1 Litología dura (zonas elevadas)
5	1672539		0.494118	1	0		1 Litología dura, zonas elevadas (Crestas de fila) resistentes a la erosión (aban
6	1995086		0	1	0		1 Litología semi-dura, menos resistente a la erosión
7	2762493		0	1	1		1 Litología semi-dura, forman terrazas (sureste) y zonas de elevación (al noroeste)
8	2350798		1	1	0		1 Litología semi-blanda.
9	2628946		1	0.835294	0		1 Litología blanda, se encuentra en zonas de media a baja elevación; excepto
10	4956094		0.639216	0.156863	0.156863		1 Litología blanda asociada a la clase 7; en algunos sectores representa zona:
11	2595147		1	0.639216	0		1 Class 11 Litología semi-blanda que se encuentra espaciada por toda la image
12	1989338		0	0	1		1 Class 12 Representa zonas de cultivo de escasa elevación
13	2395819		0.92549	0.501961	0.92549		1 Class 13 Litología blanda
14	1761649		1	0.705882	0.74902		1 Class 14 Litología blanda vinculada con los cultivos
15	2094787		1	0.745098	0.788235		1 Class 15 Litología blanda que se encuentra distribuida en todas las zonas de
16	2497285		0.619608	0.117647	0.933333		1 Class 16 Litología blanda representada en la región central y al este de la im:
17	1213463		1	0	0		1 Class 17
18	1759024		0.745098	0.745098	0.745098		1 Class 18
19	1130393		0	0	0		1 Class 19
20	1787471		1	1	1		1 Class 20 Nube

TABLA N° 2. En esta tabla se aprecia la distribución de las clases generadas por el *software ERDAS Imagine 8.6* y corresponde con la imagen FIGURA 5. 5.

En el siguiente ejemplo se muestra el resultado de la aplicación de la clasificación No supervisada. En primera instancia se procede a solapar el mapa geológico de Duerto (1998) sobre la imagen *FLAASH* con las divisiones de clases (ver FIGURA 5.11), donde, luego se relacionan los datos del tipo de litología recopilados en la bibliografía que conforman las diferentes formaciones presentes en la zona, con los obtenidos de la interpretación de la clasificación No supervisada; presentando de ésta forma, un resultado preliminar que refleja concordancia en la ubicación de las formaciones cartografiadas por dicho autor con el tipo de litología que la componen. Seguidamente se verifican los resultados obtenidos en el mapa solapando el *shapefile* de las formaciones (ver FIGURA N° 5.12) en la imagen de la clasificación No supervisada, observándose una mayor exactitud en la coincidencia en la ubicación de las mismas.

En el caso ilustrado en la FIGURA N°5.13, las formaciones Mirador, Carbonera, La Sierra, La Villa y el Grupo Orocué; son sólo una muestra de la aplicación y utilidad de la herramienta que incluye la clasificación No supervisada.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

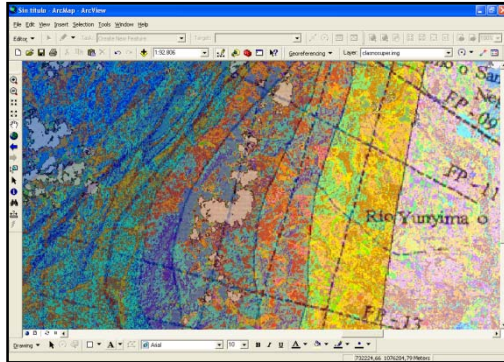


FIGURA N° 5. 11. Relación de la clasificación No supervisada con el mapa de Duerto (1998)

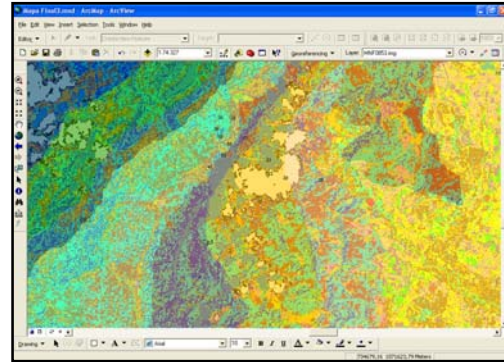


FIGURA N° 5. 12. Relación de la clasificación NO supervisada con el mapa producto.

(Se utilizan estos mapas a manera de establecer una comparación visual del resultado, la ubicación de los contactos es relativa, no es exacta por la diferencia de escala que existe entre estos mapas y la imagen)

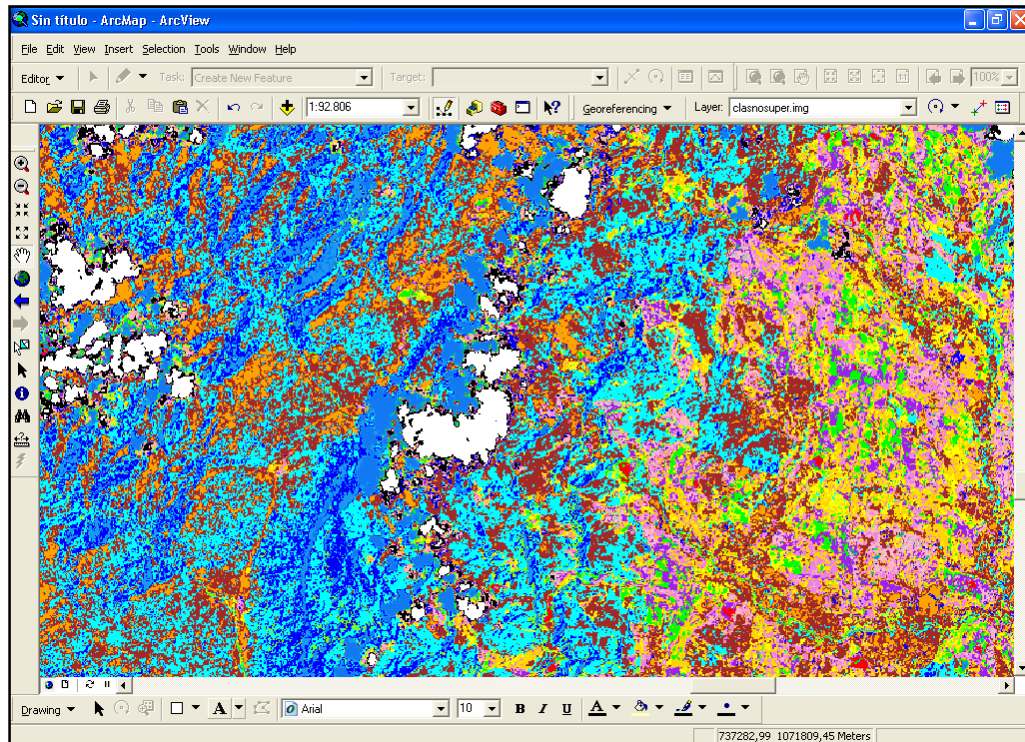


FIGURA N° 5. 13. Se aprecia las diferencias entre las clases que identifican a las formaciones: Mirador (azul claro con tonos marrones), Carbonera (azul claro con tonos verde), La Sierra (azul claro, azul oscuro, naranja y rosado), La Villa (rosado) y Grupo Orocué (azul oscuro)

5.7 CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

Con la ayuda de el mapa geológico de Perijá realizado por Duerto (1998), se estableció una relación entre la litología presente en el mapa con la observada en la

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

imagen *LANDSAT* (sólo el territorio venezolano), lo cual generó como resultado 13 clases que describen los diferentes tipos de litología pertenecientes a las formaciones que conforman el área de estudio. En esta parte también se toman en cuenta las zonas oscuras (sombras de nube) y las claras (nubes) como dos clases que no se relacionan con litologías pero que si afectan en el momento de demarcar dichas formaciones.

Dentro de la zona delimitada por el *shapefile* “área” (la cual representa la región de estudio) se establecieron las siguientes formaciones como principales indicadoras de litología:

- Formación La Sierra (representada en color amarillo)
- Formación Carbonera (representada en color rojo)
- Formación Mirador (representada en color ocre)
- Formación Colón-Mito Juan sin diferenciar (representada en color verde oscuro)
- Grupo Orocué (representada en color cyan)
- Formación Luna (representada en color verde claro)
- Formación Quinta (representada en color azul)
- Formación Río Negro (representada en color verde claro)
- Grupo Cogollo (representada en color rojo ladrillo)

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

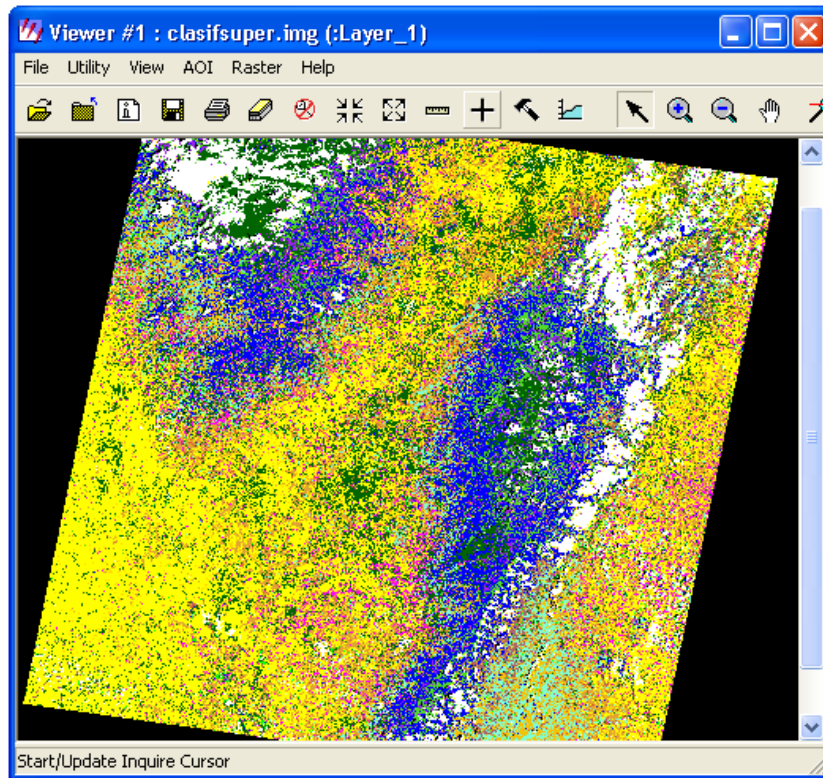


FIGURA N° 5. 14. Representación de las clases que integran la Clasificación Supervisada.

En la imagen de la clasificación supervisada se lograron cotejar la ubicación de algunas de las formaciones presentes en el área de estudio, con relación a los mapas existentes, tal como lo demuestran los tres ejemplos que se presentan a continuación:

5.7.1 Ejemplo 1: Formación La Quinta

El primer ejemplo muestra la ubicación de la Formación La Quinta, la cual se encuentra representada por los dominios de color azul dentro de la imagen de clasificación supervisada (ver FIGURA 5.17). Colocando como base la imagen *FLAASH*, se puede apreciar que la formación mencionada anteriormente, se encuentra ubicada de manera correspondiente con respecto al mapa geológico de Chaplet (1999) (ver FIGURA 5.15) y al de Duerto (1998) (ver FIGURA 5.16).

