

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ACTUALIZACIÓN DE LA GEOLOGÍA A ESCALA 1:100.000 DE UN SECTOR DE LA SIERRA DE PERIJA MEDIANTE LA UTILIZACION DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 7 ETM (COORDENADAS 72°00' A 73°00' LONG. OESTE Y 10°40' A 11°00' LAT. NORTE)

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ricardo Alezones
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Mauricio Hernández

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Pérez L. Keyllys J.,
Soriano A. Rafael E.,
Valenzuela Andrés E.
Para optar al Título de
Ingeniero Geólogo

Caracas, 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ACTUALIZACIÓN DE LA GEOLOGÍA A ESCALA 1:100.000 DE UN SECTOR DE LA SIERRA DE PERIJA MEDIANTE LA UTILIZACION DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 7 ETM (COORDENADAS 72°00' A 73°00' LONG. OESTE Y 10°40' A 11°00' LAT. NORTE)

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ricardo Alezones
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Mauricio Hernández

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Pérez L. Keyllys J.,
Soriano A. Rafael E.,
Valenzuela Andrés E.
Para optar al Título de
Ingeniero Geólogo

Caracas, 2008

Caracas, Julio 2008

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres, titulados:

“ACTUALIZACIÓN DE LA GEOLOGÍA A ESCALA 1:100.000 DE UN SECTOR DE LA SIERRA DE PERIJA MEDIANTE LA UTILIZACION DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 7 ETM (COORDENADAS 72°00’ A 73°00’ LONG. OESTE Y 10°40’ A 11°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 el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Enrique Toribio

Jurado

Prof. Orlando Cabrera

Jurado

Prof. Ricardo Alexones

Tutor Académico

Ing. Mauricio Hernández

Tutor Industrial

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme inspirado en este trabajo, al Niño de la Cuchilla por ayudarme en momentos difíciles, a mis padres Olga y Juan Pablo por haberme dado la vida. A mis hermanas Caribay y Aldrina, a mi novia Henmary, mis tías Nancy y Olinda, mi tío Hélix, Pedro y Emiro, mis primos Noriel y Julio Eliezer por su gran apoyo a lo largo de la vida.

A mis compañeros de Tesis Keyllys y Rafael por su amistad y haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo con ellos.

También agradezco al profesor Ricardo Alezones por su gran aporte académico y apoyo en las diferentes asignaturas impartidas por él. Al profesor Mauricio Hernández por su sabiduría a la hora de transmitir conocimiento. A los profesores Lenín González y Carolina Machillanda por haberme ayudado en la escuela.

Agradezco a mis amigos Álvaro, Andy, Carlos, Cristian, Marco, Dolymar, Diego, Pedro, Raúl, Leonardo, Julio y Oscar, por su amistad y apoyo durante años. A todos los aprecio.

Andrés Valenzuela

“Creo en un prolongado trastorno de los sentidos. Viviendo en el subconsciente, la verdad esconde lo infinito de nosotros mismos.”

Jim Morrison

Agradecimientos

En primer lugar Dios Todopoderoso, que sin su ayuda nada se puede...

A mis Padres, que en todo momento me han servido de apoyo, de guías; que me han sabido comprender, que me han dado todo su amor... Les agradezco a ellos que han sido parte fundamental de mi desarrollo y en especial de mi desarrollo intelectual y espiritual. A ellos infinitas gracias...

A mis hermanos, que han sido en todo momento ejemplos a seguir, siempre con el consejo necesario, siempre dispuestos ayudar, siempre solidarios.

Al amor de mi vida, a mi compañera en este largo camino, a mi inseparable, a la persona que me da motivos para luchar y alcanzar mis metas, a mi Keylllys, la que me llena mi vida de sonrisas...

A mi compañero de tesis Andrés Eloy, parte fundamental de este trabajo, amigo en las buenas y en las malas, humilde y siempre comprensivo, gracias por ayudarnos incondicionalmente...

A las familias Pérez Luna y Luna Zabala, que me han dado afecto y amor familiar.

A todos mis amigos, comenzando por Mabel y Rodolfo, amigos desde 1er grado con quien he crecido, con quienes he compartido la vida...a mis amigos del liceo con quienes compartí gratos momentos en el Cruz Vitale, en especial Ailyn, Cristal, María, Ivanova, Milicent, Etc. Etc. Etc... A los amigos de la universidad, que son muchos y a todos les agradezco porque alguna cosa aprendí con cada uno, los primeros, Marjuly, Pablo, Rosaida; el siguiente grupo Miguel, Ramón, y los muchachos de la biblioteca; a Darwin Jaramillo un amigo muy especial; y a mis otros compañeros de tesis William (Culonio) y Darwin...

A mis maestros y maestras... A la maestra Gladys quien forjó en sus primeros pasos la persona que soy hoy; a todos los profesores del Liceo que sé hicieron su mayor esfuerzo por darme buena educación; a todos los profesores de la Universidad, los del Núcleo Cagua, a los de la Escuela de Geología, que cada uno a

su manera me enseñaron una de las cosas que más me apasionan como lo es la Geología. Agradecimientos especiales para el Profesor Mauricio Hernandez quien me dio la oportunidad de hacer este trabajo de grado y me enseñó Sensores Remotos; y para el Profesor Ricardo Alezones que no solo fue un amigo incondicional, fue una ayuda en todo momento, que siempre tuvo repuestas y soluciones, gracias por apoyarnos para ver materializado este esfuerzo.

A los que ya no están, mis abuelos, mis tíos, mi madrina, se que desde allá arriba comparten conmigo esta meta lograda...

Rafael E. Soriano

Sólo él es mi roca y mi salvador, si es mi fortaleza,
no he de vacilar.

Salmos 62,3

Mi carne y mi corazón se consumen por ti, mi Roca,
mi Dios, que es mío para siempre...

Salmos 73,26

AGRADECIMIENTOS

En una oportunidad tan especial como esta le agradezco primeramente a Dios que siempre me acompaña y esta hay para ayudarme en las buenas en las malas.

A mis padres José Pérez y Mercedes Luna los cuales siempre han estado hay queriéndome apoyándome y ayudándome para que salga adelante y cumpla mis sueños y mis metas.

A mis hermanas, Keylla Linda que siempre me da apoyo, cariño y buenos consejos, a Keyllleth, Mirfany y a mi hermano Williams que siempre están hay compartiendo conmigo y apoyándome.

A mi abuela querida Sofía Sabala que es la persona más sabia y especial te amo abuela. A mi abuelo Armando Luna, mi tío Luis, mi tía Nino, y todos los demás, gracias por creer en mí.

Al amor de mi vida, Rafa que sin el esto no sería posible, porque no solo es mi amigo, sino mi compañero y la persona que me inspira en esta vida para luchar, sonar y ser una mejor persona cada día.

A mis suegros Eleazar y Adelaida que siempre me han brindado su cariño de manera incondicional.

A mi compañero de tesis Andrés Eloy al que le agradezco haber formado parte de este grupo ya que él fue alguien fundamental para el logro de este trabajo.

A la Sr Morela que siempre me ayudo cuando lo necesite, a María Auxiliadora, a Jesús copy boy y a todas las personas que integran la escuela que sin ellas tampoco sería posible este sueño.

A Mauricio Hernández ha quien le doy las gracias por habernos dado la oportunidad de realizar esta tesis. Paul romero quien fue uno de mis mejores profesores y más queridos. Ricardo Alezones por haber aceptado ser nuestro tutor y quien nos ayudo en esta ardua tarea a salir a flote.

A mis amigos, amigas, a la Sardina (Andreina), Yanna, Robert, Pedro Varguillas, Lina, Kency, Ramón, Miguel, Nana, Cesarin, Laura, Richard (piru), Oso, Carolina, Angelica, Vyco (Jose David), William Culonio, Darwin, Oliver, Julio y todos los que han compartido conmigo que aunque en este momento no los recuerde los tengo presentes y les agradezco por haber compartidos tantos momentos especiales conmigo dentro y fuera de la UCV.

A mis amigos de Geofísica con los cuales compartí campo corto y aun mantenemos esa linda amistad gracias a Ignacio Mederos, Lisbeth, Fatima, Elea, Fenelix, Javier y Jaime.

“UU-UCV” “UU-UCV” Keyllys J. Pérez Luna

**Pérez L. Keyllys J.
Soriano A. Rafael E.
Valenzuela Andrés E.**

**ACTUALIZACIÓN DE LA GEOLOGÍA DE SUPERFICIE
ESCALA 1:100.000 DE UN SECTOR DE LA SIERRA DE PERIJA
MEDIANTE LA UTILIZACION DE IMÁGENES SATELITALES
LANDSAT 7 ETM (COORDENADAS 72°00' A 73°00' LONG.
OESTE Y 10°40' A 11°00' LAT. NORTE)**

**TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ricardo Alezones. TUTOR INDUSTRIAL: Ing.
Mauricio Hernández. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería Escuela de
Ingeniería Geológica. Año 2008, 107 p.**

Palabras Claves: Sensores remotos, Imágenes satelitales, Landsat 7TM, Sierra de Perijá.

Resumen. El objetivo general de este trabajo fue generar un mapa geológico actualizado a escala 1:100.000 del área comprendida entre las coordenadas 72°00' a 73°00' latitud oeste y 10°40' a 11°00' longitud norte, a partir de las cartas Río Guasare (Hoja 5648) y Tule (Hoja 5748) 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), donde quede evidenciada la correspondencia entre la geología superficial obtenida de los estudios previos y la información obtenida de las imágenes multiespectrales.

Debido a la inseguridad que muestra la zona, originada por la acción delictiva de grupos ilegales, así como también, el difícil acceso del relieve abrupto de esta Serranía, el trabajo geológico de campo que se lleve a cabo en ésta, requiere de un método confiable que cumpla con la posibilidad de acceder a información a menor costo, relativa facilidad en su acceso, y con gran seguridad. Estos beneficios lo

suministran los Sensores Remotos y el uso de imágenes satelitales *Landsat 7 ETM*, siendo estas las herramientas empleadas en la actualización de la geología de superficie prevista en este estudio.

INDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	ix
INDICE GENERAL	xi
INDICE DE FIGURAS	xv
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1.- Objetivos y alcances	2
1.2.- Ubicación de la zona de estudio	3
1.3.- Metodología	3
1.3.1.- Etapa de recopilación bibliográfica	3
1.3.2.- Etapa de oficina	4
CAPÍTULO II. MARCO GEOLOGICO	6
2.1.- Generalidades	6
2.2.- Trabajos previos	8
CAPÍTULO III. GEOLOGÍA REGIONAL	16
3.1.- Precámbrico	16
Formación Perijá	17
3.2.- Paleozoico	17
3.2.1.- Paleozoico Medio	18
Grupo Río Cachirí	18
Formación Caño Indio	19
Formación Rio Palmar	19
3.3.- Mesozoico	20
3.3.1.- Jurasico	22
Formación la Quinta	22
3.3.2.- Cretácico	25
Formación Río Negro	25

Formación Apon	27
Miembro Tibú	27
Miembro Machiques	28
Miembro Piche	28
Formación Lisure	29
Formación Maraca	29
Formación la Luna	30
Formación Colón y Mito Juan	31
3.4.- Terciario	32
3.4.1.- Paleoceno	33
Formación Guasare	33
Formación Marcelina	33
3.4.2.- Eoceno	35
Formación Mirador	35
3.4.3.- Oligoceno	37
Formación Peroc	37
3.4.4.- Mioceno	38
Formación Cuiba	38
Formación Macoa	39
Formación los Ranchos	40
3.4.5.- Pleistoceno	41
Formación el Milagro	41
CAPITULO IV. BASES TEÓRICAS	45
4.1.- Percepción remota	45
4.2.- Sensores Remotos	45
4.3.- Procesos de percepción remota	46
4.4.- Espectro electromagnético	47
4.5.- Fuentes de energía en la percepción remota	49
4.6.-Interacción de la radiación electromagnética	50

4.7.- Reflectancia	52
4.8.- Interacción con la atmosfera	53
4.9.- Dispersión	53
4.10.- Refacción	53
4.11.- Absorción	53
4.12.- Ventana atmosférica	54
4.13.- Firmas espectrales	55
CAPÍTULO V. METODOLOGÍA	58
5.1.- Correcciones atmosféricas	58
5.2.- Elaboración de la máscara de nubes	62
5.3.- Transformación mínima de ruido	64
5.4.- Índice de pureza de píxel	65
5.5.- Clasificación no supervisada	71
5.6.- Clasificación supervisada	72
5.7.- Cocientes de bandas	73
5.8.- Realización de índice de vegetación	74
5.9.- Firmas espectrales	75
CAPITULO VI. RESULTADOS Y ANÁLISIS	77
6.1.- Análisis topográfico	77
6.1.1.- Unidad de Montaña	78
6.1.2.- Unidad de Valle	79
6.2.- Análisis litológico	80
6.2.1.- Secuencia litológica del Precámbrico	80
6.2.2.- Secuencia litológica del Paleozoico	81
6.2.3.- Secuencia litológica del Jurásico	85
6.2.4.- Secuencia litológica del Cretácico	86
6.2.5.- Secuencia litológica del Cenozoico	88
6.3.- Análisis estructural	91
6.3.1.- Identificación y jerarquización de las estructuras	92

6.3.1.1.- Fallas inversas	92
6.3.1.2.- Pliegue Anticlinal Simétrico	93
6.3.1.3.- Pliegues sinclinales Simétricos	93
6.3.2.- Estilo estructural	94
6.3.3.- Fases de deformación	95
CAPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
SUMARIO Y CONCLUSIONES	97
RECOMENDACIONES	99
CAPITULO VIII. BIBLIOGRAFÍA	101
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA N° 1.1 Ubicación de la zona de estudio	2
FIGURA N° 1.2. Ubicación de la zona de estudio	3
FIGURA N° 2.1 Mapa de Ubicación y relieve	6
FIGURA N° 2.2 Mapa geológico de las cabeceras del Río Cachimí, Sierra de Perijá, distritos Mara y Maracaibo del Estado Zulia	9
FIGURA N° 2.2.1 Cortes geológicos de la cabecera del Río Cachimí, Sierra de Perijá, distritos Mara y Maracaibo del Estado Zulia	9
FIGURA N° 2.3 Mapa geológico estructural de la sección Riecito – El Palmar	11
FIGURA N° 2.3.1 Corte geológico de una sección Riecito – El Palmar	11
FIGURA N° 2.4 Mapa del Neoestratotipo de la Formación Paso Diablo en el Río Socuy	13
FIGURA N° 2.4.1 Cortes geológicos de la formación Paso Diablo en el Río Socuy	14
FIGURA N° 3.1 Distribucion de las rocas jurasicas de Venezuela que se encuentran aflorando en la Sierra de Perija	21
Figura N° 3.2 Cuadro de unidades litoestratigráficas del Triásico – Jurásico de Vernezuela y columnas litoestratigraficas	23
FIGURA N° 3.3 Distribución de las unidades alóctonas, para-autóctonas y autóctonas, en el norte de Venezuela	23
FIGURA N° 3.4 Distribución de las facies sedimentarias dominante durante el Neocomiense-albiense	25
FIGURA N° 3.5 Generacion de cuencas extensionales	35
FIGURA N° 3.6 Marco geológico regional para la sedimentación en Venezuela Occidental	37
FIGURA N° 3.7 Columna diagramática ilustrativa de una región de la Sierra de Perijá	43