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

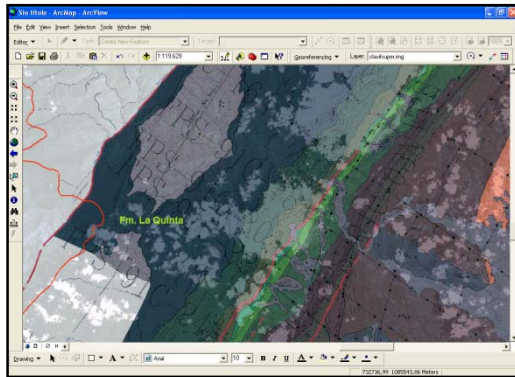


FIGURA N° 5. 15. La imagen muestra la Fm.La Quinta en el mapa de Chaplet (1999), el cual esta superpuesto sobre la imagen *FLAASH*.

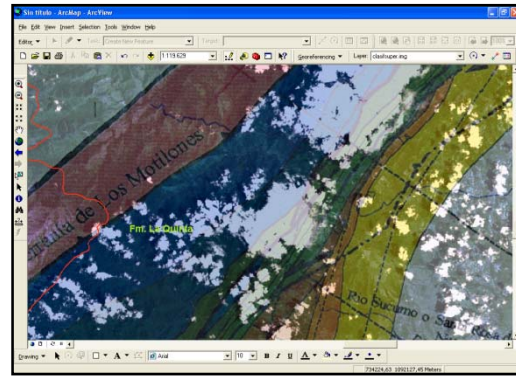


FIGURA N° 5. 16. La imagen muestra la Fm.La Quinta en el mapa de Duerto (1998), el cual esta superpuesto sobre la imagen *FLAASH*.

(se utilizan estos mapas a manera de establecer una comparación visual del resultado, la ubicación de los contactos es relativa, no es exacta por la diferencia de escalas que existe entre estos mapas y la imagen)

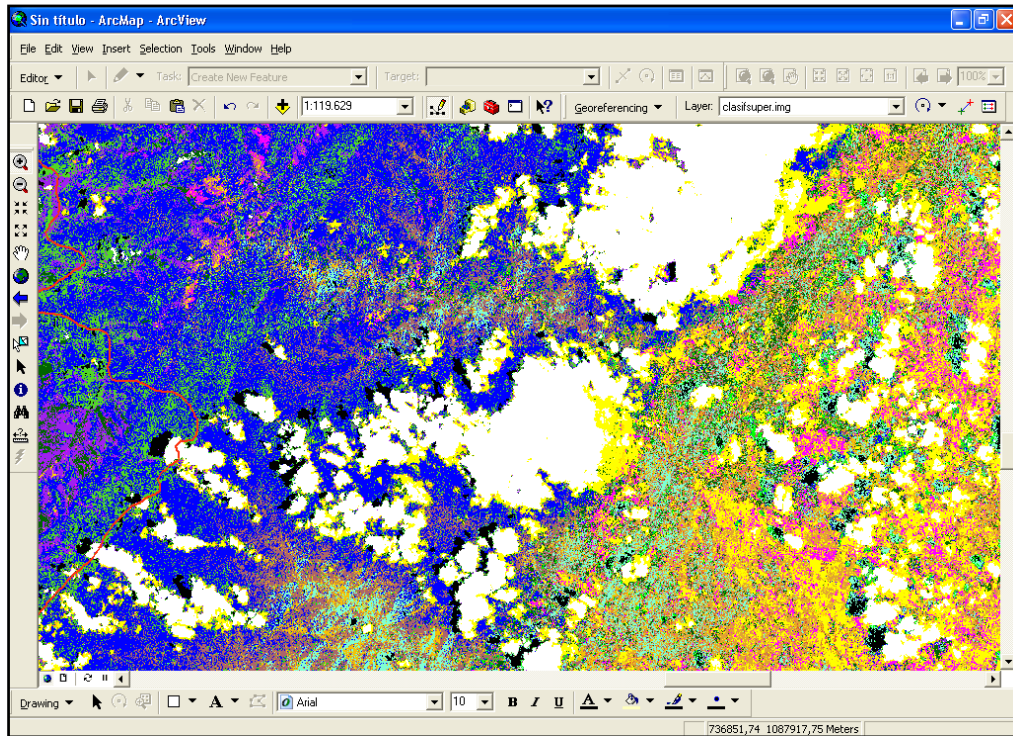


FIGURA N° 5. 17. La imagen muestra la una sección de la clasificación supervisada en donde el dominio del color azul representa a la Formación La Quinta (azul oscuro) correspondiendo así con lo propuesto por Duerto (1998) y Chaplet (1999).

5.7.2 Ejemplo 2: Formación La Villa

El segundo ejemplo muestra la ubicación de la Formación La Villa, la cual se encuentra representada por los dominios de color fucsia dentro de la imagen de

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

clasificación supervisada (ver FIGURA 5.19). Colocando como base la imagen *FLAASH*, se puede apreciar que la formación mencionada anteriormente, se encuentra ubicada de manera correspondiente con respecto al mapa geológico de Duerto (1998) (ver FIGURA 5.18), aunque ocupando una menor extensión areal.

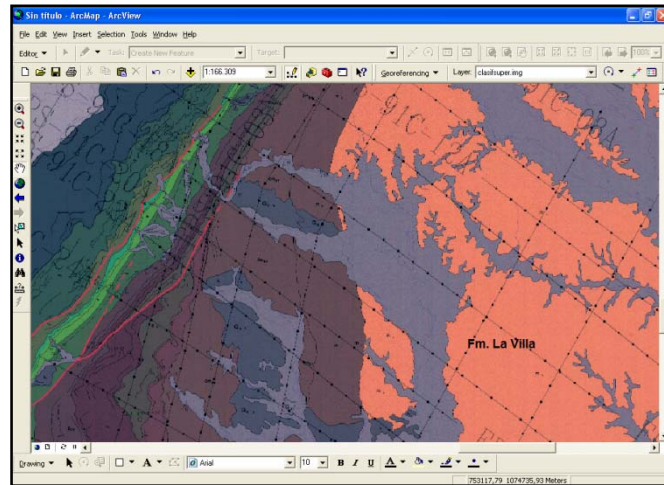


FIGURA N° 5. 18. Mapa de Chaplet (1999) donde se observa la Fm. La Villa en color rosado. (se utiliza este mapa a manera de establecer una comparación visual del resultado, la ubicación de los contactos es relativa, no es exacta por la diferencia de escala que existe entre estos mapas y la imagen)

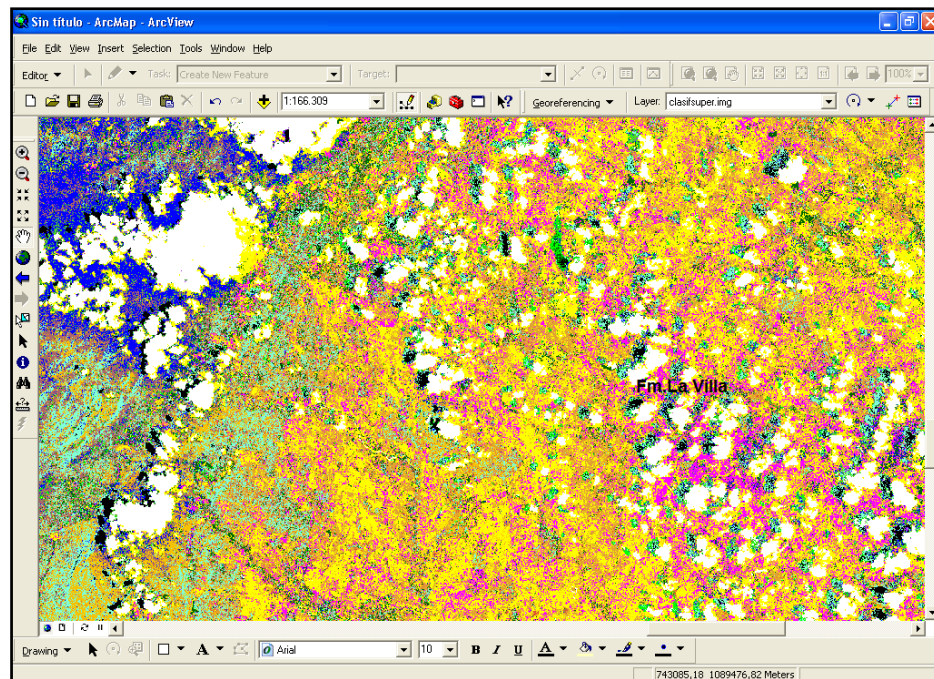


FIGURA N° 5. 19. En la imagen las zonas con dominio de color fucsia representan la Fm. La Villa dentro de la clasificación supervisada.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

5.7.3 Ejemplo 3: Formación Mirador

El tercer ejemplo muestra la ubicación de la Formación Mirador, la cual se encuentra representada por los dominios de color rojo dentro de la imagen de clasificación supervisada (ver FIGURA 5.22). Colocando como base la imagen *FLAASH*, se puede apreciar que la Formación mencionada anteriormente, se encuentra aproximadamente ubicada de manera correspondiente con respecto al mapa geológico de Chaplet (1999) (ver FIGURA 5.20) y al de Duerto (1998) (ver FIGURA 5.21).

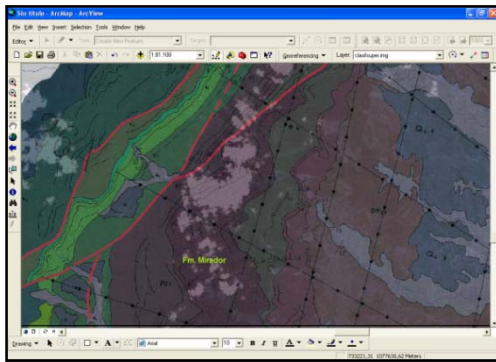


FIGURA N° 5. 20. La imagen muestra la Fm.Mirador en el mapa de Chaplet (1999), el cual esta superpuesto sobre la imagen *FLAASH*.

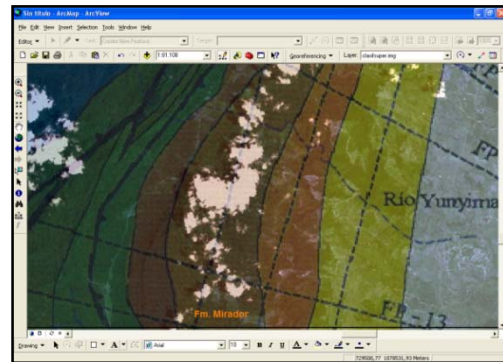


FIGURA N° 5. 21. La imagen muestra la Fm.Mirador en el mapa de Duerto (1998), el cual esta superpuesto sobre la imagen *FLAASH*.