FIGURA N° 3.8 Corte diagramático ilustrativo de una región de la Sierra de Perijá	44
FIGURA N° 4.1 Procesos de percepción remota	46
FIGURA N° 4.2 El espectro electromagnético	48
FIGURA N° 4.3 Fuente de energía pasiva	49
FIGURA N° 4.3.1 Fuente de energía activa	50
FIGURA N° 4.4 Interacción de la radiación electromagnética con la materia	51
FIGURA N° 4.5 La energía incidente, A absorción, R reflexión, T transmisión	51
FIGURA N° 4.6 Reflexión Especular y Reflexión Difusa	52
FIGURA N° 4.8 Ventanas atmosféricas	54
FIGURA N° 4.7 Interacción de la energía con la atmósfera y la superficie	55
FIGURA N° 4.9 Respuesta espectral de la vegetación	56
FIGURA N° 4.9.1 Firma espectral de la superficie de 5 suelos minerales (a) dominado por material orgánico (b) mínimamente alterado (c) hierro alterado (d) orgánico afectado (e) dominado por hierro	56
FIGURA N° 4.9.2 Curva idealizada de reflexión espectral de vegetación sana	57
FIGURA N° 5.1 Menú principal del ENVI y ventana de parámetros de calibración	59
FIGURA N° 5.2 Selección del <i>Layer Stacking</i> , y ventanas de entrada y de salida de la unión de las bandas	60
FIGURA N° 5.3 Selección de cambio de formato en el menú de ENVI y selección del formato del archivo de salida	61
FIGURA N° 5.4 Corrección FLAASH en el menu principal del ENVI y ventana <i>FLAASH</i>	62
FIGURA N° 5.5 Menú principal de Envi y ventana <i>Import Vector Files Parameters</i>	64
FIGURA N° 5.6 Transformación de la fracción mínima de ruido, menú principal ENVI	65

FIGURA N° 5.7 Ventana <i>Fast pixel Purity Index Inout Data File</i> , y <i>File Spectral Subset</i> . Para el PPI	66
FIGURA N° 5.8 Opción <i>Overlay</i> y <i>Density Slice</i> , y ventana <i>Density Slice Band Choice</i>	67
FIGURA N° 5.9 Ventana <i>Density Slice</i> y Ventana ENVI Question donde se observa el número aproximado a 10.000	68
FIGURA N° 5.10 Menú para exportar el ROI al visualizador y ventana <i>n-D Controls</i>	69
FIGURA N° 5.11 Espacio Tridimensional donde se seleccionan los píxeles extremos	70
FIGURA N° 5.12 Menú principal del ENVI para realizar la corrección SAM	71
FIGURA N° 5.13 Clasificación no supervisada en el menú principal de ENVI	72
FIGURA N° 5.14 Apariencia de los botones “+ L►” y “≡ L►” en ERDAS	73
FIGURA N° 5.15 Cociente de Bandas en el menú principal de ENVI	74
FIGURA N° 5.16 Procedimiento en ERDAS para realizar el índice de vegetación	75
FIGURA N° 5.17 Firmas espectrales en ERDAS Imagine	76
FIGURA N° 6.1 Croquis topográfico de la zona de estudio que muestra las dos unidades topográficas mayores (Mapas TULÉ -5648- y RÍO GUASARE -5748- ambos a Escala 1:100.000)	78
FIGURA N° 6.2 Modelo digital de elevación de la unidad topográfica I (Unidad de montañas con valles interdigitados)	79
FIGURA N° 6.3 Modelo digital de elevación de la unidad topográfica II (Unidad de Valle con colinas)	80
FIGURA N° 6.4 Formación Perijá en imagen de radar (Coordenadas en UTM/WGS84)	81
FIGURA N° 6.5 Firmas espectrales de la Formación Perijá.	81
FIGURA N° 6.6 Imagen satelital e imagen de radar correspondientes al Grupo Río Cachirí (Coordenadas en UTM/WGS84)	82

FIGURA N° 6.7 Firmas espectrales del Grupo Río Cachirí (Coordenadas en UTM/WGS84)	82
FIGURA N° 6.8 Imagen de radar e imagen “ <i>Spectral angle mapper</i> ” correspondientes a la Formación Caño Indio. (Coordenadas en UTM/WGS84)	83
FIGURA 6.9 Firmas espectrales de la Formación Caño Indio (Coordenadas en UTM/WGS84)	83
FIGURA N° 6.10 Imagen de radar e imagen satelital correspondientes a la Formación Río Palmar	84
FIGURA N° 6.11 Firmas espectrales de la Formación Río Palmar (Coordenadas en UTM/WGS84)	84
FIGURA N° 6.12 Imagen “ <i>spectral angle mapper</i> ” e imagen de radar correspondientes a las rocas intrusivas ácidas del Pérmico. (Coordenadas en UTM/WGS84)	85
FIGURA N° 6.13 Firmas espectrales de las Rocas Intrusivas Ácidas del Pérmico. (Coordenadas en UTM/WGS84)	85
FIGURA N° 6.14 Imagen “ <i>spectral angle mapper</i> ” e imagen de radar correspondientes a la Formación Macoíta. (Coordenadas en UTM/WGS84)	86
FIGURA N° 6.15 Firmas espectrales de la Formación Macoíta. (Coordenadas en UTM/WGS84)	86
FIGURA N° 6.16 Imagen “ <i>spectral angle mapper</i> ” e imagen de radar correspondientes al Grupo Cogollo. (Coordenadas en UTM/WGS84)	87
FIGURA N° 6.17 Firmas espectrales del Grupo Cogollo. (Coordenadas en UTM/WGS84)	87
FIGURA N° 6.18 Imagen de radar e imagen “ <i>spectral angle mapper</i> ” correspondientes a la Formación Mito Juan. (Coordenadas en UTM/WGS84)	88
FIGURA N° 6.19 Firmas espectrales de la Formación Mito Juan. (Coordenadas en UTM/WGS84)	88

FIGURA N° 6.20 Imagen de radar e imagen “ <i>spectral angle mapper</i> ” correspondientes a la Formación Mirador. (Coordenadas en UTM/WGS84)	89
FIGURA N° 6.21 Firmas espectrales de la Formación Mirador. (Coordenadas en UTM/WGS84)	89
FIGURA N° 6.22 Imagen de radar e imagen “ <i>spectral angle mapper</i> ” correspondientes a la Formación Marcelina. (Coordenadas en UTM/WGS84)	89
FIGURA N° 6.23 Firmas espectrales de la Formación Marcelina. (Coordenadas en UTM/WGS84)	90
FIGURA N° 6.24 Imagen “ <i>spectral angle mapper</i> ” y firmas espectrales de la Formación Peroc (Coordenadas en UTM/WGS84)	90
FIGURA N° 6.25 Imagen “ <i>spectral angle mapper</i> ” correspondiente Al Cuaternario Reciente (Coordenadas en UTM/WGS84)	91
FIGURA N° 6.26 Fallas sinestrales marcadas en la imagen de radar correspondiente a la zona de estudio (Coordenadas en UTM/WGS84)	92
FIGURA N° 6.27 Imagen de radar donde se puede apreciar el anticlinal simétrico (Coordenadas en UTM/WGS84)	93
FIGURA N° 6.28 Imagen de radar donde se pueden apreciar los sinclinales (Coordenadas en UTM/WGS84)	94
FIGURA N° 6.29 Desaparición del anticlinal y formación de un corrimiento	95
FIGURA N° 6.30 Distensión en el “ <i>rift</i> ” del Jurásico que produce fallas normales	95
FIGURA N° 6.31 Compresión del Eoceno que genera fallas inversas de alto ángulo por los mismos planos de falla que ocurrieron las fallas normales (inversión tectónica)	96

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1.- OBJETIVOS Y ALCANCES

El objetivo general de este trabajo es generar un mapa geológico a escala 1:100.000 del área comprendida entre las coordenadas 72°00' a 73°00' longitud oeste y 10°40' a 11°00' latitud norte, a partir de las cartas Río Guasare (Hoja 5648) y Tule (Hoja 5748) 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), donde quede evidenciada la correspondencia entre la geología superficial obtenida de los estudios previos y la información obtenida de las imágenes multiespectrales.

El alcance de este Trabajo Especial de Grado consiste en actualizar la base cartográfica geológica de la zona de estudio por medio de la información proveniente de una nueva herramienta que se integrará a los estudios geológicos previos, para así corroborar o aportar información a la ya existente.

Esa nueva herramienta son las imágenes satelitales (*Landsat 7 ETM*), las cuales a pesar de tener varios años desde su aparición han sido poco aprovechadas para estudios geológicos.

La integración de imágenes satelitales a los estudios geológicos surge de la necesidad de buscar nuevas herramientas que permitan llegar a todas aquellas regiones consideradas problemáticas por sus condiciones de accesibilidad.

La utilización de las imágenes satelitales permite realizar estudios geológicos a larga distancia con bastante exactitud, sin la necesidad de tener que movilizarse hasta la zona de estudio (sin que esto sea entendido como el fin del geólogo de campo), lo que constituye una gran ventaja en zonas de difícil acceso, tal como es el caso de la Sierra de Perijá.

1.2.- UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO:

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Sierra de Perijá, región occidental de Venezuela (ver Fig. N° 1.1), y comprende un área aproximada de 2330 km², ubicada entre las coordenadas 72°00' a 73°00' longitud oeste y 10°40' a 11°00' latitud norte (Ver Fig. N° 1.2).

SITUACIÓN RELATIVA NACIONAL

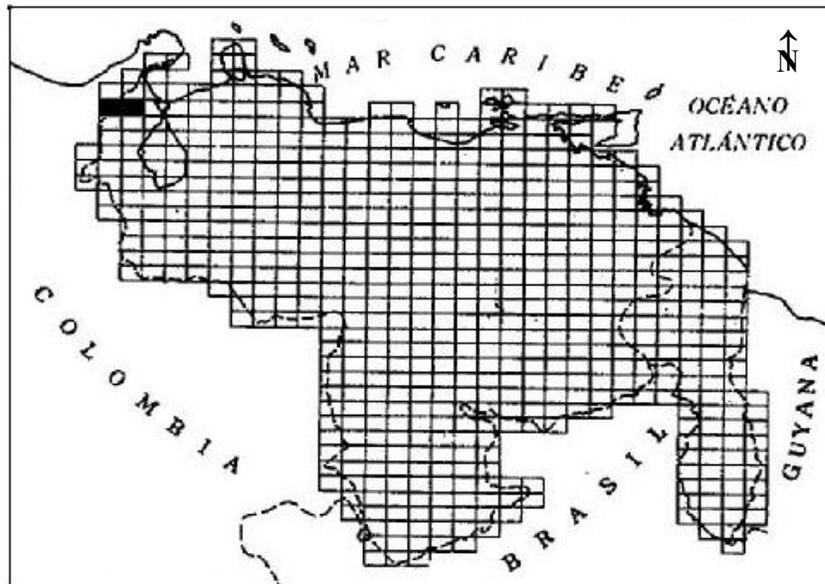


FIGURA N° 1.1 Ubicación de la zona de estudio según su Situación Relativa Nacional. Tomado y modificado de la Hoja 5648, Río Guasare, Venezuela.

SITUACIÓN RELATIVA REGIONAL

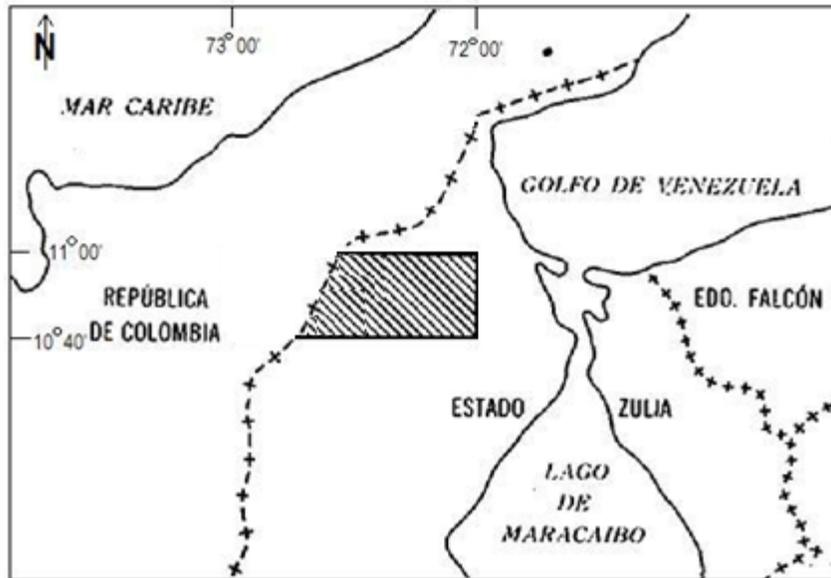


FIGURA N° 1.2. Ubicación de la zona de estudio según su Situación Relativa Regional. Tomado y modificado de la Hoja 5648, Río Guasare, Venezuela.

1.3.- METODOLOGÍA:

1.3.1.- Etapa de recopilación bibliográfica:

La primera etapa en la ejecución del Trabajo Especial de Grado consistió en la revisión y recopilación bibliográfica de textos y trabajos previos, además de la recopilación de material cartográfico y de las fotografías aéreas relacionadas con la zona de estudio. Esta etapa se dio inicio desde la primera semana y se extendió hasta la semana 15 de trabajo.

Entre las actividades que se realizaron en esta etapa se tienen las siguientes:

- Recopilación de trabajos previos, tesis y publicaciones efectuadas 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); en el Instituto de Estudios Avanzados (Universidad Simón Bolívar), y a otras universidades del país como la Universidad de los Andes y la Universidad de Oriente.
- Se recopiló el material cartográfico en la sede del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (ubicada en el Centro Simón Bolívar, Caracas).

1.3.2.- Etapa de Oficina:

Esta etapa se llevó a cabo de manera simultánea con la recopilación de información, llegando a su final durante la semana 16.

Durante esta etapa se efectuó el procesamiento, análisis e interpretación de la información que se iba obteniendo del material recopilado y de las imágenes satelitales correspondientes al área de estudio. La información obtenida fue integrada y vaciada para así generar un mapa geológico a escala 1:100.000 de la zona de estudio. Durante esta etapa se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Revisión y síntesis de la información bibliográfica recopilada.
- Revisión e interpretación del material cartográfico.
- Utilización del ortofotomapa.

- Digitalización, análisis e interpretación de imágenes *Landsat 7 ETM* y hojas Río Guasare (Hoja 5648) y Tule (Hoja 5748), mediante la utilización de los *Software* “ArcGis”, “ENVI 4.1” y “ERDAS IMAGE 8.6”.
- Vectorización de los mapas topográficos mediante la utilización del *Software* “ArcGis”.
- Realización del modelo digital de elevación.
- Interpretación de los datos obtenidos durante la etapa preliminar.
- Vaciado de la información obtenida en un mapa geológico.
- Integración y comparación de los datos bibliográficos y los resultados de la interpretación de imágenes satelitales y la base cartográfica para corroborar, apoyar o refutar la información geológica existente.
- Elaboración del mapa geológico a escala 1:100.000.

CAPÍTULO II

2 MARCO GEOLÓGICO

2.1.- Generalidades

La Sierra de Perijá forma parte del sistema de montañas del Caribe, comenzando aproximadamente en el paralelo 9° N con rumbo N20E, extendiéndose por unos 18 mil km², su mayor altitud es el pico Tetari Kuna Yukpa con 3.750m, (Ver Fig 2.1, Mapa de ubicación y relieve). La zona sur de la cordillera constituye la divisoria de aguas entre la Cuenca del Lago de Maracaibo y el valle del río Cesar en Colombia; mientras que la zona norte está compuesta por filas paralelas con rumbo norte, hasta el nacimiento del Río Guasare.

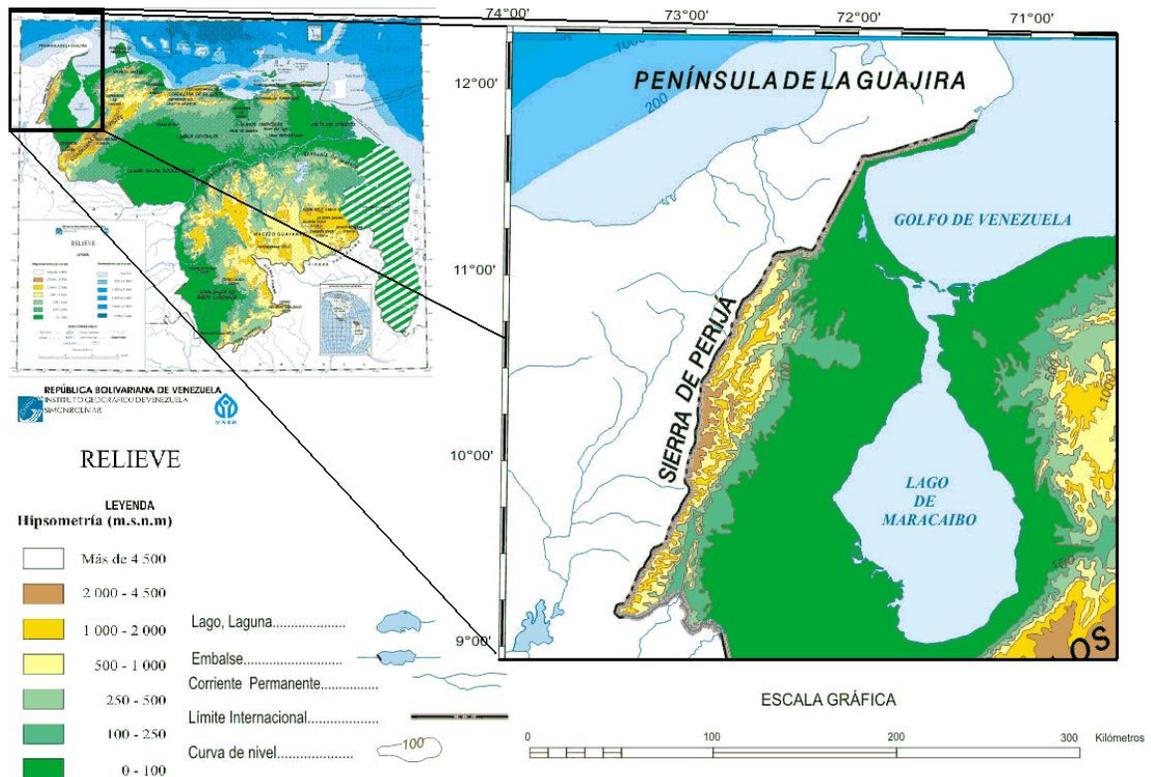


FIGURA N° 2.1 Mapa de Ubicación y relieve

Sobre el basamento se tienen rocas metamórficas descritas por Bowen (1972), con grado de metamorfismo correspondiente a esquistos verdes según Hea y Whitman (1960).

En la Sierra de Perijá se distingue la Depresión o Desgarradura de Perijá, originada por la Falla de Perijá, a la cota 1.800 m.s.n.m. en las cabeceras del Río Tucuco. Al sur de la depresión de Perijá se observa la Sierra de Los Motilones, que es la divisoria de aguas entre el Valle del Cesar al oeste y la Cuenca del Lago de Maracaibo al este. El Tetaría es el pico más alto de la SP con 3.750 m.s.n.m. Al norte de la depresión de Perijá se tiene la Serranía de Valledupar de Colombia, en la que se encuentran las cabeceras de los ríos venezolanos Negro, Apón y Guasare. Aquí el pico más elevado es el Cerro Pintado con 3.600 m.s.n.m. Los Montes de Oca se encuentran al oeste y al norte del Río Guasare (Mendoza, 2005).

La mayoría de las rocas de la Sierra de Perijá, cuyas edades van desde el Neoproterozoico al Neógeno, en general muestran buena foliación y estratificación, con tendencia paralela al grano estructural de la sierra, por lo cual muchos ríos transcurren a lo largo del rumbo de las capas y desvían sus cursos siguiendo fallas ortogonales, formando estrechos y pendientes cañones. Existe morfología periglacial y de soliflucción y a partir de los 2.800 m.s.n.m. rasgos glaciales como circos, escalones rocosos, morrenas aborregadas y lomas de ballena. En dirección opuesta, es decir hacia las planicies del Lago de Maracaibo abundan las terrazas (Mendoza 2005).

Litológicamente según Bellizzia y Pimentel (1995) el basamento de la Sierra de Perijá está constituido por gneises biotítico-cloríticos, anfibolitas y cuarcitas, llamado Asociación Perijá. Sobre este basamento se encuentra una espesa secuencia lutitas carbonáceas y silíceas, areniscas, limolitas, conglomerados y calizas carbonáceas; en la parte superior del grupo, se encuentran capas rojas con niveles fosilíferos; esta secuencia ha sido asignada al Grupo Cachirí

Para Bellizzia y Pimentel (1995) en la Sierra de Perijá se conocen únicamente dos eventos magmáticos: el primero del Devónico (350ma) y conocido como el evento Antray; la segunda fase de plutonismo granítico fue acompañada de un vulcanismo fisural de composición básica y falsita que corresponde al Evento La Quinta (180ma).

Fisiográficamente, según Ostos y Yoris (1997) la Sierra de Perijá se encuentra dentro de las Cadenas Montañosas, en el Sistema de Montañas del Caribe, junto con las Sierras de San Luís y Baragua, y la Cordillera de la Costa. Los rasgos fisiográficos de esta zona se encuentran íntimamente asociados a la evolución del margen norte de la placa Suramericana, y su interacción con la placa Caribe, desde el Eoceno hasta el presente.

El clima, según Del Castillo (1997), es del tipo tropical, muy cálido durante la estación de verano y muy húmedo durante la estación de invierno, especialmente en las zonas de espesa vegetación. Este clima favorece el crecimiento de una vegetación arbustiva en las montañas y colinas, mientras que en los valles se notan selvas tropicales con árboles de grandes dimensiones.

2.2.- Trabajos previos

A continuación se presenta en orden cronológico una visión general de los estudios geológicos regionales más importantes que se han realizado en el área de estudio.

Hung (1976) realizó un estudio petrográfico y bioestratigráfico de las Formaciones: Campo Chico, Sabaneta, Río Negro, Colón, Guasare y Marcelina. Obteniendo como resultado que a la Serie Perijá es más apropiado denominarla Formación Perijá por constituir una unidad litológica bien definida. También definió el metamorfismo de la zona como tipo abukuma. Fig 2.2 y Fig. 2.2.1

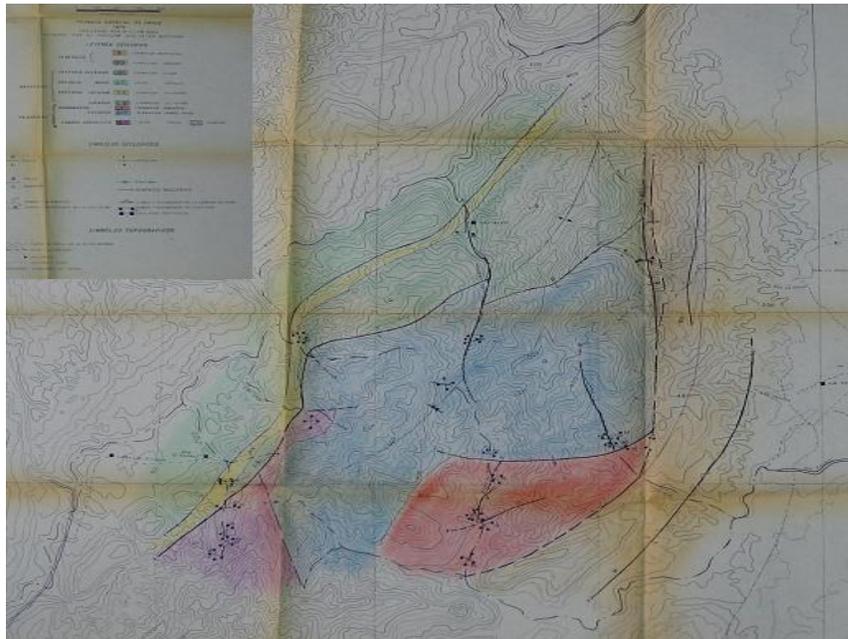
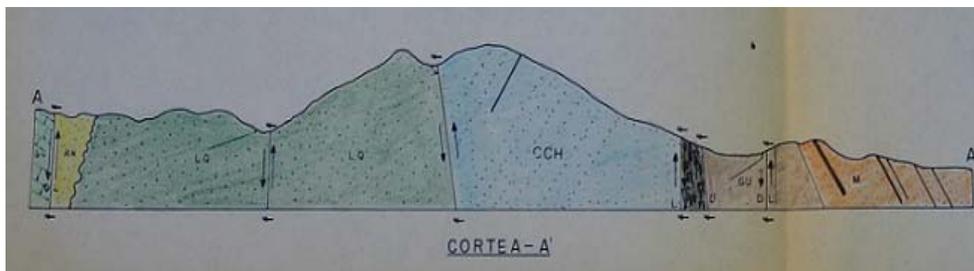


FIGURA N° 2.2 Mapa geológico de las cabeceras del Río Cachirí, Sierra de Perijá, distritos Mara y Maracaibo del Estado Zulia, Modificado de Hung (1976)



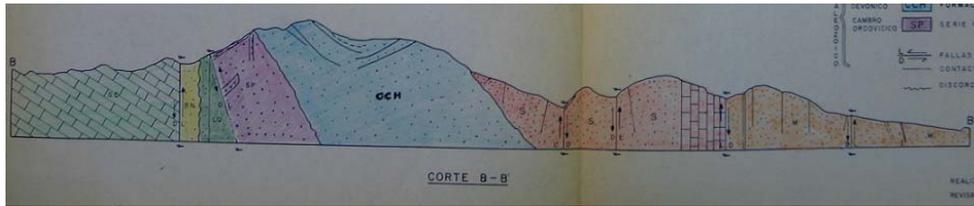


FIGURA N° 2.2.1 Cortes geológicos de la cabecera del Río Cachirí, Sierra de Perijá, distritos Mara y Maracaibo del Estado Zulia, Modificado de Hung (1976)

Gedler (1986) realizan un estudio geológico general de la zona de Perijá estado Zulia, donde determinan: para el Miembro Tibú facies de “*mudstone*”, “*packstone*” y “*wackestone*”; de ambientes de cuencas restringidas y energía de baja a moderada. El Miembro Machiques se caracteriza por calizas y lutitas negras de ambientes marinos restringidos, de condiciones euxínicas y baja energía. El Miembro Piché *wackestone* y *packstone* de ambientes marinos de baja energía que evolucionan a ambientes someros de energía moderada. La Formación Lisure consiste de areniscas cuarzosas calcáreas, calizas y lutitas de ambientes de plataforma somera de energía baja y alta. Formación Maraca consiste netamente de calizas de ambiente marino somero de moderada energía, con buena oxigenación, luz y salinidad normal.

Adrián y Gamarra (1993) realizaron un estudio geológico del sector Riecito de el Palmar en la Sierra de Perijá y determinaron que en la zona existe un metamorfismo de bajo grado correspondiente a la facies de la Prehnita – Pumpellita. El estado diagenético alcanzado por las rocas clásticas fue diagénesis de intermedia a profunda. En cuanto a la geología estructural determinaron patrones de cizallamiento con orientación N 40 E y N 70 E buzando sur con promedio de 48° y plegamiento con ejes de la misma orientación, que corresponden con el patrón estructural regional. Fig 2.3 y Fig. 2.3.1

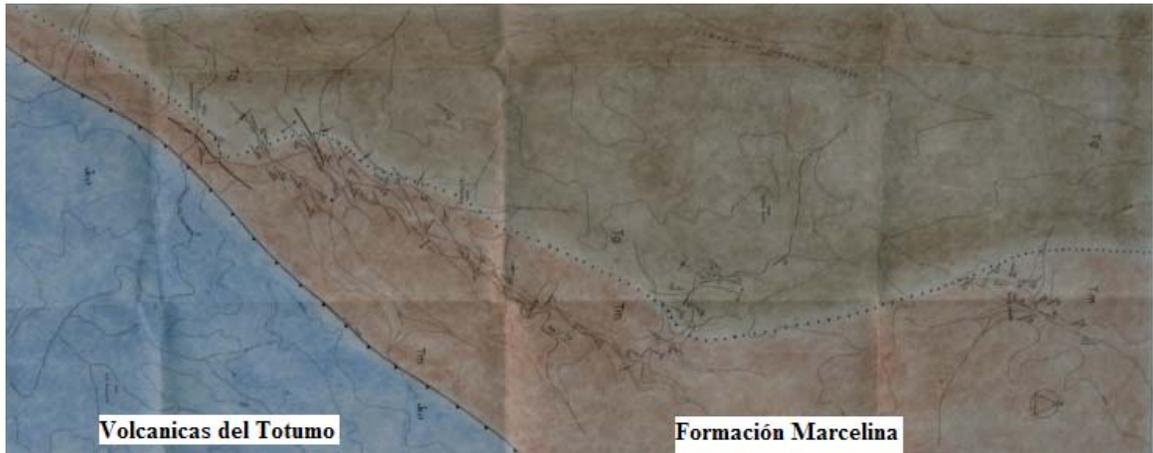


FIGURA N° 2.3 Mapa geológico estructural de la sección Riecito – El Palmar Escala original 1:10.000 Modificado de Adrián y Gamarra (1993)