(se utiliza este mapa a manera de establecer una comparación visual del resultado, la ubicación de los contactos es relativa, no es exacta por la diferencia de escala que existe entre estos mapas y la imagen)

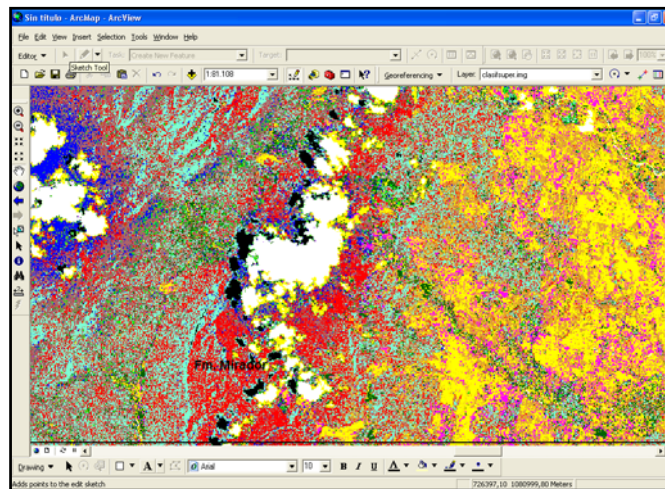


FIGURA N° 5. 22. En la imagen se observa a la Fm. Mirador representada por el dominio de color rojo dentro de la clasificación supervisada.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

5.8 COMBINACIÓN DE BANDAS

De la combinación de las bandas que componen la imagen *LANDSAT*, se pueden obtener ciertas combinaciones que resalten algunas características en específico dentro de la imagen, es así que durante la fase de generación de los *shapefile* de los distintos rasgos geológico se efectuó la combinación de las mismas, resultando las de mayor utilidad las que se mencionan a continuación:

5.8.1 Combinación de bandas 3-2-1

Esta combinación es la que mas se acerca a los colores reales (ver FIGURA 5.22) y constituyo la combinación base del análisis, siendo de mucha utilidad para la división de formaciones (ver FIGURA N° 5.2) y para la diferenciación de las zonas de alto relieve de las de bajo relieve (ver FIGURA 5.22). Dicha combinación consistió en colocar en el cañón 1 (espectro color azul), la banda N°3; en el cañón 2 (espectro color verde), la banda N°2; y en el cañón 3 (espectro color rojo), la banda N°1.

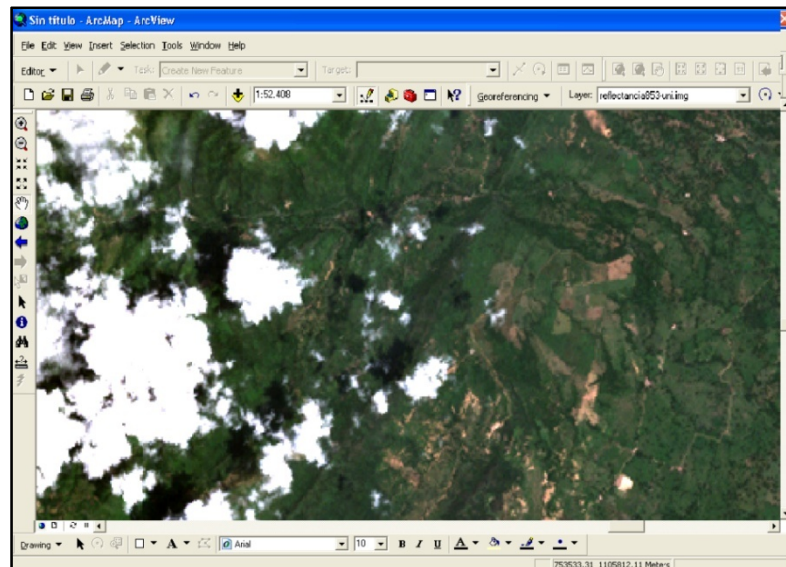


FIGURA N° 5. 23. La imagen muestra el archivo *FLAASH* abierto con la combinación 3-2-1 y en esta se observa como resaltan aquellas zonas donde hay cambios de vegetación, llegándose a diferenciar zonas de alto relieve y de relieve intermedio.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

5.8.2 Combinación de bandas 4-5-3

Esta combinación fue de mucha utilidad para la identificación y ubicación de drenajes, accidentes topográficos y estructuras dentro del área de estudio debido a que se logran apreciar con mayor claridad los cauces, relieve topográfico y anomalías en él (ver FIGURA 5.23). Adicionalmente, con esta combinación fue posible establecer contactos entre litologías, pues en ella se aprecian cambios de color que indican tales variaciones. Dicha combinación consistió en colocar en el cañón 1 (espectro color azul), la banda N°4; en el cañón 2 (espectro color verde), la banda N°5; y en el cañón 3 (espectro color rojo), la banda N°3.

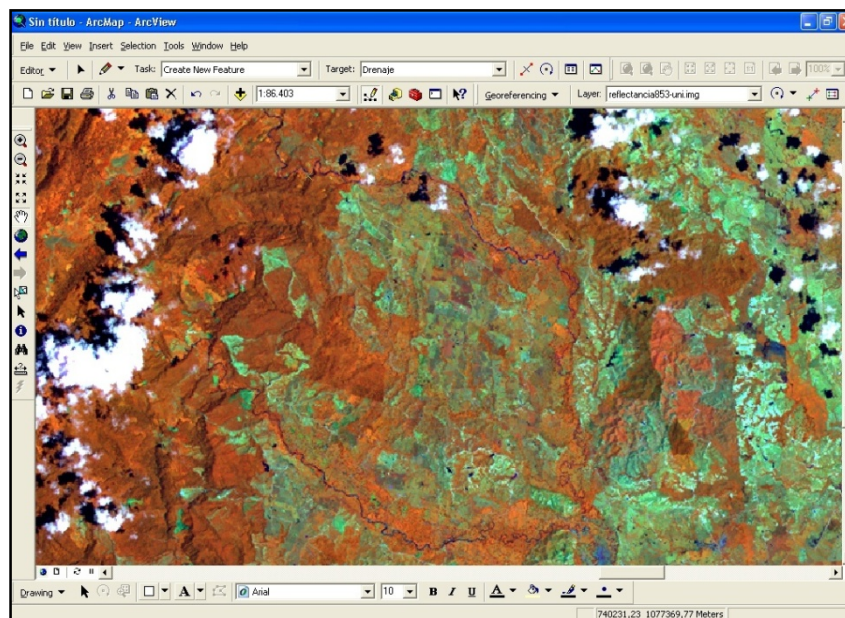


FIGURA N° 5. 24. Imagen *FLAASH* con la combinación de bandas 4-5-3. Se puede observar como con esta combinación resaltan los drenajes, la topografía y variaciones litológicas. Formación La Villa (diferenciada en el color verde claro).

5.8.3 Combinación de bandas 4-5-6

Al igual que la combinación anterior, esta fue de mucha utilidad para la identificación y ubicación de drenajes (ver FIGURA 5.25), aunque con esta combinación se resaltan notoriamente los accidentes topográficos y estructuras dentro

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

del área de estudio (ver FIGURA 5.26). Por otro lado, esta combinación permitió establecer diferencias entre zonas húmedas y zonas de alto relieve, donde la litología se diferencia claramente por sus colores. Dicha combinación consistió en colocar en el cañón 1 (espectro color azul), la banda N°4; en el cañón 2 (espectro color verde), la banda N°5; y en el cañón 3 (espectro color rojo), la banda N°6.

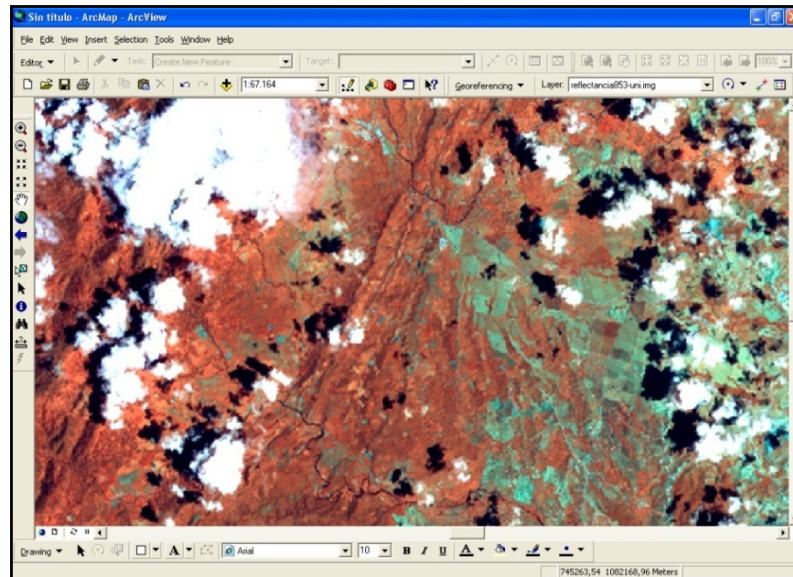


FIGURA N° 5. 25. Imagen *FLAASH* con la combinación 4-5-6, en donde se puede apreciar resaltan principalmente los drenajes.

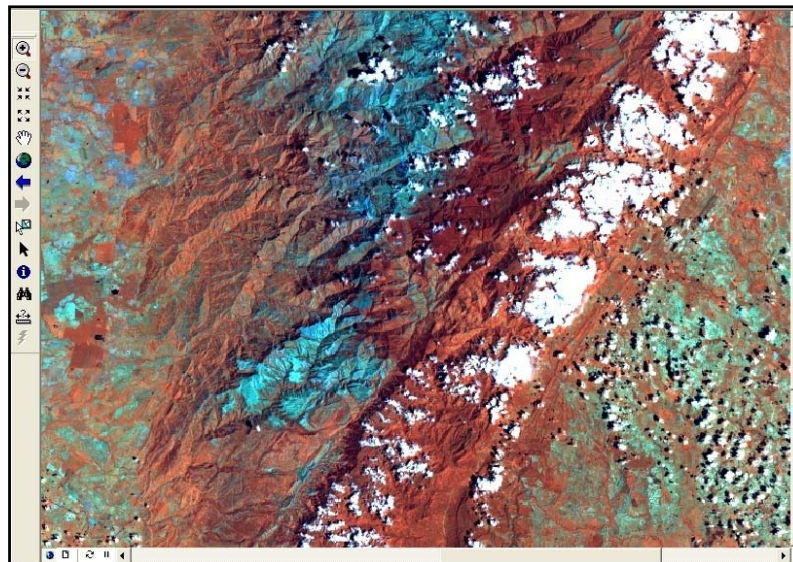


FIGURA N° 5. 26. Imagen *FLAASH* con la combinación 4-5-6, en donde resalta la topografía y las estructuras.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

5.8.4 Combinación de bandas 3-4-5

Con esta combinación se aprecian los cambios de vegetación, resultando de mucha utilidad para identificar las variaciones de las litologías que componen la zona baja del área de estudio, además de resaltar la topografía de las zonas altas, lo que facilitó la vectorización de los drenajes que se encuentran en esas zonas. Adicionalmente, esta combinación es útil para el reconocimiento e identificación de estructuras y diferenciación de las zonas por su contenido de vegetación, pues la intensidad del color verde indica zonas de mayor presencia de vegetación (ver FIGURA N° 5.27). Dicha combinación consistió en colocar en el cañón 1 (espectro color azul), la banda N°3; en el cañón 2 (espectro color verde), la banda N°4; y en el cañón 3 (espectro color rojo), la banda N°5.

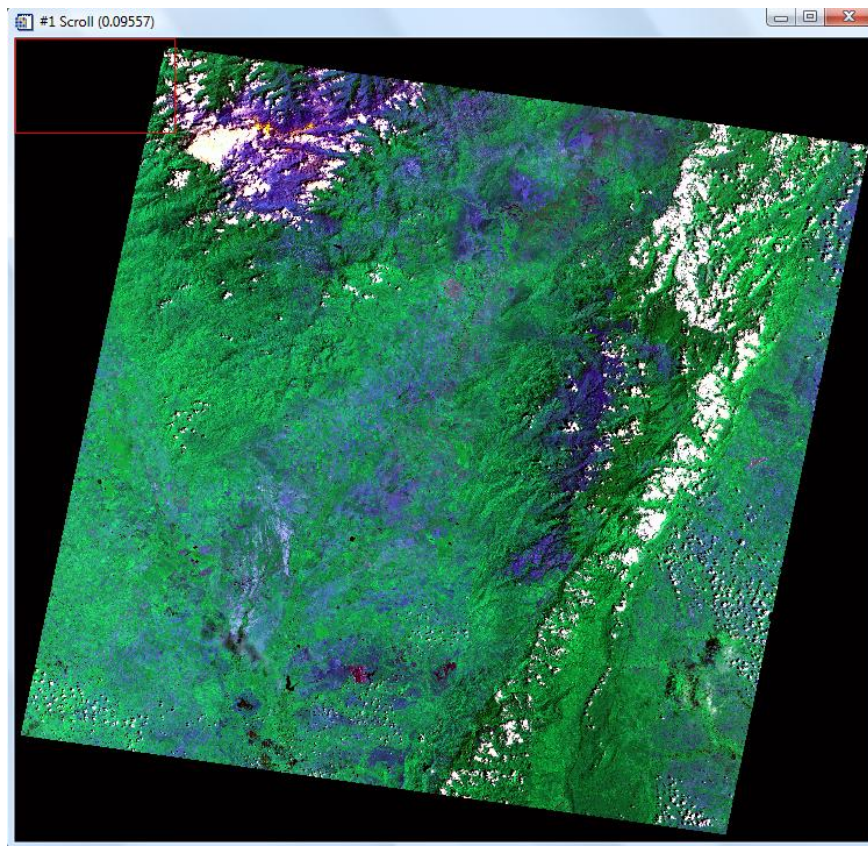


FIGURA N° 5. 27. Imagen *FLAASH* con la combinación 3-4-5, en donde resalta los cambios de vegetación.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

5.9 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

El modelo digital de elevación constituyó una herramienta muy valiosa para la definición de los rasgos estructurales como: corrimientos, fallas locales y pliegues (anticlinal Río Negro) dentro del área de estudio, debido a que proporciona una visión en tres (3) dimensiones de la misma.

Con la utilización del modelo digital de elevación se pudo establecer una clara diferencia entre las zonas de alto y bajo relieve, logrando ubicar hacia la parte este de la zona de estudio un área de relieve intermedio, donde se encuentran localizados un grupo de cerros que ocupan gran parte de esa zona y que en la imagen *reflectance* (y en otras imágenes) fue inferido como una zona baja a intermedia, caracterizada por ser bastante húmeda (ver FIGURA N° 5.28). Entre ese grupo de cerros es posible identificar los cauces de los ríos y su respectivas planicies de inundación.

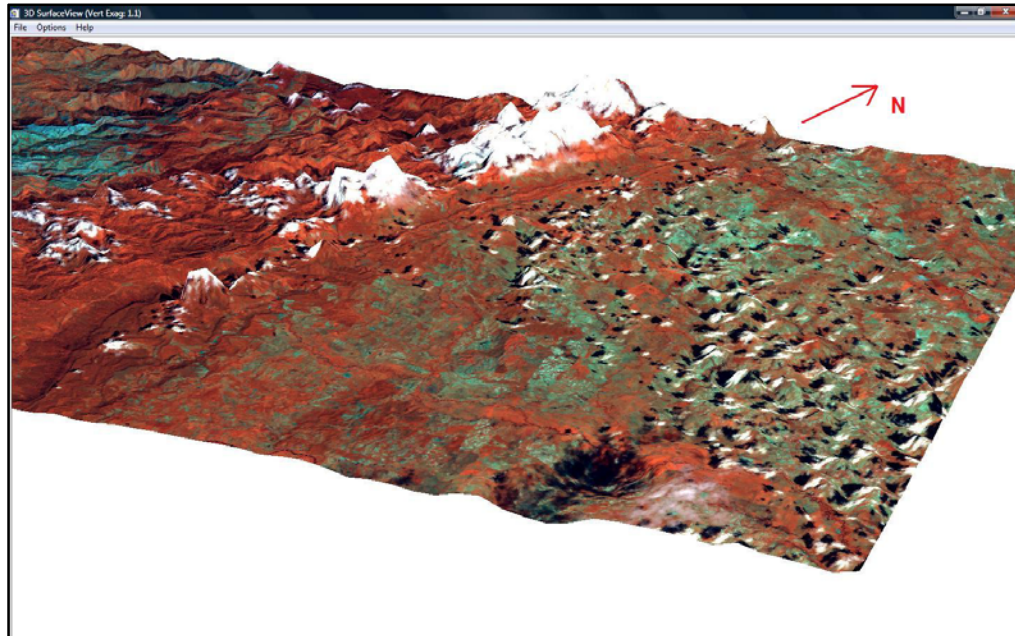


FIGURA N° 5. 28. MDE donde se pueden observar la zona de cerros hacia la parte este del área de estudio y una zona de planicie hacia el sur-centro. Hacia el sureste se puede apreciar un hundimiento imposible de determinar con vistas en planta o 2D.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Por otro lado, hacia la parte sur-central de la zona de estudio se identifico una zona de bajo relieve, mientras que un poco mas hacia el sureste del área se visualiza un hundimiento que no es posible apreciar con la visión en 2D (ver FIGURA N° 5.28).

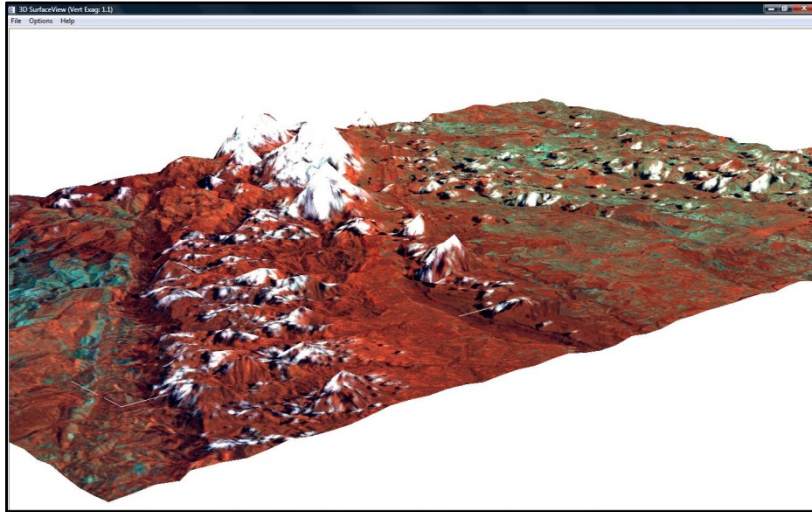


FIGURA N° 5. 29. Ejemplo del MDE que muestra los corrimientos presentes en la zona y su cierto paralelismo.

El MDE fue una herramienta muy útil en la observación y ubicación de los corrimientos presentes en la zona, tal y como se aprecia en la imagen superior (ver FIGURA N° 5.29) y en la imagen inferior (ver FIGURA N° 5.30).

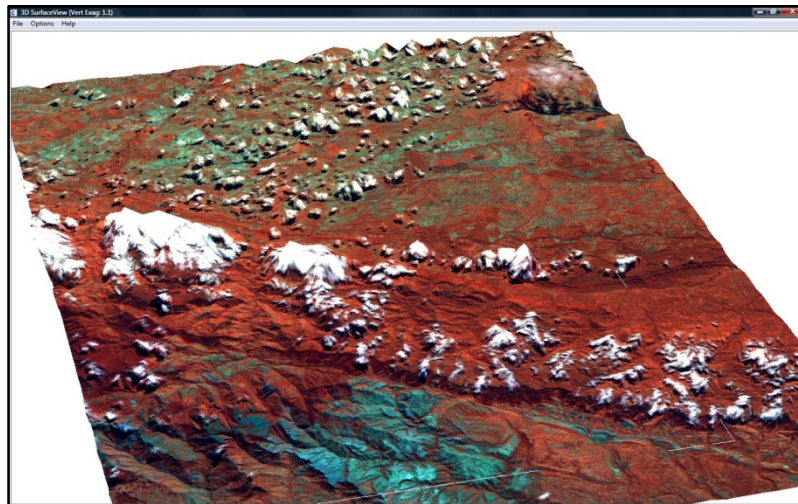


FIGURA N° 5. 30. Ejemplo del MDE que muestra los corrimientos presentes en la zona y su cierto paralelismo.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

5.10 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS Y GEOLÓGICAS DEL MAPA GENERADO

5.10.1 Drenajes

Uno de los sub-productos generados durante el procesamiento de la imagen es el archivo *shapefile* de los drenajes (ver FIGURA 5.31), el cual fue creado vectorizando los mismos y una vez obtenido este *shapefile* se realizó un análisis general del conjunto de drenajes representado en la propuesta de mapa realizada y del cual se desprende la diferenciación de al menos tres secciones, a nombrar como sección este, sección central y sección oeste.

La sección este del mapa se encuentra caracterizado por la escasa presencia de drenajes en la zona sur, destacando el Caño Televambio, el cual cuenta con una orientación preferencial este-oeste. Hacia la parte norte de esta sección la cantidad de drenajes es mucho más densa y en ella se pueden identificar dos ríos principales, el Río Negro (más Al norte) y el Río Yasa (más al sur). Ambos ríos tienen una orientación preferencial noroeste-sureste y destaca su pseudo paralelismo. Es importante señalar, que por la cantidad de nubes presentes en la zona sur de la imagen, se dificultó la identificación de drenajes en dicha área.