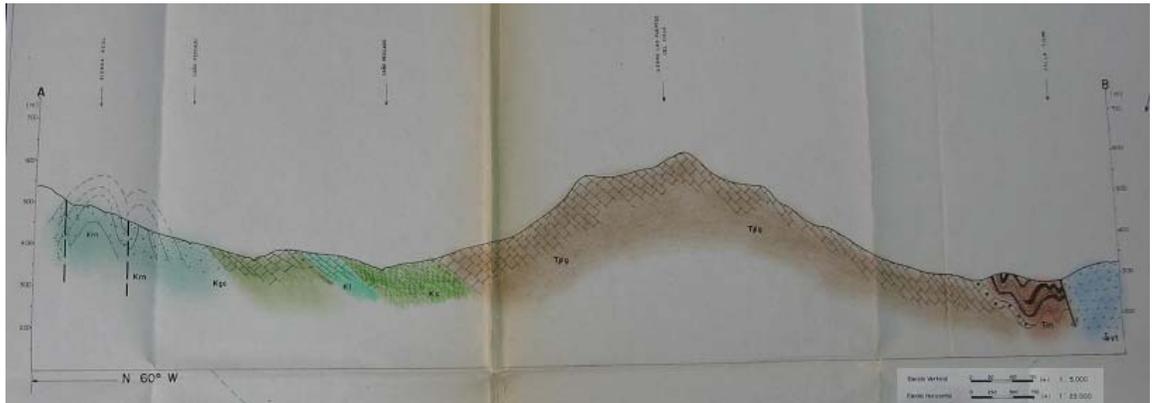


FIGURA N° 2.3.1 Corte geológico de una sección Riecito – El Palmar, Modificado de Adrián y Gamarra (1993)

Testamarck (1994) realiza un estudio de los estilos estructurales del flanco suroriental de la Sierra de Perijá mediante integración de líneas sísmicas, imágenes de radar, y mapas geológicos de superficie. Determinó que en piedemonte existen zonas triangulares que resultan de corrimientos con vergencia sureste que cortan los sedimentos de hasta el Cretácico Inferior; estas estructuras son de edad Mio-Plioceno. Hacia la planicie el estilo estructural predominante es de fallas transcurrentes e inversas de ángulo alto que cortan toda la secuencia sedimentaria hasta la base del Post-Eoceno, originando flexura en los sedimentos más jóvenes.

También determino que en la zona de la Sierra de Perijá, actualmente, existen fallas inversas con orientación NNE reactivadas de fallas normales de edad Jurásico y Cretácico Inferior.

Bellizzia y Pimentel (1995) realizan un estudio de la consolidación de terrenos continentales gondwanicos precámbrico-paleozoicos en los Andes de Venezuela. Sus estudios permiten dar una explicación lógica a las diferencias radicales existentes entre los Terrenos Macizo Colorado y Mérida, con el Terreno Chibcha, comprendido por la Sierra de Perijá, Macizo Santander y Cordillera Oriental de Colombia; durante el Precámbrico-Paleozoico, cuyos núcleos ígneo-metamórficos fueron estructurados durante la tectogénesis Brasiliana, Herciniana y Caledoniana respectivamente.

Bellizzia y Pimentel (1995) consideran importante destacar que las sedimentitas del Pensilvaniano Tardío-Pérmico, son las únicas rocas comunes a los orógenos del Terreno Mérida, Terreno Caparo y Terreno Chibcha, así como las capas rojas continentales y volcánicas asociadas del Jurásico (periodo de adelgazamiento, ruptura cortical y levantamiento), que dan inicio al nuevo ciclo Tectónico-Sedimentario Andino.

Del Castillo (1997) realizó estudios de sedimentología y petrología de areniscas y carbones en la cuenca carbonífera del Guasare lo cual sirvió para la validación de la Formación Paso Diablo en la 3ra. Edición del Léxico Estratigráfico de Venezuela, rescatando así el término prioritario Formación Paso Diablo dada su importancia geológica y económica. Fig. 2.4 y 2.4.1

ACTUALIZACION DE LA GEOLOGIA DE SUPERFICIE DE UN SECTOR DE LA SIERRA DE PERIJA
 MEDIANTE LA UTILIZACION DE IMÁGENES SATELITALES

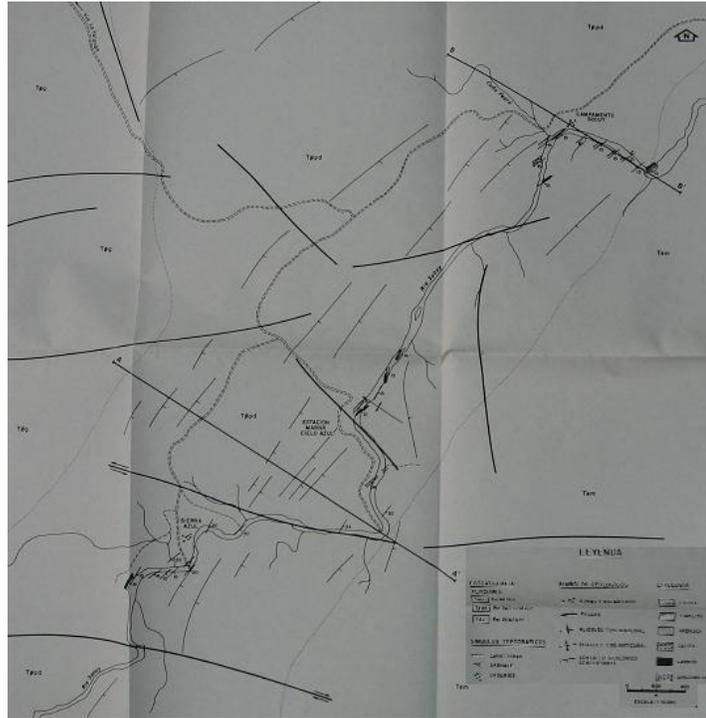


FIGURA N° 2.4 Mapa del Neoestratotipo de la Formación Paso Diablo en el Río Socuy, Modificado de Del Castillo (1997)

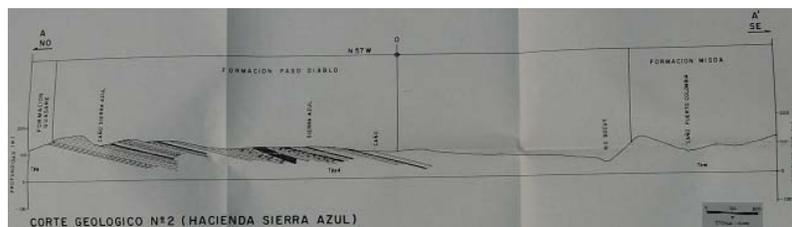




FIGURA N° 2.4.1 Cortes geológicos de la formación Paso Diablo en el Río Socuy, Modificado de Del Castillo (1997)

Lorente y Contreras (1997) realizan un estudio palinológico en el campo de Alturitas donde determinaron que la Formación Peroc en su parte inferior es Oligoceno y en la parte media y superior junto con las Formaciones Macoa y Cuibas inferior son del Oligoceno Tardío. La parte media y superior de la Formación Cuibas y la Formación los Ranchos fueron datadas como Mioceno Temprano.

Berry (1997) mediante un estudio geológico detallado de los afloramientos presentes en el área, definió la Formación Campo Chico como un ciclo continental de sedimentos fluvio-deltaicos, con algunas pequeñas incursiones salobres a marinas. Las evidencias paleobotánicas sugieren que para el tiempo de acumulación de estas rocas existía una libre migración de plantas desde y hacia la región ocupada por el actual estado de *New York* (USA), lo que sugiere la proximidad geográfica o climática entre ambas áreas durante el Devónico

Meza (1998) estudió el sistema petrolífero del Cretácico de la cuenca de Maracaibo, y determinó que la generación de hidrocarburos en la Formación La Luna y Miembro Machiques se inicia durante el Oligoceno Tardío hasta el Mioceno Medio; las trampas estructurales y estratigráficas se forman entre el Cretácico Tardío – Paleoceno, Eoceno Temprano y Tardío y durante el Mioceno Tardío. La generación de trampas se originó durante el régimen de esfuerzos compresivos en el Mioceno Superior, período donde se produce el levantamiento definitivo de los Andes venezolanos y la Sierra de Perijá.

Guerra (1999) realizó un estudio estructural en la zona comprendida entre los ríos Tucuco y Ariguasá y determinó que producto de diferentes eventos de deformación se tienen las siguientes estructuras: Inversión de una falla normal Jurásica durante el Cretácico Tardío y el Mioceno; zona triangular de edad Mioceno tipo *Short Cut*, Corrimiento que transportó el basamento en dirección este sur-este y que plegó la cubierta neógena; corrimiento ciego profundo dentro del basamento responsable del basculamiento del frente de montaña en dirección sureste desde el Mioceno Medio hasta hoy día.

Mediante un estudio aeromagnético Vargas (2002) determina que existe un alto grado de continuidad anisotrópica en la dirección de la estructura principal, como lo es la Falla de Perijá con rumbo Noreste – Suroeste. En cuanto al basamento presentaría una profundización hacia la parte sur de la zona de estudio, mientras que en dirección centro norte mantiene una profundidad somera.

CAPÍTULO III

3 GEOLOGÍA REGIONAL

3.1.- Precámbrico

La región Andina que rodea al oeste el escudo de sur América, ha estado estable por los últimos 500 millones de años y granitos calco-alcalinos derivados de arcos magmáticos han sido adicionados como corteza juvenil durante ese tiempo (Mendoza, 2005).

En los Andes Venezolano se localizan dos terrenos precámbricos: 1) el Complejo Iglesias , que cubre gran parte del centro-norte andino y 2) la Formación Bella Vista en el rincón SW andino, que ocupa una pequeña faja fallada y las formaciones Los Torres, Cerro Azul, Tostós y probablemente El Águila son también precámbricas (Mendoza, 2005).

El Complejo Iglesias cubre más del 50% de los Andes Venezolanos, por los estados Mérida, Trujillo, Táchira y Barinas.

La Formación Bella Vista es una cuña fallada o cuña tectónica de dirección NE de 75km de largo por 14km de ancho. Su zonación tectónico-estratigráfica del NO de Sur América la incluye conjuntamente con las formaciones Caparo y El Horno. Bellizzia y Pimentel (1995) la incluyen en su bloque o terreno Caparo como Asociación litodémica Bella Vista (Mendoza, 2005).

Bellizzia y Pimentel (1.995), postularon que la Formación Bella Vista en el Macizo de Colorado representaba parte de un bloque autóctono ver figuras 3.3 y 3.4 o bloque Caparo (constituido, además, por las formaciones Caparo y El Horno) que

colindó con otro bloque alóctono, denominado Terreno Mérida (formado por las unidades alóctonas litodémicas Sierra Nevada, Tostós y Mucuchachí), formándose entre ambos la sutura Caparo.

FORMACIÓN PERIJÁ

La unidad aflora en la región del río Cachirí, en el caño Grande, en los caños del oeste y del sur y en el caño Aburrado, afluente del río Socuy, constituida litológicamente por cuarcitas duras cortadas por diques y vetas de cuarzo blanco, junto con micaesquitos y esquistos gneisoides intrusionados por granito (Liddle *et al*, 1943), posterior mente se amplia la descripción del granito, (Sutton, 1946), Lugo describen la unidad compuesta por esquistos biotíticos, muscoíticos, tremolíticos, cuarzo feldespático y metacuarcitas cloriticas, cortadas por pequeños diques aplíticos de color rojo naranja y vetas de cuarzo lechoso, señalando un grado de metamorfismo correspondiente a la facies de los esquistos verdes, (Hea y Whitman, 1960).

La formación no es lo suficientemente conocida, como para precisar sus ambientes de formación. Tiene el aspecto típico de metamorfismo aureolar en una sucesión de areniscas y lutitas, separables del Devónico más bien por el grado que por el tipo de alteración. Las evidencias de campo indican la derivación de estas rocas metamórficas, de una sucesión sedimentaria clástica compuesta de areniscas arcóicas gruesamente estratificadas a macizas, que gradan y están separadas por estratos más delgados de lutitas; no se observan verdaderas características sedimentarias, (CIEN, 1997).

3.2.- Paleozoico

La sedimentación Paleozoica en Venezuela tuvo lugar entre dos períodos orogénicos universales que ocurrieron uno a fines del Precámbrico-Paleozoico

Inferior y el otro durante el Paleozoico Superior-Triásico, conocidas respectivamente como Orogénesis Caledoniana (500-350 Ma) con el evento Caparoensis (400-480 Ma) y la Orogénesis Herciniana - Varistica (300-225 Ma), (Mendoza, 2005).

3.2.1.- Paleozoico Medio

El Paleozoico Medio (= Devónico + Mississipiense) no ha sido localizado en ninguna región andina ni en El Baúl ni en el subsuelo del Lago de Maracaibo y sólo aflora en la Sierra de Perijá, en su flanco oriental donde se definió la Serie Río Cachirí y se caracterizó por la abundancia de fósiles indicativos de ambientes sedimentarios plataformales poco profundos, sin ningún vestigio de metamorfismo, (Mendoza, 2005).

GRUPO RÍO CACHIRÍ

Tiene su localidad tipo en las cabeceras del Río Cachirí, a unos 89 km al oeste de Maracaibo, estado Zulia, ocupando una faja a lo largo del flanco oriental de la Sierra de Perijá hasta los distritos Mara, Maracaibo y Perijá con 110 km de longitud, llegando hasta el norte de la República de Colombia e incluso cerca de la Sierra de Santa Marta. El grupo consiste mayormente de lutitas de colores negros, grises y rojas, areniscas grises micáceas, areniscas cuarcíticas y calizas de color rojo a negruzco, (Mendoza 2005).

El Grupo Río Cachirí se divide en las formaciones, en orden ascendente Los Guineos, Caño Grande, Caño del Oeste y Campo Chico (Liddle *et al.* 1943). (Bellizzia y Pimentel 1995) lo incluyen en el terreno Chibcha conjuntamente con la Cordillera Oriental de Colombia, el Macizo de Santander y parte del Flanco Oriental de la Cordillera Central de Colombia. El Grupo Río Cachirí suprayace discordantemente al Granito de Lajas (310 Ma a 370 Ma) a las rocas metamórficas de

la Asociación litodémica Perijá e infrayace discordantemente a formaciones del Paleozoico Tardío y Mesozoico del Grupo La Ge. Su edad en base a abundantes fósiles va desde el Devónico Temprano hasta el Carbonífero Temprano (Mississippiense). Estos son los únicos sedimentos del Paleozoico Medio o Devónico conocidos hasta ahora en toda Venezuela., pero es abundante en la Cordillera Oriental de Colombia. (Mendoza, 2005).