En la sección central del mapa, se puede apreciar cómo se conserva el paralelismo entre el Río Tucuco y el Río Sucumo, los dos drenajes principales que componen esta área. Dichos drenajes se encuentran hacia la zona sur de la sección y poseen una orientación preferencial que es casi norte-sur, aunque a medida que se avanza hacia el norte la orientación de ambos drenajes va cambiando hasta quedar casi este-oeste. Los patrones de drenajes de los principales ríos afluentes se presentan con cierto grado de paralelismo entre sí, destacando hacia el sur de la sección la presencia de unos pocos drenajes ramificados.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

La sección oeste, es un poco menos densa que la sección central en cuanto a la cantidad de drenajes presentes en la misma y se encuentra definida por un drenaje principal de orientación preferencial noreste-suroeste, cuyos principales afluentes son un grupo de drenajes orientados con dirección noroeste-sureste, con los cuales se intercepta formando ángulos fuertes, llegando a ser casi perpendiculares entre sí. Este grupo de afluentes se presentan arreglados de forma paralela entre ellos.

A manera muy general, se tiene que existe gran concordancia en lo que se refiere a la orientación y ubicación de los drenajes identificados en la imagen satelital y los drenajes propuestos en mapas anteriores, teniendo en cuenta la existencia de desplazamientos relativos con respecto al sitio por donde se ubico el drenaje. En el caso de la sección este, se logra apreciar un considerable cambio con respecto al ancho del cauce de cada una de las vertientes que lo componen, siendo mucho más amplio lo cartografiado en el mapa geológico de Chaplet (1999), lo que indica una posible mayor superficie de inundación al momento de que se tomo la información. En lo que respecta a la sección central, presenta vertientes que concuerdan con las mostradas en el mapa geológico de Chaplet (1999), a diferencia del cauce principal donde éstas desembocan, el cual no se encuentra cartografiado en dicho mapa.

Los drenajes interpretados son en parte, resultado de zonas de nubosidad que de alguna u otra forma cortan la trayectoria de un drenaje en particular. En la región de la superficie de máxima inundación (sección este de la imagen), se aprecian algunos cauces abandonados producto de épocas de sequia. Dichos cauces, marcan el gran aporte de sedimentos por parte de los drenajes provenientes de la Serranía de los Motilones en época de lluvia.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

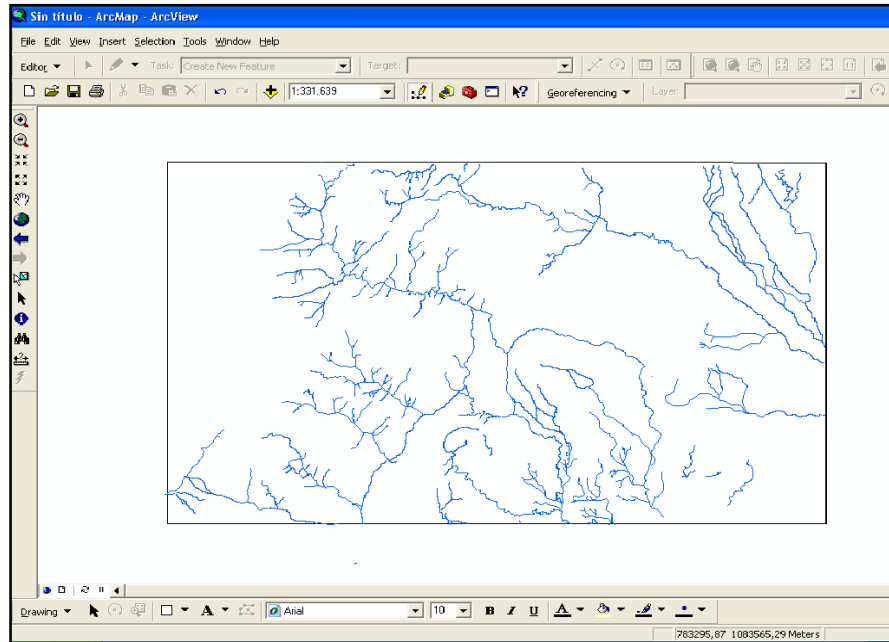


FIGURA N° 5. 31. *Shapefile* con drenajes interpretados y en el se pueden apreciar algunas de las características descritas anteriormente.

5.10.2 Estructuras

Las estructuras presentes en el área de estudio (ver FIGURA 5.32) están representadas principalmente por los corrimientos que dominan la parte central; el primero (Ci1) ubicado hacia el oeste del mapa, el segundo (Ci2) ubicado en la parte central y un tercero (Ci3) ubicado más hacia el este, presentan una misma dirección preferencial noroeste-sureste; demostrando de esta manera pseudoparalelismo entre ellos. Estos grandes corrimientos controlan toda la parte estructural de esta zona de la Sierra de Perijá, formando una región plegada y fallada entre la Serranía de los Motilones y la superficie de máxima inundación. Existen fallas (Fi1, Fi2, Fi3, Fi4) que presentan direcciones con cierto grado de perpendicularidad a los corrimientos, las cuales se encuentran ubicadas entre los corrimientos Ci1 y Ci2. Las fallas Fi1 y Fi2, ubicadas en la parte norte del mapa presentan una dirección preferencial este-oeste; a diferencia de ellas, las fallas Fi3 y Fi4, que se encuentran en la parte sur del mapa presentan una dirección noroeste-sureste.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Las fallas interpretadas son producto de:

- Zonas de nubosidad que interrumpen el lineamiento continuo de una falla en particular.
- Fallas observadas que no se presentan cartografiadas en los mapas geológicos de Duerto (1998) y Chaplet (1999).
- Fallas presentes en los mapas geológicos de Duerto (1998) y Chaplet (1999) que no fueron apreciadas debido a discrepancias con las apreciaciones de dichos autores; o por la densa nubosidad presente en la zona.

La morfología de la Serranía de los Motilones es controlada por un anticlinal (Anticlinal Río Negro) que se encuentra ubicado hacia el oeste del mapa, paralelo al corrimiento (Cp1), el cual es producto de la compresión generada por las capas que componen el frente de dicho corrimiento.

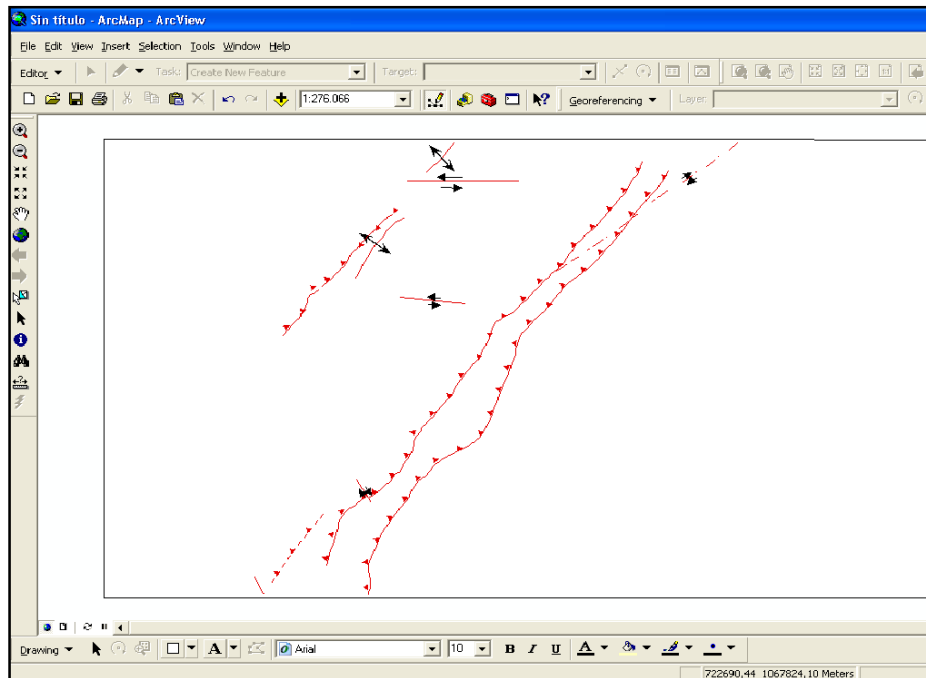


FIGURA N° 5. 32. *Shapefile* con las estructuras interpretadas por nosotros y las propuestas por otros autores.

5.10.3 Litología

Los contactos litológicos están demarcados de acuerdo a las formaciones presentes en la zona; las cuales se determinan a través de la clasificación supervisada y la cartografía de las mismas en los mapas geológicos de Duerto (1998) y Chaplet (1999), la cual sirvió de guía para la realización del mapa geológico 1:50.000 presentado.

La delimitación de las formaciones que componen el mapa propuesto en este trabajo, se determinó utilizando la imagen MNF en la cual se percibe de manera superficial la forma de las formaciones presentes; seguida de la comparación de las firmas espectrales de sectores en particular donde se logran apreciar las diferencias o similitudes basadas en la vegetación, tipo de suelo y su composición mineralógica de dos o más zonas de interés que pertenezcan a una o varias formaciones en particular; de este modo se logra demarcar con exactitud los límites entre ellas.

A continuación se muestra ejemplos gráficos que permiten visualizar el procedimiento utilizado en la demarcación de los límites de las formaciones explicado anteriormente: en la siguiente figura se aprecian los diferentes tipos de firmas espectrales que permiten diferenciar los límites de las extensiones geográficas de las formaciones La Luna, Colón Mito-Juan (sin diferenciar) y el grupo Cogollo; donde se logran discriminar a la Formación La Luna en las bandas 2, 5 y 6 con respecto a la Formación Colón Mito-Juan (sin diferenciar); esto es debido a que ésta Formación, posee una vegetación, humedad y mineralogía diferente a la Formación La Luna. Así mismo, el grupo Cogollo presenta diferencias en sus firmas espectrales con respecto a las otras dos formaciones.

En la FIGURA N°5.33 se muestran las firmas espectrales pertenecientes a las formaciones: La Luna, Colón Mito-Juan (sin diferenciar) y el grupo Cogollo.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

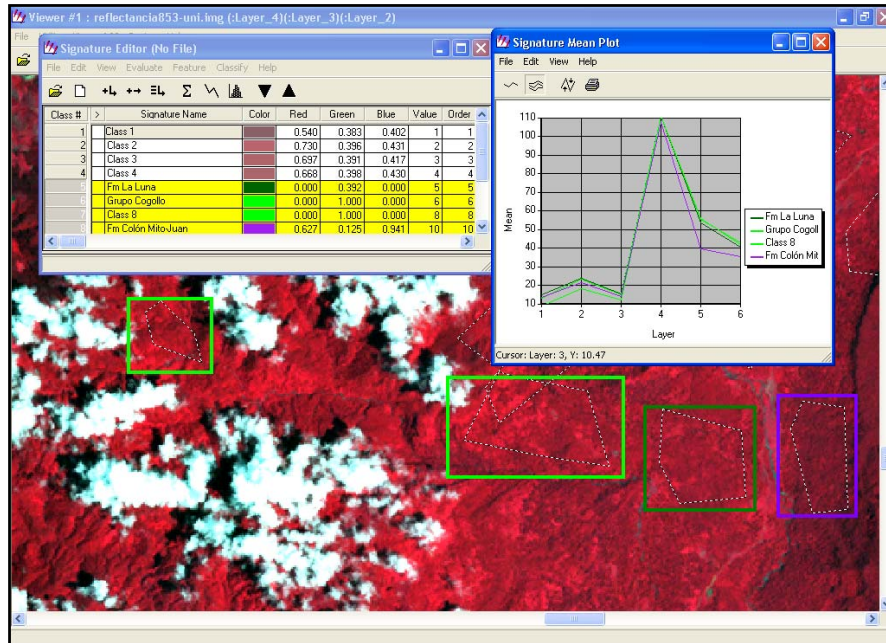


FIGURA N° 5. 33. Firmas espectrales que representan a las formaciones La Luna (verde oscuro), Colón Mito-Juan (sin diferenciar) en fucsia y el Grupo Cogollo (verde claro).