FORMACIÓN CAÑO INDIO

Nombrada así por un afluente del mismo nombre del Río Guasare y se componen de litologías de colores rojizos, areniscas macizas intercaladas con limolitas que predominan hacia el tope de la formación; y en las cabeceras del Río Cachirí se encuentra una asociación similar pero intercaladas con tobas y brechas volcánicas félsicas, también de colores rojizos, en zona de una gran complejidad tectónica. La formación carece de fósiles y parece no ser de ambientes marinos. Caño Indio es concordante y transicional en parte y discordante en parte también con la infrayacente formación Caño del Noroeste, pero siempre es concordante y transicional con la suprayacente, marina y fosilífera Formación Río Palmar, (Mendoza, 2005).

FORMACIÓN RÍO PALMAR

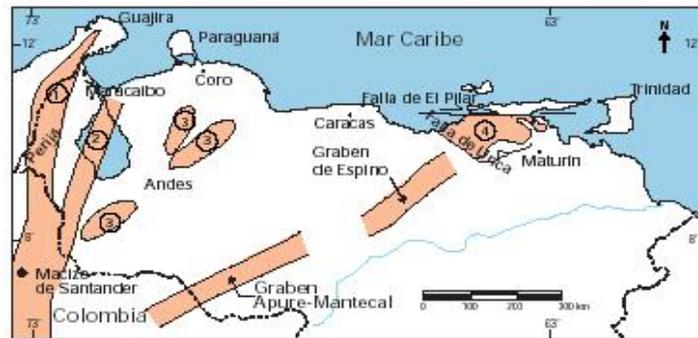
Aflora en el río de ese nombre y se compone predominantemente de calizas, oolíticas cerca de la base y fosilíferas en el resto de la sección y por sus fósiles (fusulínidos y corales) se considera de edad Pensilvaniano inferior, asociadas con cantidades menores de limolitas calcáreas finas. En su parte media muestra dos horizontes con ftanita posiblemente debida a cambios en las condiciones Eh-pH sedimentarias, (Mendoza, 2005).

3.3.- Mesozoico

El Triásico en Perijá está evidenciado por rocas volcánicas que antecedieron a la sedimentación de las capas rojas de la formación el Totumo y a todo el proceso de expansión que estuvo relacionado a la apertura del Golfo de Mexico o Proto-Caribe, (Ostos *et al.*, 1997).

La ruptura o “rifting” de Pangea indujo el desarrollo de el graben de Perijá. Este “goben” fue rellenado durante el jurásico por sedimentos continentales tipo capas rojas, volcánicas y eventualmente clásticos y calizas de invasiones marinas, (Ostos *et al.*, 1997).

El Cretácico en Perijá se caracteriza por tener una sedimentación en los sistemas de grábenes jurásicos ver figura 3.1, como se puede evidenciar en los clásticos arenosos de la Formación Río Negro. A continuación, la subsidencia cesó y el Grupo Cogollo (carbonático) se depositó sobre un extenso mar epicontinental transgresivo sobre todo el occidente de Venezuela. En el cretácico superior la formación la luna que representa la roca madre por excelencia de la cuenca de Maracaibo pasa verticalmente a calizas glauconíticas y lutíticas oscuras y areniscas delgadas de las formaciones Colón y Mito Juan, (Ostos *et al.*, 1997).



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 (grabenes de Apure-Mantecal y Espino) y han sido interpretadas como involucradas en profundidad en los comiientos de la Serranía del Interior (4). Tomado de Bartok (1993), Passalacqua et. al. (1995) y Lugo y Mann (1995).

FIGURA N° 3.1 Distribucion de las rocas jurasicas de Venezuela que se encuentran aflorando en la Sierra de Perija (Tomado de Ostos y Yoris, 1997)

Durante el Mesozoico se desarrollan dos provincias en Venezuela ver figura 3.3 y 3.4, a saber:

1. PROVINCIA EPICONTINENTAL, autóctona, localizada al sur de las costas actuales y comprende los Andes, Perijá, la Serranía del Interior, las cuencas del Lago de Maracaibo, de Barinas y del Oriente del País, (Mendoza, 2005).

2. PROVINCIA GEOSINCLINAL, alóctona, localizada al norte de las costas actuales y por traslado tectónico hoy ocupa la Cordillera de La Costa, Penínsulas de Paraguaná y Araya-Paria, Margarita y demás islas venezolanas en el Caribe y se engloba como Sistema Montañoso del Caribe, (Mendoza, 2005).

La Orogénesis Herciniana-Varística continúa con carácter compresional y el desarrollo de actividad ígnea calco-alcalina con centros volcánicos en Perijá y El Baúl, relacionados a la ruptura de la Pangea (200 Ma) con volcanismo basáltico y la formación de depósitos sedimentarios de capas rojas continentales y lacustres,

intercaladas con las volcánicas y la aparición de mares incipientes muy poco profundos, (Mendoza, 2005).

La sedimentación del Jurásico en Perijá está representada por los sedimentos del Grupo La Ge, que de más antiguo a más joven se compone de las formaciones Tinacoa, Macoita y La Quinta. Tinacoa y Macoita se interestratifican con rocas volcánicas y piroclásticas de la Ge y las rocas de la Formación La Quinta con rocas volcánicas de El Totumo, (Mendoza, 2005).

3.3.1.- Jurásico

FORMACIÓN LA QUINTA

La Formación La Quinta aflora extensamente en la parte suroeste de los Andes de Mérida (estados Táchira, Mérida y Barinas), en áreas aisladas en la parte noreste (estado Trujillo), y en el flanco este de la sierra de Perijá, (CIEN, 1997).

Litológicamente la Formación La Quinta en la sierra de Perijá, ver figura 3.2, se describió en la quebrada La Ge, donde se divide en tres intervalos: uno inferior (700-800 m, aproximadamente la mitad de la secuencia total), consistente de arcosa marrón a roja oscura, fina a mediana, con pocas intercalaciones volcánicas, y la cual contiene fragmentos vegetales y de carbón; una zona de transición (aproximadamente 100 m), la cual se compone de capas de basalto-andesita (a más de 20 m de espesor), conglomerado tobáceo, y arcosa verde, mediana a gruesa, con intercalaciones de arcosa marrón a rojo oscuro, y lutita roja a negra (rara vez verde) fosilíferas; y un intervalo superior (700-800 m), con rocas de grano más grueso (localmente conglomerado de cantos), consistente principalmente de arcosa roja oscura a marrón oscura, de grano grueso, y capas finas de ceniza félsica roja a rosada. El contenido de

rocas volcánicas decrece de norte (donde predominan en la formación) a sur (hasta menos de la tercera parte del total), (Maze, 1984).

La Formación La Quinta representa capas rojas en facies de conos piedmontinos y de sedimentos aluviales. En la zona de El Totumo, así como en Alturitas e Isla de Toas, la Formación La Quinta está parcial a totalmente reemplazada por rocas volcánicas y piroclásticas básicas a intermedias. La Formación La Quinta se divide en dos miembros: el Miembro Inferior compuesto de areniscas rojas de grano fino intercaladas y reemplazadas por las rocas volcánicas de El Totumo y el Miembro Superior, representado por el Conglomerado de Seco, sin la presencia de las rocas volcánicas de El Totumo. La Formación La Quinta infrayace unas veces concordantemente y otras discordantemente a la Formación Río Negro, (Mendoza, 2005).

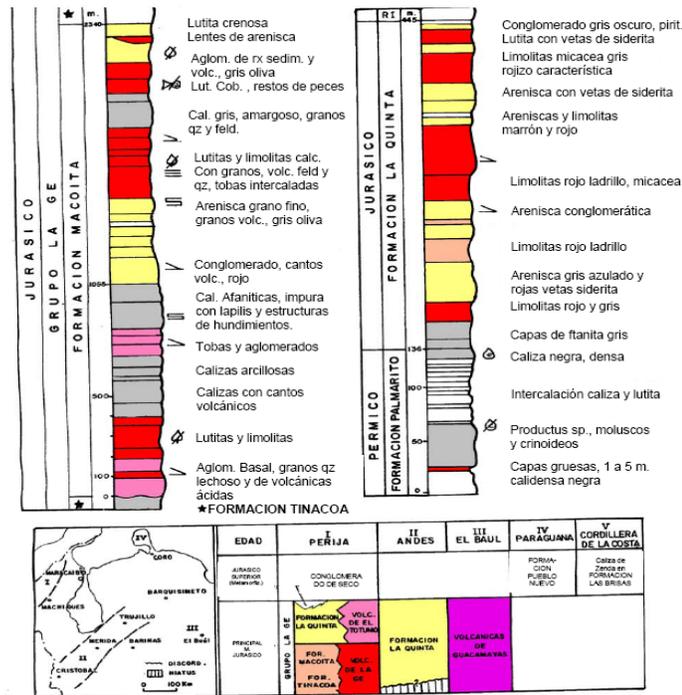


Figura N° 3.2 Cuadro de unidades litoestratigráficas del Triásico – Jurásico de Vernezuela y columnas litoestratigráficas de las formaciones palmarito y La Quinta en la quebrada Bellaca y de la Formación Macoita aflorante en el Caño Cuna de la Sierra de Perijá, (Martínez, 2005).

ACTUALIZACION DE LA GEOLOGIA DE SUPERFICIE DE UN SECTOR DE LA SIERRA DE PERIJA
 MEDIANTE LA UTILIZACION DE IMÁGENES SATELITALES

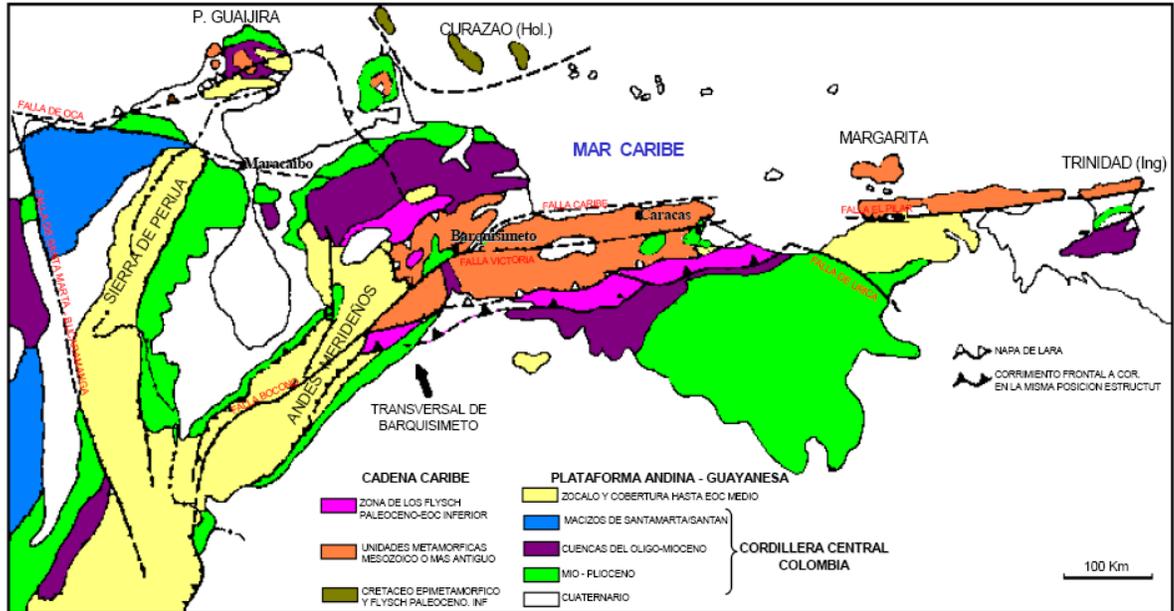


FIGURA N° 3.3 Distribución de las unidades alóctonas, para-autóctonas y autóctonas, en el norte de Venezuela, (Mendoza, 2005)

3.3.2 Cretácico

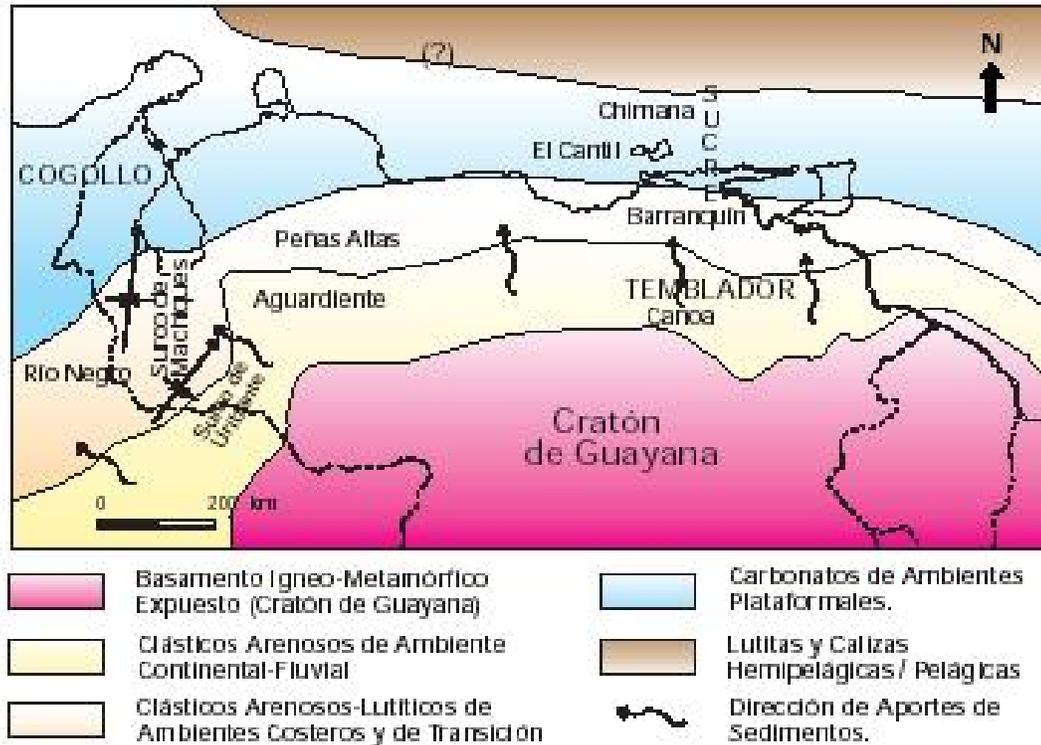


FIGURA N° 3.4 Distribución de las facies sedimentarias dominante durante el Neocomiense-albiense (Cretácico Temprano) al norte de Guayana. Se indican unidades típicas de dicha asociación de facies, (Ostos y Yoris, 1997)

FORMACIÓN RIO NEGRO

La unidad aflora en la mayor parte del occidente de Venezuela, en los estados Zulia, Táchira, Mérida. Exhibe buen desarrollo en secciones de la depresión Táchira. Está ausente en el subsuelo de la cuenca Barinas y en los ríos del flanco surandino entre las cercanías de Santa Bárbara de Barinas y el río Calderas, (Kiser, 1997).