Al comparar los resultados obtenidos con el mapa geológico de Chaplet (1999) se logra apreciar que existe discrepancia con respecto a las extensiones territoriales de algunas formaciones, sobre todo en la parte este de la imagen, donde el Cuaternario ha extendido sus límites abarcando parte de lo establecido como Grupo El Fausto por el mencionado autor, esto se atribuye al gran aporte de sedimentos por parte del Río Sucumo, donde en su desembocadura se encuentra la superficie de máxima inundación que cubre el afloramiento de dicho grupo, disminuyendo de esta forma su extensión actual. Otra discrepancia se basa en el hecho de que Chaplet (1999) cartografió el Grupo El Fausto abarcando una gran extensión alargada pseudoparalela al corrimiento situado en la parte este de la zona central de la imagen, donde, a través de firmas espectrales, se corroboró la presencia de la Formación La Sierra que concuerda con la cartografía realizada de dicha Formación en el mapa geológico de Duerto (1998). La extensión de la Formación La Sierra en el mapa

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

geológico de Chaplet (1999) es de menor envergadura y se encuentra ubicada más hacia el oeste.

En la FIGURA N° 5.34 se aprecia las firmas espectrales correspondientes a la Formación La Sierra y Grupo El Fausto, que reflejan diferencias significantes en las bandas 2, 3, 4, 5 y 6 que representan vegetación, humedad y mineralogía; cabe destacar que en las bandas 2 y 3, la Formación La Sierra, presenta valores por debajo del Grupo Cogollo, en cambio para la banda 4 se muestra una variación contraria, siendo los valores de la Formación La Sierra mayores que el Grupo Cogollo.

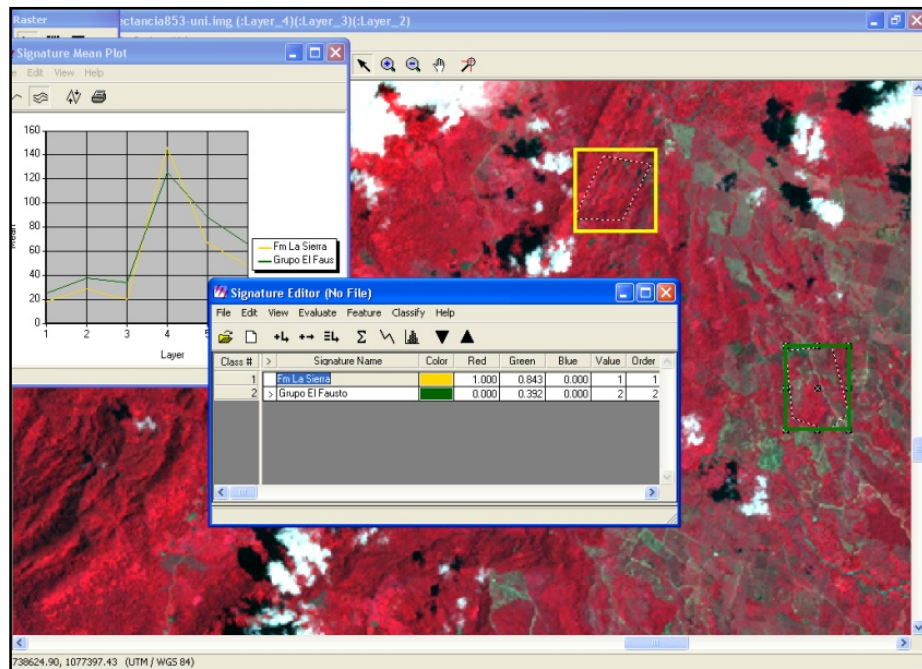


FIGURA N° 5. 34. Firmas espectrales que representan a las formaciones La Sierra (amarillo) y el Grupo El Fausto (verde).

Las extensiones de las formaciones Mirador, Carbonera, Grupo Orocué presentan variaciones con respecto a la cartografía del mapa geológico de Duerto (1998). El Grupo Orocué abarca una mayor extensión, mientras que las formaciones Mirador y Carbonera presentan una ruptura en la continuidad de su extensión, la cual, según la comparación de sus firmas espectrales, pertenece al Grupo Orocué.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

En la FIGURA N° 5.35 se logra apreciar las diferencias que presentan las firmas espectrales que pertenecen a las formaciones Carbonera, Mirador y Grupo Orocué en las bandas 4, 5 y 6, donde el Grupo Orocué presenta valores inferiores a las demás formaciones; siendo caso contrario, la Formación Mirador.

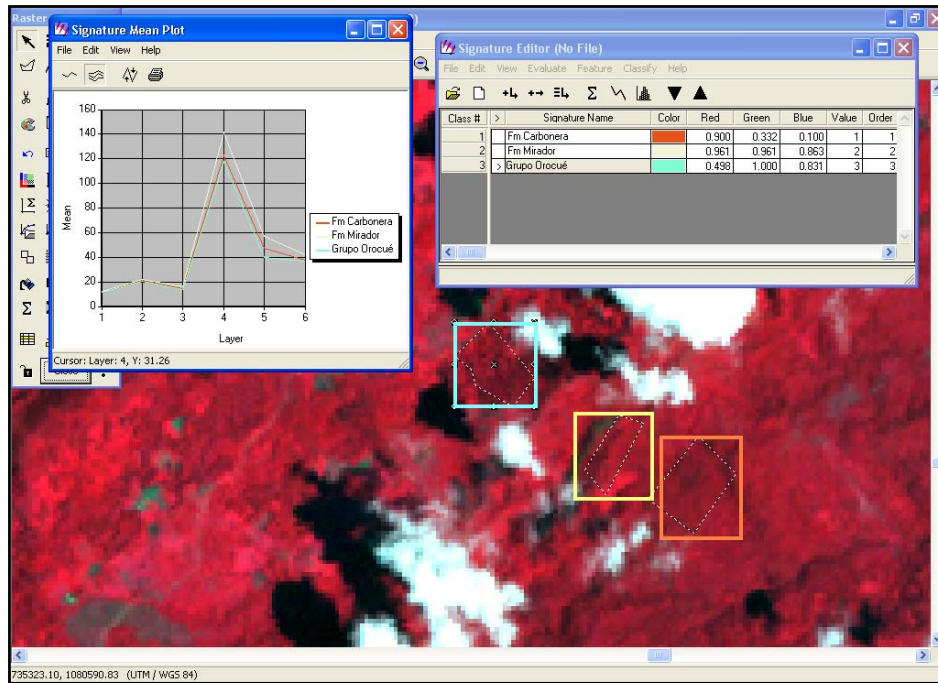


FIGURA N° 5.35. Firmas espectrales que representan a las formaciones Carbonera (anaranjado), Mirador (crema) y el Grupo Orocué (aquamarina).

Con la ayuda de la imagen MNF y las firmas espectrales se logró diferenciar y cartografiar las formaciones pertenecientes al Grupo Cogollo; siendo éstas las formaciones Lisure y Apón que se encuentran demarcadas entre las formaciones Río Negro y Colón Mito-Juan (sin diferenciar); coincidiendo con las cartografiadas en el mapa geológico de Chaplet (1999), a diferencia del mapa geológico de Duerto (1998), donde el Grupo Cogollo está representado como una sola unidad. En la FIGURA N° 5.36 se muestran las diferencias que presentan las Formaciones Apón y Lisure en las firmas espectrales. Cabe destacar, que a pesar de la similitud que poseen ambas en la banda 4, se logra diferenciar las litologías afines que determinan su

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

asociación al Grupo Cogollo debido a las marcadas diferencias que se aprecian en el resto de las bandas.

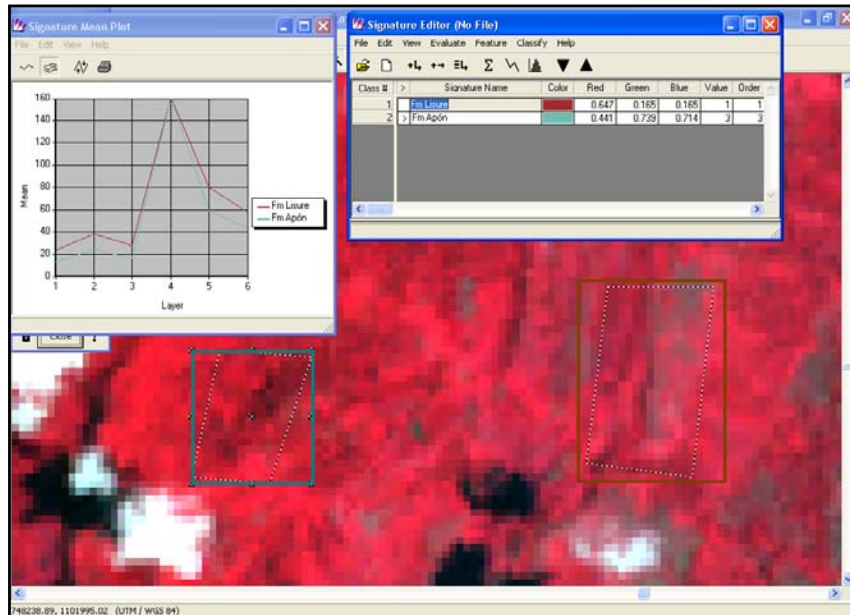


FIGURA N° 5. 36. Firmas espectrales que representan y diferencian al Grupo Cogollo en: Formación Lisure (marrón) y Formación Apón (verde oliva).

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Los *softwares* ARGIS, ERDAS y ENVI, son programas que se presentan como herramientas para la realización y modificación al detalle de imágenes y mapas de zonas en particular; debido a esto, se puede contar con actualizaciones cartográficas de áreas de difícil acceso o de relativa lejanía al lugar de trabajo. Cabe destacar, que los trabajos previos realizados en la zona de interés (mapas geológicos, estructurales, topográficos, de aguas, etc.), sirvieron de referencia estableciendo una relación con los resultados finales debido a que se parte de una sólida base de información geológica.