La descripción litológica es la siguiente: Areniscas blancas, generalmente de grano grueso, conglomerados heterogéneos; arcillas y lutitas variables, típicamente en

tonos brillantes de amarillo, rojo y morado. De acuerdo con su fuente sedimentaria, las areniscas varían desde muy cuarzosas (surco de Uribante), a muy feldespáticas (surco de Machiques). Se describe posteriormente una columna estratigráfica, representativa de esta unidad en la región central de la subcuenca del Uribante, aflorante en la región de La Fundación, estado Táchira. Esta secuencia se inicia, con capas de arenisca de grano fino a grueso y conglomerados, en capas de hasta 1 metro de espesor, de color gris claro, con manchas rojizas debido a lixiviación de los sedimentos rojos de la formación La Quinta, infrayacente. Estos estratos están intercalados, con niveles de lutitas y limolitas negras que se hacen dominantes en los 200 metros basales. Se trata de limolitas y lutitas calcareas, en partes carbonosas, muy fosilíferas, intercaladas con capas de caliza y yeso, entre 1 y 2 metros de espesor. Suprayacente a esta secuencia, se presenta una alternancia de capas potentes de conglomerados de grano grueso y de lutitas, distribuidas en estratos que varían entre 1 y 5 metros. Las capas conglomeráticas, están formadas por clastos, en su mayoría de cuarzo, redondeados a subangulares; presentan escogimiento pobre coloración blanca a gris pardo. La textura es variable al igual que su composición mineralógica. Es frecuente la estratificación cruzada asintótica, hacia la base y cortada hacia el tope, dentro de un rango que varía entre 1 centímetro y más de 1 metro. Los rellenos de canales son frecuentes en todo este intervalo, y alcanzan dimensiones variables, desde pocos centímetros hasta más de 3 metros de ancho. Las capas lutáceas y limolíticas intercaladas en la secuencia, son de color gris oscuro a negro, finamente laminadas y con restos vegetales; localmente los niveles limosos arenáceos, presentan laminaciones y estratificación cruzada, que recuerdan las macroestructuras de los estratos conglomeráticos, (Van Andel, 1958)

En la parte media de la formación, se presentan horizontes de coloración rojiza que recuerdan a la Formación La Quinta y es posible que ello se deba a erosión y resedimentación de estratos de esa formación. Los términos superiores de esta columna, están formados por capas de areniscas conglomeráticas; con estratos alternantes de poco espesor de lutitas y limolitas oscuras. El contacto superior, está

definido por la aparición de los primeros horizontes calcáreos de la Formación Apón, (CIEN, 1997).

Los ambientes de sedimentación de la Formación Río Negro son variables: La secuencia calcárea-lutácea y yesífera, se depositó en un ambiente de lagunas costaneras, llanuras de marea o albúferas, salinidad anormal, presumiblemente hipersalinas con poca circulación y baja oxigenación; la secuencia de areniscas con estratificación cruzada, se depositó en un ambiente deltáico a marino costanero; y la secuencia de conglomerados y areniscas coglomeráticas, en un ambiente deltáico, donde cada nivel de conglomerados indica una pequeña pulsación del ciclo fluvial, con disminución de la energía mecánica, de la base al tope de la secuencia, (CIEN, 1997).

FORMACIÓN APON

MIEMBRO TIBÚ

Se extiende desde su localidad tipo en la Concesión Barco de Colombia, desde las áreas de Tarra y Río de Oro, hasta los campos de La Paz y Mara y plataforma de Maracaibo, a lo largo de los Andes y continúa hasta los estados Trujillo y Lara, con la posible excepción de una región sobre el Arco de Mérida, (CIEN, 1997).

No existe una distribución regular dentro de la secuencia, la cual se presenta bien estratificada. La parte inferior está formada por calizas arenosas, areniscas calcáreas y lutitas y no es rara la presencia de glauconita, mientras que la parte superior es prácticamente calcárea. (CIEN, 1997).

Consiste en varios tipos de calizas: cristalina de color gris claro a medio, maciza, bioclásticas (coquinoide) con abundantes macrofósiles, criptocristalina,

laminar con olor fétido y dolomita. Las capas individuales varían desde 50 cm a varios metros y están interestratificadas con margas de colores más claros. Existen intercalaciones de caliza nodular en los Andes y el piedemonte de Perijá. El Miembro Tibú mantiene una litología bastante uniforme a través de Venezuela occidental, (CIEN, 1997).

La fauna indica un ambiente nerítico, tranquilo y bien aireado, (CIEN, 1997).

MIEMBRO MACHIQUES

Está circunscrita al surco de Machiques hasta el campo Alpuf al Norte, consiste en una sucesión de calizas laminadas, gris oscuro a negro, bituminosas, con olor a petróleo, piríticas y con pelotillas fecales, calizas margosas y lutitas que contienen concreciones calcáreas discoidales, con un diámetro máximo de 2 m, a menudo ricas en microfósiles. Hay también intercalaciones de calizas no bituminosas. En el campo, la litología del Miembro Machiques es muy similar a la de la Formación La Luna, la diferencia consiste en su contenido fosilífero: el primero tiene una fauna pelágica pobre, mientras que en La Luna, los foraminíferos pelágicos están mejor desarrollados. En las regiones de río Apón y río Negro, la formación está dividida por un cuerpo de caliza conchífera de 20-50 m de espesor, (CIEN, 1997).

Es considerada como el producto de dos condiciones intercambiables: facies de lutita negra de condición restringida, y una facies de caliza bien aireada con profundidades epineríticas a infraneríticas, (Rod y Maync, 1954).

MIEMBRO PICHE

Se encuentra desde la subcuenca de Machiques, al campo La Paz y plataforma de Maracaibo. No se reconoce hacia los Andes, (CIEN, 1997).

Consiste en varios tipos de calizas entre las que se encuentran: fosilíferas del tipo coquina, criptocristalina, de estratificación media a delgada con planos de

estratificación ondulados con intercalaciones de color gris oscuro a negro, nodulares con estratificación delgada, nodulares margosas y margas de color gris claro azulado. Por litología, solamente resulta difícil de diferenciar del Miembro Tibú, (CIEN, 1997).

La primera microfacies de Apón formada en la parte inferior de la acción del oleaje, se encuentra en forma típica en las Calizas de Piché, (Ford y Houbolt, 1963).

FORMACION LISURE

El cambio con la Formación Aguardiente es gradual, y su límite se coloca donde la proporción de calizas es menor al 40%, lo cual sucede hacia el extremo sur del lago y los andes, y al sureste en la Concesión Barco, (González de Juana *et al.* 1980).

Consiste en areniscas glauconíticas de grano medio a fino, de color gris azulado a gris verdoso, calizas arenosas glauconíticas laminadas, areniscas micáceas que alternan con lutitas arenoso-arcillosas de color gris azulado, calizas glauconíticas y algunas calizas lutíticas, (CIEN, 1997).

Esta representa facies de aguas marinas de plataforma costera con profundidades variables. En las cuales se considera que la abundancia de material clástico, indica el extremo septentrional de un influjo de arena, suministrado por el Escudo de Guayana. Se pudo interpretar un ambiente marino somero a intermarea, con tasas bajas de sedimentación carbonática, con algún influjo de aguas dulces, sedimentos lagunares y de alta energía hacia el tope, (León, 1975).

FORMACIÓN MARACA

Se reconoce por la sierra de Perijá hasta el río de Oro, pero no se ha reportado en la Concesión Barco al suroeste. Hacia Los Andes es reconocida en Táchira-Tarra, y en Pregonero, en el camino La Grita-Seboruco y al norte de los estados Trujillo y Lara, (CIEN, 1997).

Litológicamente consiste en pocas areniscas glauconíticas y calcáreas hacia la base, en transición con la Formación Lisure infrayacente, pero el carácter más distintivo lo constituyen las calizas bioclásticas coquinoides macizas, formadas predominantemente por *Ostreas* y *Trigonia*, con algunas, intercalaciones de capas delgadas de margas y lutitas de color gris y ocre claros. También puede presentar ooides y granos cubiertos, y algunos granos angulares de cuarzo, fosfato y pirita. Las calizas se asemejan a la de los miembros Piché, y Tibú de la Formación Apón, (CIEN, 1997).

Se considera que la formación representa una facies de aguas llanas, cercana a la costa, donde se interpretan ambientes lagunales a intramarea en la base, que pasa a marino llano hacia el tope, (CIEN, 1997)

FORMACION LA LUNA

La unidad se presenta en toda la extensión de la cuenca del lago de Maracaibo, estado Zulia, como también en los estados Falcón, Lara, Trujillo, Mérida, Táchira, Barinas y la península de La Goajira, Colombia, (CIEN, 1997).

La Formación La Luna consiste típicamente de calizas y lutitas calcáreas fétidas, con abundante materia orgánica laminada y finamente dispersa, delgadamente estratificadas y laminadas, densas, de color gris oscuro a negro; la ftanita negra es frecuente en forma de vetas, nódulos y capas delgadas; las concreciones elipsoidales a discoidales de 10 a 80 cms de diametro, son características típicas de la formación,

que permiten reconocerla en cualquier afloramiento. Muchas de las concreciones tienen amonites y otros microfósiles en su interior. Las capas de caliza varían en espesor de 1 - 2 cms hasta unos 50 cms, con estratificación uniforme y monótona. Fracturas frescas de las calizas tienen olor característico y fuerte a bitumen.

En la región de Trujillo-Lara, la unidad ha sido subdividida en tres miembros denominados La Aguada, Chejendé y Timbetes, en orden ascendente, (O. Renz, 1959). En la región de Táchira-Barinas, Renz nombró la Lutita de La Morita, considerada por autores posteriores como miembro local de las formaciones La Luna y Navay. Otra unidad que algunos consideran como miembro de la Formación La Luna es el Chert (Ftanita) de Táchira, (CIEN, 1997).

La formación La Luna aparentemente se depositó en un ambiente euxínico de aguas cuya profundidad ha sido objeto de mucha controversia. Se indican profundidades que van de 100 m en el Turoniense hasta aproximadamente 800 m en el Campaniense, y mencionan condiciones euxínicas del Turoniense hasta el Santiense, (Boesi et al. 1988). También se mencionan ambientes disaeróbicos para el Miembro Tres Esquinas del Campaniense, (Romero y Galea, 1995).

FORMACIÓN COLÓN y MITO JUAN

La Formación Mito Juan se extiende superficialmente tanto como la Formación Colón, ya que en muchos lugares se diferencia de ella muy difícilmente y en otras partes no se ha intentado diferenciarlas. Se encuentra en la parte occidental y meridional de la cuenca del lago de Maracaibo, (CIEN, 1997).

La litología de la Formación Mito Juan se caracteriza por arcillas grises, gris verdosas y negras, localmente arenosas, en las cuales el contenido de limo y arena aumenta en sentido ascendente y en cuya parte superior se encuentran a veces capas delgadas de calizas y areniscas. En la parte inferior de la formación hay algunas arcillas laminares grises que son indistinguibles litológicamente de las arcillas de

Colón. Son particularmente comunes concreciones discoidales de arcilla ferruginosa formando capas delgadas. Las arenas se clasifican en el grupo de las grauvacas y subgrauvacas y en el grupo de las areniscas cuarzosas en el flanco noreste de Mérida, (Van Andel, 1958). En la parte superior se presenta localmente un intervalo de calizas conocido como Miembro Río de Oro, (CIEN, 1997).

La microfauna indica ambientes de aguas salobres, poco profundas, evidenciando en esta forma el relleno de la Cuenca, (Sutton, 1946).

3.4 Terciario

A comienzos del Paleoceno Venezuela occidental sufrió finalmente el efecto de la colisión entre la placa de Nazca y el occidente colombiano. Los frentes de deformación del evento de la colisión de estas placas generaron sucesivos depocentros de edades cada vez más jóvenes hacia el este de lo que hoy en día es la Sierra de Perijá. La sedimentación en el Eoceno estuvo controlada por los frentes de deformación del Caribe, acumulándose sedimentos finos de talud continental, (Ostos *et al.*, 1997).

Durante el Oligoceno la acumulación de sedimentos en la cuenca de Maracaibo fue preservada mayormente hacia sus flancos: en Perijá los clásticos arenosos de las Formaciones Carbonera y Ceibote (Grupo el Fausto), (Ostos *et al.*, 1997).

El Neógeno en Venezuela se caracteriza por el levantamiento de diversas cadenas montañosas. En Perijá, el Grupo el Fausto es la unidad equivalente molásica relacionada en este caso con las montañas de los frentes de deformación en el límite occidental de la Cuenca de Maracaibo, (Ostos *et al.*, 1997).

3.4.1.- Paleoceno

FORMACIÓN GUASARE

Los afloramientos de la Formación Guasare se presentan a lo largo de una faja de 50 a 60 km de ancho, que se extiende a lo largo de los contrafuertes de la sierra de Perijá, desde el río Guasare, hasta el área sur del distrito Perijá, (CIEN, 1997).

En los afloramientos de los ríos Guasare, Socuy y Cachirí, la formación consiste en calizas pardo grisáceo a gris amarillento o gris, generalmente glauconíticas. Algunas capas son ricas en restos de *Ostrea* y *Venezulia*. Intercaladas con las calizas, se presentan lutitas y limolitas grises a parduscas y areniscas grises, calcáreas y glauconíticas, (CIEN, 1997).

La Formación Guasare representa la sedimentación de plataforma, desarrollada en la porción central de la cuenca de Maracaibo durante el Paleoceno. Su litología y contenido fosilífero, corresponden a un ambiente marino nerítico, el cual estuvo sujeto a influencias de tipo deltaico, especialmente hacia el suroeste, donde se observa la interdigitación de la típica litología de Guasare con los sedimentos del Grupo Orocué, (CIEN, 1997).

FORMACIÓN MARCELINA

Los afloramientos de la Formación Marcelina abarcan una faja de unos 54 km de largo, por no más de 4 km de ancho, que va desde unos 3 km al norte del río Guasare, hasta la confluencia del caño Colorado con el río Palma, al sur, (Motiscka, *op. cit.*). En el subsuelo, ha sido identificada en los campos de Alturitas, (Key, *op. cit.* y Alpuf Quijada y Caldera *op. cit.*), en el distrito Perijá. Se señala su extensión en la vertiente occidental de la sierra de Montes de Oca, en el valle del río Ranchería,

Colombia. La formación desaparece hacia el este, en el lago de Maracaibo, por erosión, (Miller y San Juan, 1963).

La litología de la formación es una intercalación de areniscas, lutitas, lutitas arenosas y capas de carbón. En la base de la unidad, las areniscas son macizas, gruesas, de color gris claro y localmente calcáreas. Más arriba se hacen delgadas, están intercaladas con lutitas color gris y presentan planos de estratificación con mica y carbón. Las lutitas son de color gris oscuro a negro, con fractura concoidal o de lápices. Tanto en las areniscas como en las lutitas, se encuentran nódulos de arenisca y caliza arenosa de color gris azulado, de forma alargada y midiendo de 1.2 a 2.4 m de largo por 0.6 a 1.2 m de diámetro. El carbón es de tipo subbituminoso a bituminoso, y se presenta principalmente hacia la base de la formación, en capas de 2 hasta 10 m de espesor, (Sutton, *op. cit.*). En el río Socuy se observan capas de caliza y areniscas calcáreas con restos de moluscos. Las calizas son generalmente delgadas, aunque en la parte inferior de la sección, señalan una capa de 3 m, (Miller y San Juan, 1963).

En la Formación Marcelina se observa un conjunto de rocas alteradas por el calor de la oxidación (combustión) de mantos de carbón. Interpretadas erróneamente como de origen ígneo, fueron estudiadas en forma detallada por, (Moticska, 1977), quien determinó tres tipos principales: porcelanitas producto de limolitas carbonáceas y en parte de areniscas finas, calizas y conglomerados; brechas soldadas y flujos de brechas formados por fragmentos líticos embebidos en roca fundida, y lavas (paralavas) formadas por la fusión completa del material rocoso. Todas estas variedades presentan diversas tonalidades de rojo, marrón y ocre, (CIEN, 1997).

La Formación Marcelina representa un ambiente sedimentario de tipo paludal, originado por el avance deltáico del Paleoceno, sobre los ambientes de plataforma de la Formación Guasare, (CIEN, 1997).

3.4.2 Eoceno

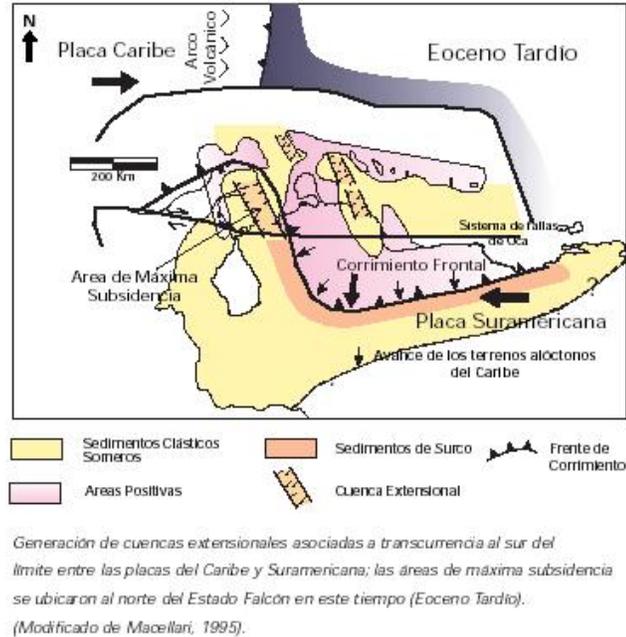


FIGURA N° 3.5 Generación de cuencas extensionales (Tomado de Ostos y Yoris, 1997)

FORMACIÓN MIRADOR

La Formación Mirador aflora extensamente a lo largo de los flancos de la sierra de Perijá, Zulia suroccidental, en el estado Táchira y partes adyacentes de Colombia y en el subsuelo en los campos de Tarra, (CIEN, 1997).

Litológicamente la sección tipo se caracteriza por areniscas blancas de grano fino a medio con capas delgadas de gránulos o guijarros de cuarzo; toda la sección presenta material carbonáceo, observándose algunas intercalaciones de lutitas en su tercio superior y capas delgadas de carbón interestratificadas con las mismas. Se dividió en tres unidades informales descritas a continuación:

El intervalo inferior está constituido por areniscas macizas de grano grueso con estratificación cruzada en escala de metros, intercaladas con arcillas limosas y arenosas. Hacia el sur se observan algunos niveles conglomeráticos, en el subsuelo de Alturitas, las areniscas son de grano fino y laminadas. En el subsuelo se encuentra un intervalo lutítico de 20 a 30 m de espesor, que se caracteriza por arcillitas y lutitas gris oliva claro, localmente carbonáceas y con una o dos capas lenticulares de carbón. Este intervalo constituye un marcador notorio en los registros eléctricos de pozos relativamente cercanos, y no parece tener continuidad regional, como sucede al sur de Táchira donde está ausente. El intervalo superior, muestra areniscas cuarzosas limpias de grano grueso a conglomeráticas; las areniscas son lenticulares con acanaladuras y frecuentemente macizas (González de Juana *et. al.*, 1980).

La Formación Mirador en el sector de San Pedro del Río-Michelena, estado Táchira, se interpreta como un ambiente de estuario dominado por olas, de poca profundidad y gran extensión lateral, y considera que el modelo fluvial de ríos entrelazado no debe aplicarse a esta zona. La presencia de un estuario indica la existencia de una importante masa de agua en la región, considerada marina entre otras cosas a la existencia de flora costera, (CIEN, 1997).

3.4.3 Oligoceno

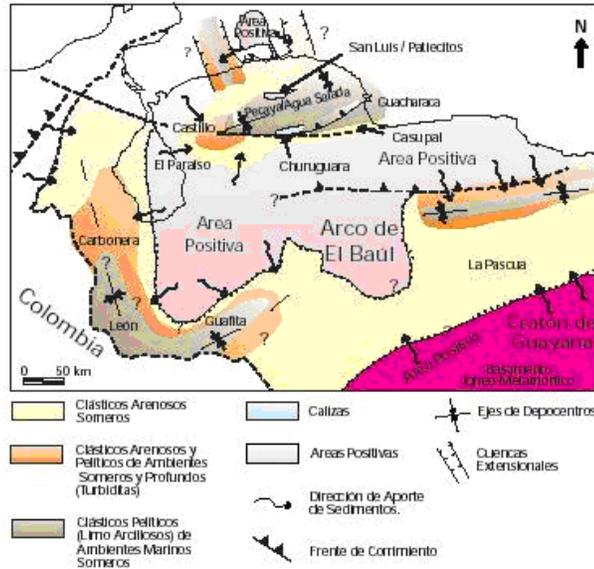


FIGURA N° 3.6 Marco geológico regional para la sedimentación en Venezuela Occidental (Cuencas de Maracaibo, Falcón, Barinas-Apure y Oriental-Subcuenca de Guárico) durante el Oligoceno. Los mayores depocentros se concentran hacia los estados Tachira (Formación León), Falcón (Formaciones Pecaya y Agua Salada) y Guárico (Formación Roblecito) (Ostos y Yoris, 1997)

FORMACIÓN PEROC

La Formación Peroc se extiende desde el área del pozo Peroc-1 al norte, hasta el campo Alturitas, al sur. Por el este, extiende hasta el campo Alpuf donde se confunde lateralmente con la Formación Icotea, (CIEN, 1997).

En la localidad tipo, la Formación Peroc consiste en arcilitas y limolitas moteadas o multicolores, variando los colores del gris aceituna a gris parduzco, marrón claro, marrón amarillento oscuro y tonalidades de rojo y púrpura. Se encuentran además, areniscas delgadas, anhidrita, lignito, pelotillas de siderita y abundante pirita. (Miller y Sanjuan, 1963).

La Formación Peroc se subdividió en tres miembros informales, Inferior, Medio y Superior, cuyas características litológicas son:

Miembro Inferior. Comienza con lodolitas o limolitas verdosas, seguidas hacia arriba por una intercalación de lutitas, limolitas, arcilitas y areniscas y lignitos con cantidades menores de calizas pardo-azuladas y calizas arcillosas, (Young, 1958).

Miembro Medio está formado principalmente por lutitas gris oscuro o gris verdoso, con menor proporción de arcilitas pardo claro, limolitas gris claro y lignito. Se describe en Alturitas, como una lutita gris verdoso oscuro, más o menos dura y a veces laminada, fácilmente identificable en perfiles eléctricos y muestras de canal, (Young, 1958).

Miembro Superior se describe, como una arcilita color pardo claro, con intercalaciones menores moteadas en rojo, gris, púrpura, rosado y blanco. Hacia el sur, predominan lutitas y arcilitas verdes, con intercalaciones de arcilitas marrón claro, púrpura y gris. En Alturitas, se describen lutitas y arcilitas gris, verdoso, arcilitas moteadas en gris y marrón rojizo y areniscas de grano fino y colores claros. (Young, 1958).

La Formación Peroc representa condiciones de sedimentación en aguas salobres a lagunares, con posibles incrementos ocasionales de salinidad, (CIEN, 1997).

3.4.4 Mioceno

FORMACIÓN CUIBA

La Formación Cuiba se extiende desde el Alto de El Totumo, al noroeste de Villa del Rosario, al norte, hasta el campo Alturitas, al sur. Por el este, llega hasta el

campo Alpuf y a las inmediaciones del campo Boscán, donde grada a la Formación Lagunillas, CIEN 1997)

Se compone de arcilitas verde aceituna, moteadas en verde aceituna claro y gris, rojo oscuro, rojo púrpura, grisáceo y marrón. Las arcilitas son limosas y arenosas, y están intercaladas con cantidades menores de areniscas color verde aceituna grisáceo claro, de grano fino a medio. Se encuentran algunas capas de lignito y pelotillas de siderita, (Miller, *op. cit.*). Los colores de la formación cambian hacia el sur, donde predominan tonalidades de gris rojizo, (Young, *op. cit.*). En el campo Alturitas, se describen arcilitas gris claro, moteadas en rojo, púrpura, marrón y verde, con areniscas color gris, de grano fino, lignito y esferulitas de siderita, (Key, *op. cit.*). En el campo Alpuf, se reconocen arcilitas abigarradas en tonos gris claro, gris verdoso, amarillo naranja, marrón, púrpura y rojizo. Las areniscas son de grano fino a medio, subredondeado a subangular, moderadamente consolidadas. Hacia el oeste del campo, señalan fragmentos de chert y pirita. (Quijada y Caldera, 1985).

La Formación Cuiba representa sedimentación en aguas salobres en planos costeros, (CIEN 1997).

FOMACIÓN MACOA

La formación se extiende desde el pozo Peroc-1, 14 km al noroeste de Villa del Rosario, hasta la vecindad del anticlinal de Macoa al sur, y el pozo Zulia 36E-1; al este, la formación llega hasta el campo Alpuf, (Miller y Sanjuan, 1963).

En la sección tipo, la Formación Macoa está compuesta por arcilitas y limolitas, con cantidades variables y subordinadas de areniscas. Las arcilitas y limolitas presentan colores de gris claro a gris aceitunado. Las areniscas son de grano fino a medio, con colores gris, aceitunado o marrón. Se encuentra además lignito en

vetas o láminas delgadas, agregados de pirita y gránulos de glauconita, (Miller *op. cit.*). Se mencionan también lutitas gris oscuro a marrón, como carácter distintivo respecto a la Formación Cuiba suprayacente, (Young, *op. cit.*). El color de las lutitas cambia al verde hacia el sur. En el campo Alturitas, se describen arcilitas de color gris claro a verdoso, moteadas de rojo, lutitas gris a gris oscuro, laminadas y carbonáceas y areniscas de colores claros y grano fino a medio, (Key, *op. cit.*). La formación en el campo Alpuf, se describe como arcilitas gris a gris verdoso a veces moteadas en amarillo y marrón, especialmente al este del campo, lutitas gris, gris oscuro a gris verdoso, limolíticas, carbonáceas y piríticas y areniscas blancas a gris claro, de grano fino a medio, subredondeado, con escogimiento moderado y cemento silíceo, o a veces calcáreo. Las areniscas presentan glauconita, y al oeste del campo, fragmentos de chert. (Quijada y Caldera, 1985).

La Formación Macoa representa condiciones de sedimentación más marina que las de las formaciones Cuiba suprayacente y Peroc infrayacente, y que corresponderían al ciclo transgresivo representado en todo el lago de Maracaibo, por la Formación La Rosa, (CIEN, 1997).

FORMACIÓN LOS RANCHOS

La Formación Los Ranchos aflora en la zona piemontina de la sierra de Perijá, en el distrito Perijá. En el distrito Mara, se mencionan afloramientos al este de la falla de Los Ocho, entre los ríos Cachirí y Guasare y a lo largo del eje del sinclinal de Manuelote. En el subsuelo, la formación se extiende hacia el este, hasta pasar a la Formación Lagunillas cerca de la costa occidental del lago de Maracaibo, (CIEN, 1997).

El área tipo Los Ranchos está compuesta en un 50 ó 60%, por areniscas bien estratificadas, micáceas y ferruginosas con algunas capas delgadas de areniscas

conglomeráticas y conglomerados, el resto de la litología se compone de lutitas arcillosas grises, y arcilitas. Al sur del río Apón, en la parte central de Perijá, el contenido de lutitas grises alcanza a más de las tres cuartas partes de los afloramientos, combinadas con areniscas ferruginosas delgadas, con estratificación cruzada (Miller y Sanjuan, 1963).

Los sedimentos de la Formación Los Ranchos representan un ambiente de lagunas costeras de agua dulce o salobre, con alguna influencia de sedimentación subaérea (CIEN, 1997).

3.4.5 Pleistoceno

FORMACIÓN EL MILAGRO

La Formación El Milagro cubre el Arco de Maracaibo y se extiende hasta la parte noreste del lago de Maracaibo. Se observa también en el subsuelo del lago, y en el distrito Bolívar del estado Zulia, (CIEN, 1997).

Sobre el Arco de Maracaibo, la formación consiste de arenas friables, finas a gruesas, muy micáceas, de color crema a pardo-rojizo, limos micáceos de color gris claro, interestratificados con arcillas arenosas, rojas y pardo-amarillentas y lentes lateríticos bien cementados. Hay dos capas de arcillas arenosas y limosas, con abundantes fragmentos y troncos de madera silicificada. Estas capas cubren horizontes caracterizados por abundantes nódulos de hierro y formación laterítica, que fueron interpretados como paleosuelos, (Graf, 1969). El paleosuelo superior separa la gruesa unidad inferior de la sección arenosa, característica de la Formación El Milagro. El paleosuelo inferior está desarrollado sobre el centro del arco, y separa la Formación El Milagro de una unidad verdosa, posiblemente equivalente a la Formación Onia (Graf, 1969).

Estos sedimentos son de aguas dulces y llanas, depositados a una distancia considerable del área fuente (Sutton, 1946). Consideran que el ambiente de sedimentación de la Formación El Milagro es fluvio-deltáico y lacustino marginal (Kerez y San Juan, 1964). Los sedimentos de la formación son de carácter fluvial y paludal, que se depositaron sobre un amplio plano costanero y de poco relieve, y estuvieron expuestos a la meteorización y anegamiento por lo menos tres veces durante el Cuaternario Graf (1969). Estas condiciones facilitaron la acción eólica y algunas capas de la formación, pueden representar dunas (González de Juana, *et al.*, 1980).