Procesos como la clasificación No Supervisada y la Supervisada realizada en el *software* ERDAS, permiten conocer y relacionar la topografía y el relieve, así como también las diferencias que puedan existir entre la vegetación, tipo de suelo y sus desiguales composiciones (sin poder diferenciar con exactitud tipo de roca, tamaño de grano, ni composición mineralógica). Estas ventajas permiten diferenciar los tipos de materiales que conforman el área donde fue tomada la imagen satelital. Esto se realiza mediante las firmas espectrales que poseen cada uno de dichos materiales.

La clasificación No Supervisada realizada en este trabajo presentó 20 tipos de clases, donde se aprecia la presencia de una gran variedad de cuerpos litológicos que van desde litologías menos resistentes hasta más resistentes, presentando escalas intermedias entre ellas. Esta clasificación representa el primer paso para el reconocimiento de la zona de estudio, sirviendo para familiarizar el conocimiento obtenido en la recopilación bibliográfica con el contenido de material presente en el área de interés.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

En la clasificación Supervisada se empleó una de las herramientas más importantes y determinantes para la obtención de los resultados, como lo son las firmas espectrales. La comparación de dichas firmas permitió la reducción de clases, debido a que poseen características similares que permiten agruparlas; siendo de este modo, ahora de 13 tipos de materiales. Estas clases obtenidas se relacionaron tanto con la recopilación bibliográfica como con los trabajos previos realizados en la zona, los cuales incluyen a los mapas geológicos de Chaplet (1999) y Duerto (1998).

El *software ARGIS* posee herramientas efectivas y determinantes en la generación de mapas; una de ellas es la creación de *shapefiles* que sirven para separar los diferentes elementos que componen un mapa geológico. El concepto de crear varios *shapefiles* que representen a distintos elementos es poder analizar con detalle a cada uno; de esta forma se obtiene una mayor eficacia en el producto final. De este modo, se procedió a realizar 8 *shapefiles* que representan a los drenajes, fallas propuestas, fallas inferidas, corrimientos propuestos, corrimientos inferidos, anticlinal, buzamiento y formaciones presentes en el área de estudio.

El *shapefile* asociado a los drenajes muestra tres secciones que en general representan la descripción del sistema formado; la sección este presenta dos drenajes principales (Río Yasa y Río Negro), conformando un sistema alargado con cierto grado de paralelismo entre ellos; es la sección con menos drenaje mostrado debido a la densa nubosidad mostrada en la imagen para la fecha en que fue tomada.

La particularidad de la sección central, es que el sistema se encuentra controlado por la actividad estructural dominante del área de estudio, y se logra apreciar debido a los cambios bruscos de dirección que sufren ríos Tucuco y Sucumo aunado al paralelismo presentado por los tributarios, conformando de esta forma un patrón general de drenaje reticulado.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

El sistema montañoso que conforma la parte oeste de la zona, define a la tercera sección, debido a que los tributarios del río Yasa son los dominantes de la zona, presentando paralelismo entre ellos.

La parte estructural está representada por los *shapefiles* que incluyen las fallas y corrimientos tanto inferidos como propuestos en el presente trabajo. Grandes corrimientos controlan la parte central de la zona, donde se aprecia el apilamiento de las capas con algunas fallas producto de la compresión generada por los corrimientos Cp1 y Cp2. A esto, se asocia la presencia del Anticlinal Río Negro que conforma la Serranía de los Motilones, la cual se presenta de forma paralela al corrimiento Cp1.

La utilización del Modelo Digital de Elevación constituyó una herramienta muy efectiva en la descripción de la topografía, y en el reconocimiento y ubicación de estructuras, que con la interpretación de la imagen en dos (2) dimensiones no resultaba del todo fácil reconocer. Con esta herramienta se logró corroborar la alineación de los corrimientos interpretado.

De manera simultánea se logró comparar los resultados generados en los *shapefiles* con los datos geológicos cartografiados en los mapas geológicos de Duerto (1998) y Chaplet (1999); donde se encontraron algunas discrepancias atribuidas a diferentes factores asociados a: diferencia de escalas, diferencias de criterios basados en el tipo de herramientas empleadas para la obtención de los datos que conforman la cartografía de la zona; en el caso de los autores citados, la accesibilidad a la zona de estudio pudo influir en la toma de datos y muestras que permitan corroborar la presencia de los diferentes aspectos geológicos que conforman la zona; a diferencia de la interpretación personal empleada producto de la utilización de las herramientas que componen los programas ejecutados para la obtención del producto final, siendo éste un Mapa Geológico-Estructural de la zona de Guarani presentado a escala 1:50.000; el cual presenta la actualización cartográfica geológica de la Sierra de Perijá mediante la utilización de imágenes satelitales *LANDSAT 7 ETM*.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Finalmente con los resultados de la investigación realizada en este trabajo se concluye que se logró cumplir con el objetivo principal, generando el mapa actualizado a escala 1:50.000 del área comprendida entre las coordenadas 9°40' a 10°00' latitud oeste y 72°30' a 73°05' longitud norte, solventando la dificultad que se tiene la realización de estudios geológicos en zonas de difícil acceso.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

RECOMENDACIONES

- Utilizar la imagen que presente la menor nubosidad posible, esto radica en la fecha de la toma de la misma. Se debe verificar entonces, que la imagen seleccionada presente la suficiente claridad posible para poder apreciar con mejor exactitud los aspectos geológicos a resaltar.
- Utilizar la combinación de las herramientas como la imagen MNF, firmas espectrales, clasificación Supervisada y No supervisada para la obtención de la ubicación de las formaciones en el mapa producto; así como también el empleo de la combinación de bandas para una mejor apreciación de las estructuras y drenajes.
- De manera general, se recomienda la utilización de los programas ENVI, ARGIS y ERDAS para la obtención del análisis de la geología presente en una región específica que presente difícil acceso y que requiera estudios o actualizaciones de la cartografía geológica.
- No se debe sustituir la geología de campo por la geología interpretada del análisis de las imágenes de tipo LANDSAT 7 ETM.
- Debido a la incompatibilidad de los programas ARGIS Y ERDAS, se debe tener en cuenta que su funcionamiento ha de ser por separado por los problemas que presentan con las licencias; esto produjo cierto grado de retraso en el trabajo.
- Realizar la instalación de dichos programas en Windows XP, debido a la incompatibilidad con el nuevo software Windows Vista.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

- El uso de mapas de menor o igual escala a la del producto que se planea, debido a que se obtendrá mayor detalle que conllevará a mejor precisión en los resultados finales.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

BIBLIOGRAFÍA

1. ALBERDING, H. (1957). Application of principles of wrench fault tectonics of Moody and Hill to northern South America. Geol. Soc. Am., Bul., vol. 68, N° 6, p 785-790; 937-940.
2. ALZATE A, Beatriz E. (2001). Imágenes espaciales de la superficie terrestre. Procesamiento digital, análisis y extracción de información temática. Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá.
3. Analysis of Hyperspectral Imagery. Disponible: <http://www.csr.utexas.edu/projects/rs/hrs/analysis.html> (Consulta: 2008, Marzo 10)
4. ARNOLD, H. C., (1966). Upper Paleozoic Sabaneta-Palmarito sequence of Mérida andes, Venezuela. *Am. Assoc. Petrol. Geol.*, Bull, 50(11): 2366-2387.
5. AUDEMART, F. (1991). Tectonic of western Venezuela. Rice University, Houston, U.S.A. 245 p. PhD. Tesis Inedita.
6. BELTRAN, C., (1983). Mapa Neotectónico de Venezuela. Escala 1:2.000.000. Mapa Estructural. Disponible: <http://www.pdv.com/lexico/mapas/funvisis.gif> neotect
7. BOWEN, J. M. (1972). Estratigrafía del precretáceo en la parte norte de la Sierra de Perijá. IV Congreso Geológico Venezolano, Memoria, Vol. 2 ; Boletín de Geología Publicación Especial, N° 5, p. 729-760.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

8. CARRERO, F y LOZADA, W. PROCESAMIENTO IMAGEN LANDSAT 853. PDVSA, Intevp. Puerto La Cruz, Julio 2007.
9. CHAPLET M. (1999). Mapa geológico de Guaraní. PDVSA-EP, escala 1:100.000
10. CHAPLET, M y UTRERA, O. CALIBRACIÓN, CORRECCIONES Y APLICACIONES DE LAS IMÁGENES LANDSAT Y ASTER. PDVSA, Intevp. Puerto La Cruz, Julio 2007.
11. DUERTO L. (1998). Principales zonas triangulares del occidente de Venezuela. UCV-G, 179 p.
12. FIERRO, I. y J. A. PAREDES, (1987). Estratigrafía regional del Paleoceno, Oligoceno, Mioceno, Plioceno y Cuaternario de los estados Táchira, Apure y Barinas. Informe inédito de Servigeomin para Corpoven: 238 p.
13. GARNER, A. H. (1926). Suggested nomenclature and correlation of geological formations in Venezuela. American Institute of Mining and Metallurgical Engineers Transactions, p. 667-684.
14. GONZÁLEZ DE JUANA, C., I. de Arozena y X. Picard, (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Caracas, Ed. Foninves, 2 Tomos, 1031 p.
15. GONZÁLEZ GUZMÁN, A. E., (1967). A palynological study on the upper Los Cuervos and Mirador Formations (Lower and Middle Eocene, Tibú area, Colombia. Leiden, E. J. Brill: 129 p.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

16. GRAF H., CLAUS H. (1971). Relaciones entre Tectónismo y Sedimentación en el Holoceno del Noreste de Venezuela. IV Congreso Geológico Venezolano. Tomo II, p 1125-1144.
17. GUÍA DE ERDAS 8.4 en Español. (2001). ERDAS GEOGRAPHIC IMAGING MADE SIMPLE.
18. HEA, J.P. and WHITMAN, B. (1960). Estratigrafía y petrología de los sedimentos precretácicos de la parte norte-central de la Serranía de Perijá, Estado Zulia, Venezuela. Publicación Especial 3, p. 351-376.
19. HEDBERG, H. D. and L.C. Sass, (1937-a). Sinopsis de las formaciones geológicas de la parte occidental de la Cuenca de Maracaibo, Venezuela, Bol. Geol. y Min. (Venezuela), 1(2-4): 77-120.
20. HEDBERG, H. D. and L.C. Sass, (1937-b). Synopsis of the geologic formations of the western part of the Maracaibo basin, Venezuela, Bol. Geol. y Min. (Venezuela), 1(2-4): 73-112 (English ed.).
21. HERNÁNDEZ, C y HERNÁNDEZ, M. PROCESAMIENTO DE IMAGEN ASTER 115. PDVSA, Intevep. Puerto La Cruz, Julio 2007.
22. HEYBROEK, F., (1953). Geological report on the mountain range west of Block "B" (Eastern rim of the Cordillera Oriental, Táchira-Apure, western Venezuela). Informe inédito Shell/Corpoven: 59 p.
23. HITCHCOCK, Ch. B. (1954). The Sierra de Perijá, Venezuela. Geogr. Rew., vol. 44, N° 1, p. 1-28.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

24. KEHRER, L., (1937). Some observations on Cretaceous and Precretaceous beds in the south western and northern-central parts of Venezuela, *Bol. Geol. y Min.*, 1(2-4): 47-70
25. KEY, C. E., (1960). Estratigrafía del subsuelo de Alturitas. *III Cong. Geol. Venez.*, Caracas, 1959, Mem., 3: 511-545.
26. KISER, G. D., (1989-a). Carbonera, cuenca Apure-Barinas. Mem., *VII Cong. Geol. Venez.*, Soc. Venez. Geol., I: 459-466.
27. KISER, G. D., (1989-b). Relaciones estratigráficas de la Cuenca Apure-Llanos con áreas adyacentes, Venezuela suroeste y Colombia oriental. Monografía, Soc. Venez. Geol., 1: 77.
28. KÜNDIG, E., (1938). Las rocas pre-Cretáceas de los Andes centrales de Venezuela, con algunas observaciones sobre su tectónica, *Bol. Geol. y Min. Caracas*, 2(2-4): 21-43.
29. KUYL, et al., (1955) The application of palynology to oil geology with reference to western Venezuela. *Geol. Mijnb., New Ser.*, 17(3): 49-76
30. LEÓN R., (1975). Intervalos productores del Cretácico Campo Urdaneta Este, Lago de Maracaibo. Primeras Jornadas Venezolanas de Geología, Minería y Petróleo. Maracaibo. Preimpreso.
31. LIDDLE, R. A., (1928). The geology of Venezuela and Trinidad. J P MacGowan, Fort Worrh, Texas, 552 p.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

32. LORENTE, M. A., (1986). Palynology and palynofacies of the upper Tertiary in Venezuela. Tesis, PhD, Univ. Amsterdam, J. Cramer, Berlín-Stuttgart: 225 p.
33. LUGO, J., Mann, P. (1995) Jurassic - Eocene Tectonic Evolution of Maracaibo Basin, Venezuela. En : Tankard, A.; Suárez, R.. y Welsink, H.J.: Petroleum Basins of South America : AAPG Mem. 62: 699-725.
34. LUGO., J. (1991). Cretaceous to neogene tectonic control on sedimentation: Maracaibo basin, Venezuela. Texas Univ., Austin, Grado académico: Ph.D. Thesis, 238 p.
35. MANUAL CURSO DE ANALISIS ESPACIAL ARCVIEW 8.2. Proyecto regional de "Ordenamiento territorial rural sostenible". FIAT PANIS. Santiago de Chile, Mayo 2003.
36. MAZE, W. (1984). Jurassic La Quinta Formation in the Sierra de Perijá and tectonic environment of red beds and volcanic rocks in Bonini W.E. et.al., eds. The Caribbean-South American plate boundary and tectonic: G.S.A. memoir 162. p. 263-282.
37. MEADEN, G. y KAPETSKY, J. (1992) Los sistemas de información geográfica y la telepercepción en la pesca continental y la acuicultura. Disponible: <http://www.fao.org/DOCREP/003/T0446S/T0446S04.htm>. (Consulta: 2008, Marzo 15)
38. MEDEROS, A. y M. CASTRO, (1983). Estudio de una muestra del área carbonífera del Guasare. *I Jornadas Geológicas, Carbozulia*, Maracaibo. Mem 1: 201-204.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

39. MENDOZA V. (2005). Geología de Venezuela, Rocas Sedimentarias tomo II. Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar, 362 pp.
40. MILLER, J. B. (1962). Tectonic trends in Sierra de Perija and adjacent parts of Venezuela and Colombia. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK, United States, AAPG Bulletin, vol.46 (9): 1565-1595.
41. MILLER, J. B. y J. San Juan, (1963). Some tertiary stratigraphy and revision of Tertiary nomenclature, western Maracaibo Basin, Venezuela. Caracas, *Bol. Asoc. Ven. Geol. Min. y Petr.*, 6(3): 63-97.
42. MILLER, Jhon B. (1960). Directrices tectónicas en la Sierra de Perijá y partes adyacentes de Venezuela y Colombia. III Congreso Geológico Venezolano. Tomo II, p. 685-718.
43. MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS (1956). Léxico Estratigráfico de Venezuela I. Bol. De Geol. (Venezuela), Publ. Esp. N° 1, 728 p.
44. MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS (1970). Léxico Estratigráfico de Venezuela II. Bol. De Geol. (Venezuela), Publ. Esp. N° 1, 728 p.
45. MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS (2008). Léxico Estratigráfico de Venezuela III. Disponible: <http://www.pdv.com/lexico/lexicoh.htm> (Consulta: 2008, Marzo 6)
46. Modelos Digitales de Elevación. Disponible: <http://www.ciat.cgiar.org/dtmradar/dem1.htm> (Consulta: 2008, Marzo 10) MDE

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

47. MONROY, Z. de y R, ARNSTEIN, (1984). Estudio bioestratigráfico, pozo Milagros Sur-1X. Inform. Inédit. Corpoven: 4 p.
48. NOTESTEIN, F. B., C. W. HUBMAN, and J. W. BOWLER, (1944). Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America, Geol. Soc. Am., Bull., 55: 1165-1215.
49. ODREMAN R. O. y G. BENEDETTO, (1977). Paleontología y edad de la Formación Tinacoa, Sierra de Perijá, Venezuela. V Cong. Geol. Venez., Mem. 1: 15-32.
50. ORTÍZ, Begoña (2008). Familia IDL: El Software del Mundo Científico. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra Mapping Interactivo (Revista en línea). Disponible: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=348 (Consulta: 2008, Mayo 10) ENVI
51. PADILLA G., L. y ORTIZ G., H. J. (1973). Geología de la región de Machiques-Río Negro. Dtto. Perijá, Edo. Zulia. II Congreso Latinoamericano de Geología, Tomo II, p.527-540.
52. PARNAUD F., Y. Gou, J. PASCUAL, M. CAPELLO, Y. TRUSKOWSKI, H. Passalacqua & F. Roure (1995). Stratigraphic syntesis of western Venezuela. En Tankard A., R. Suárez, & H. J. Welsink. Eds., Petroleum basins of South America. Am. Assoc. Petrol. Geol. Memoir (62): 741-756 p.
53. PINDELL, J.L., and ERICKSON, P. (1993). The Mesozoic passive margin of northern South America, in A. Vogel, ed., Cretaceous tectonics in the Andes. International Monograph Series, Earth Evolution Sciences, Wisbaden, FRG, Vieweg Publishing, p.1-30.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

54. RAMÍREZ, C. y V. CAMPOS, (1969). Geología de la región de la Grita-San Cristóbal, Estado Táchira, IV Cong. Geol. Venez., 2: 861-897. (885-886)
55. RENZ O., (1959). Estratigrafía del Cretáceo de Venezuela Occidental. Bol. Geol. 5(10): 3-48
56. RENZ O., (1977). The lithologic units of the Cretaceous of western Venezuela: V Cong. Geol. Ven., Mem. 1: 45-58.
57. ROD, E. (1956). Strike-slip faults of northern Venezuela. Am. Assoc. Petrol. Geol., Bull., vol. 40, N° 3, p.457-476.
58. ROD, E. and MAYNC, W. (1954). Revision of Lower Cretaceous stratigraphy of Venezuela. AAPG Bulletin, vol. 38, N° 2, p. 193-282.
59. RODRIGUEZ, O., y ARREDONDO, J. (2005). Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS de la NASA, aplicados a estudios de Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Trabajo de Grado. 230 p. Disponible: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis123.pdf> (Consulta: 2008, Marzo 10)
60. SAN JUAN, J., (1964). Sedimentary structures in the "Frontal Sandstones along the Perijá mountain front between the rivers Palmar and Tucuco. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., Bol. Inform., 7(3): 71-90.
61. SANTIAGO, I. MANUAL DE FUNDAMENTOS DE ARGIS. Versión ArcView 9.1. Oficina de Gerencia y Presupuesto, Área de Tecnologías de Información Gubernamental. Puerto Rico, Noviembre, 2005.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

62. SELLIER DE CIVRIEUX, J. M., (1952). Estudio de la microfauna de la sección-tipo del miembro Socuy de la Formación Colón, distrito Mara, estado Zulia, *Boll de Geol. (Venezuela)*, 2(5): 231-810.
63. SUTTON, F. A., (1946). Geology of the Maracaibo basin, Venezuela, *Am. Assoe Petrol. Geol., Bull.*, 30: 1621-1741.
64. TERÁN, L., O. COLMENARES, M. C. de MACQUHAE y A. ISEA, (1986). Estudio bioestratigráfico de las Formaciones Mirador y Carbonera en la región Táchira-Apure. Inform. Inédito INT-EPCT-00007, 86 Intevep para Corpoven: 91 p.
65. TESTAMARCK J., PERDOMO J. L. y SERRANO I. (1994). Estilos estructurales del flanco suroriental de la Sierra de Perijá, Venezuela. V Simposio Bolivariano de exploración petrolera en la cuenca subandina. Pto. La Cruz. Memoria. p. 314-316.
66. URBANI, F., HACKLEY, P., KARLSEN, A., and GARRITY, C. (2006). Mapa Geológico de Venezuela: Hoja 1 de 2. Venezuela. Escala: 1:750.000. Mapa Geológico.
67. VAN HOUTEN, F. B. y H. JAMES, (1984). Late Cenozoic Guayabo delta complex in southwestern Maracaibo Basin, northeastern Colombia. The Caribbean South American Plate Boundary and Regional Tectonics. *Geol. Soc. of América, Mem.*, 162: 325-332.
68. VAN RAADSHOOVEN, B., (1951). On some Paleocene and Eocene larger foraminifera of western Venezuela, IIIrd. World Petrol. Congr., Proc., La Haya, 1951, Sec. I, p. 476-489.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

69. VAN VEEN, F. R., (1972). Ambientes sedimentarios de las formaciones Mirador y Misoa del Eoceno inferior y medio en la cuenca del Lago de Maracaibo. IV Cong. G Bibliografía Venezolana de Geólogos (Caracas); Memoria 2: 1343-1393.
70. XAVIER, J. P. y ESPEJO, C.A. (1977). Algunas ideas sobre las estructuras de la parte media de la Sierra de Perijá, Estado Zulia. Sociedad Venezolana de Geólogos, Caracas, Venezuela. V Congreso Geológico Venezolano, Tomo II, p.739-757.
71. YORIS, F., OSTOS, M. & ZAMORA, L. (1997). Petroleum Geology of Venezuela. En Schlumberger Surencó C.A. Venezuela WEC 1997 Well Evaluation Conference. Jolley Printing Inc, Houston, p. 1-44.
72. YOUNG, G. A., (1958). Correlation of the Oligo-Miocene in the Districts of Urdaneta and Perijá, State of Zulia. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., Bol. Inform., 1(4): 116-135.
73. ZAMBRANO, E., VASQUEZ, E., DUVAL, B., LATREILLE, M., and CONFFINIÉRES, B. (1970). Synthese paleogeographique et petroliere du Venezuela occidental. Revue de l'Institut Francais du Petrole, Paris, Edition Technip, v.25, p. 1449-1491.