ACTUALIZACIÓN DE LA GEOLOGÍA DE SUPERFICIE DE UN SECTOR DE LA SIERRA DE PERIJÁ MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

EÓN	ERA	PERIODO	EPOCA	PISO	GRUPO o FORMACIÓN	ESPESOR (metros)	LITOLOGÍA GRÁFICA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
FANEROZOICO	CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO		Cuatemario reciente	??		Aluvión
			PLEISTOCENO		El Milagro	150		Arenas friables
		TERCIARIO	MIOCENO		Macoa, Cuiba y Los Ranchos	2400		Arcilitas y limolitas
			OLIGOCENO		Peroc	1100		Arcilitas y limolitas
			EOCENO		Mirador	300		Areniscas Blancas de grano fino
			PALEOCENO		Marcelina	400		Intercalación de calizas, areniscas con lutitas
	Guasare	600						
	MESOZOICO	CRETÁCICO	Superior		La Luna Colón y Mito Juan	300		Arcillas arenosas
			Inferior		Gr. Cogollo Río Negro	600		Calizas intercaladas con lutitas
	PALEOZOICO	JURÁSICO			La Quinta	1700		Arenisca gruesa y conglomerática, tobas
								Calizas gruesas y macizas
		PÉRMICO CARBONIFERO			Río Palmar Caño Indio	615		Lutitas, areniscas y calizas
DEVÓNICO				Río Cachirí	2438		Lutitas, areniscas y calizas	
CRIPTOZOICO	PRECÁMBRICO			Perijá	300		Cuarcitas cortadas por diques y vetas de cuarzo, micaesquistos y esquistos intrusionados por granito	

FIGURA N° 3.7 Columna diagramática ilustrativa de una región de la Sierra de Perijá, (CIEN, 1999)

CORTE DIAGRAMATICO ILUSTRATIVO

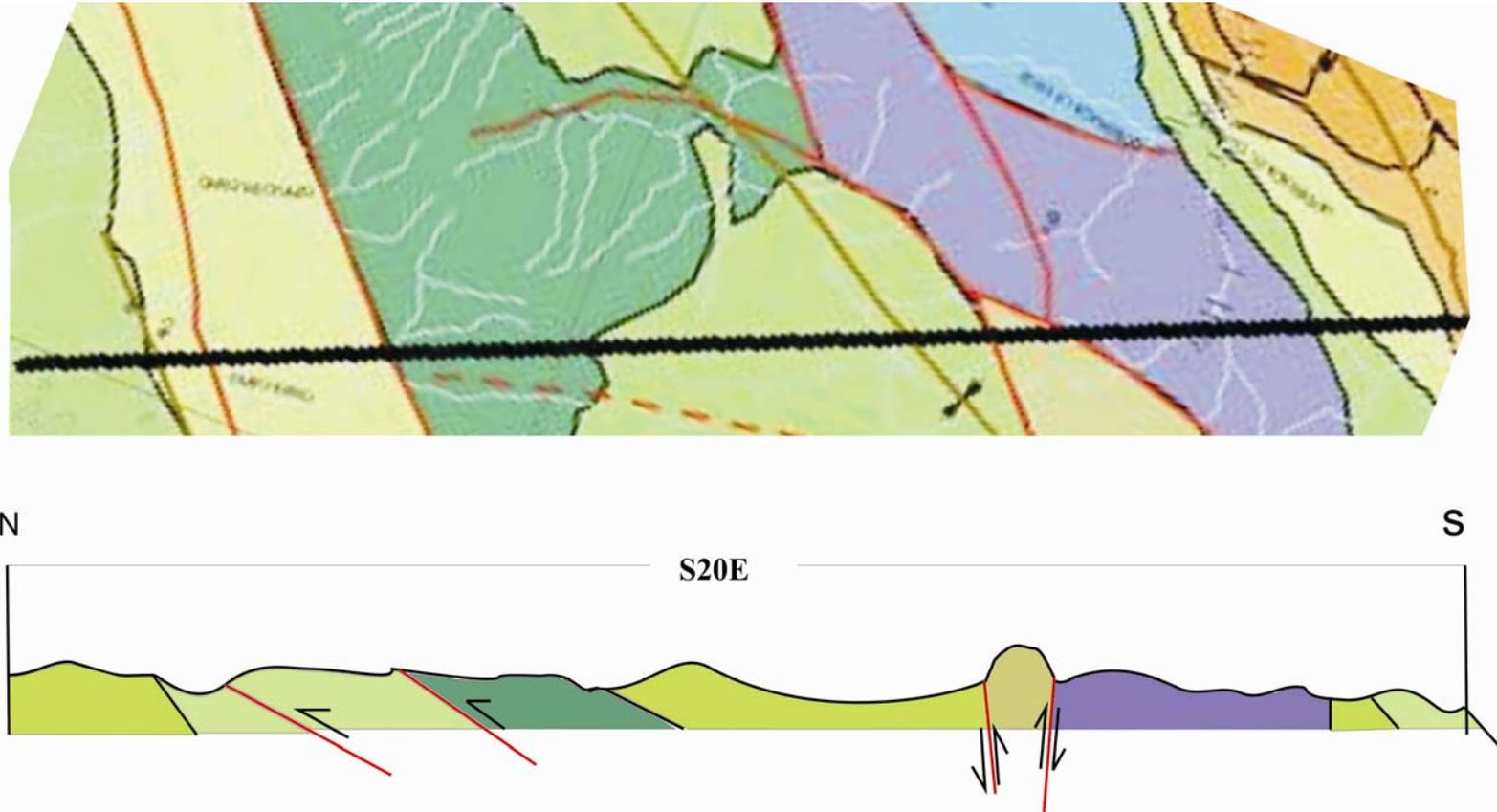


FIGURA N° 3.8 Corte diagramático ilustrativo de una región de la Sierra de Perijá.
KI Cretácico inferior, KS Cretácico superior, Jr Jurásico, Pc Precámbrico, Pz Paleozoico

CAPÍTULO IV

4 BASES TEÓRICAS

4.1.- Percepción remota

La Percepción Remota (*Remote Sensing*) o Teledetección puede definirse como la ciencia y arte de obtener información de un objeto analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo que no está en contacto físico con dicho objeto (Lillesand *et al*, 2000).

Es la obtención de información de imágenes lejanas del ambiente, sin tener contacto directo con él, mediante la transferencia de energía efectuada por la radiación electromagnética emitida o reflejada por el objeto irradiador y detectada por un receptor, el cual a su vez reconstituye esta energía en una imagen detectable por nuestros sentidos. Se usan diversos tipos de receptores remotos, que son aparatos que miden y registran diversas radiaciones del espectro electro magnético (Lillesand *et al*, 2000).

4.2.- Sensores remotos

Alzate (2001) explica que son los dispositivos que permiten la referenciación a distancia de la radiación electromagnética reflejada o emitida por la superficie de la tierra. Estos son de diferentes tipos, de acuerdo con los principios básicos de diseño, su forma de registrar los datos y la fuente de energía que emplean. Pueden ser cámaras, radares, barredores ópticos, ópticos-mecánicos, eléctricos, etc.

4.3.- Procesos de percepción remota

Según Alzate (2001) el proceso involucra una interacción entre la radiación incidente y los objetivos a estudiar, este se ejemplifica en la figura adjunta donde se siguen siete elementos involucrados. Fig 4.1

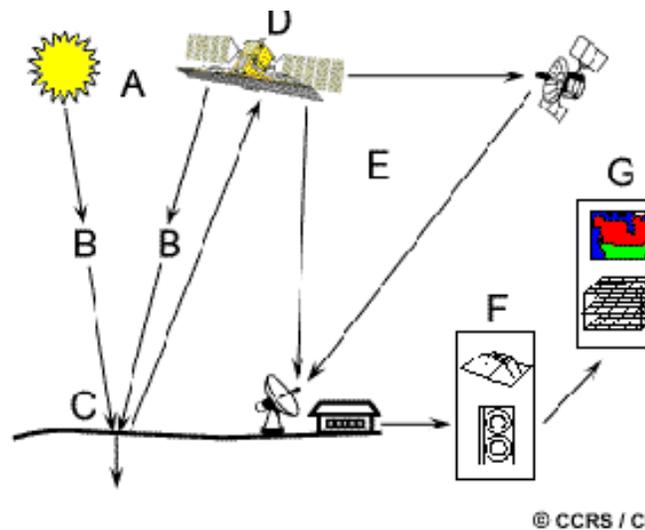


FIGURA N° 4.1 Procesos de percepción remota, según CCRS (2007)

A Fuente de energía o iluminación – el primer requerimiento para sensores remotos es tener una fuente de energía la cual ilumine o provea de energía electromagnética los objetivos interés.

B Atmósfera y radiación – Para que la energía vaya de la fuente hacia el objeto, necesita atravesar e interactuar con la atmósfera. Esta interacción también sucederá cuando la energía retorne de vuelta desde el objeto al sensor

C Interacción con el Objeto de interés – cuando la energía llega a la tierra interactúa con el objeto de interés, conformando por las diversas coberturas de la tierra (superficie terrestre, atmósfera, océano), esta interacción se da en forma de algún fenómeno (reflexión, emisión, absorción)

D Sistema del sensor – es el que capta, codifica y graba la radiación que devuelve el objeto en la tierra, sin estar en contacto con él. Después envía al sistema de recepción en tierra, la energía grabada.

E Transmisión, recepción y procesamiento – aquí los datos recibidos en forma digital, son preprocesados para obtener una imagen, bien sea en papel o en medio digital.

F Interpretación y análisis – la imagen preprocesada es interpretada en forma visual o se le aplica adicionalmente procesamiento a través de técnicas digital.

G Aplicación - es el elemento final del proceso de la percepción remota. Consiste en realizar aplicaciones con la información temática que se extrae de la imagen, entendiendo el comportamiento de los objetos de interés que fueron censados allí, para la solución de algún problema en particular.

4.4.- El espectro electromagnético

El espectro electromagnético es una representación organizada de la energía electromagnética, partiendo de longitudes de onda corta, algunos μm , hasta valores altos (km). En la figura 4.2, se representa las longitudes de onda del espectro electromagnético (Méndez, 2002)

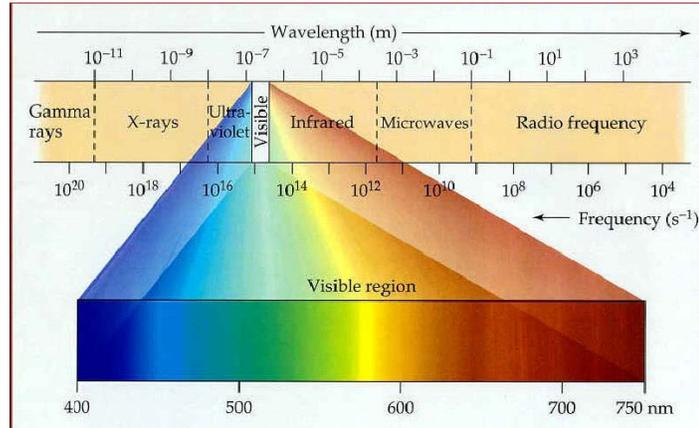


FIGURA N° 4.2 El espectro electromagnético Tomado de Méndez (2002)

Las longitudes de onda inferiores a 400nm son ampliamente utilizadas en medicina, astronomía y microscopía, se destacan los rayos gamma, rayos X y la luz ultravioleta (Méndez, 2002)

La luz visible, por su parte, corresponde al rango de longitudes de onda a las cuales es sensible el ojo humano. Las ondas más cortas (400nm) se perciben de color azul y las más altas (750nm) se ven de color rojo, las longitudes intermedias se perciben de color verde (540nm), amarillo (580nm), etc. La luz blanca está constituida por una combinación de ondas con energía semejante y longitudes de onda en el rango del visible. Este rango de longitudes de onda es el más utilizado para la generación de imágenes (Méndez, 2002)

La luz infrarroja cubre el rango del espectro electromagnético con longitudes de onda que van desde 0,78mm a 1 mm. La banda infrarroja se divide en tres secciones de acuerdo a su distancia a la luz visible: cercana (780nm a 2.500nm), intermedia (2.500nm a 50.000nm) y lejana (0,5mm a 1mm) esta última relacionada con la temperatura del objeto (Méndez, 2002)

Las microondas (1mm a 30cm) incluyen al radar como fuente de generación de imágenes (Méndez, 2002)

Las ondas de radio se utilizan en la producción de imágenes por ecosonogramas y el sonar en medio marino (Méndez, 2002)

4.5.- Fuentes de energía en la percepción remota

El sol es la fuente de energía más común, que se mide en teledetección terrestre, aun que no es la única fuente de energía que se puede encontrar. Toda la materia a temperatura mayor que el cero absoluto (0° Kelvin) continuamente emite radiación electromagnética (Alzate, 2001)

Las fuentes de energía se dividen según el CCRS (2007) en Fuentes Pasivas Fig. 4.3, que son aquellas fuentes de energía natural, como la energía solar y el calor radiante; y Fuentes Activas Fig. 4.3.1, que son las fuentes de energía hechas por el humano, o aquellos sensores que proveen su propia fuente de “iluminación”. El sensor emite radiación sobre el objetivo a investigar y la radiación reflejada desde el objetivo es detectada y medida por el sensor, como ejemplo el radar.

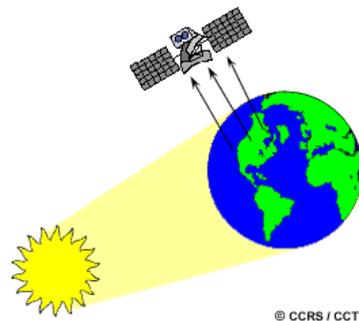


FIGURA N° 4.3 Fuente de energía pasiva Tomado del CCRS (2007)

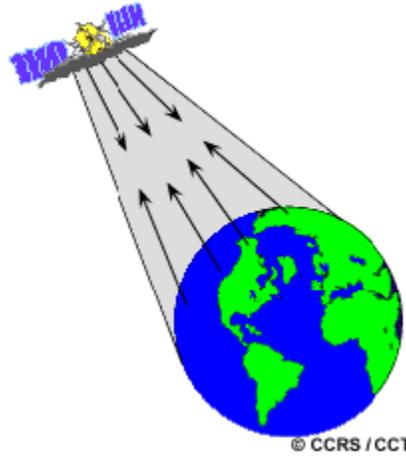


FIGURA N° 4.3.1 Fuente de energía activa Tomado del CCRS (2007)

4.6.- Interacción de la radiación electromagnética

La radiación electromagnética al interactuar con los objetos es modificada de manera que la energía resultante incorpora información que caracteriza al objeto y en consecuencia indirectamente permite su análisis. La forma de interacción de la radiación electromagnética y la materia se resume en la figura 4.4 (Méndez, 2002)

De acuerdo a su longitud de onda, una parte de la radiación incidente en el objeto es dispersada en diferentes direcciones, otra es absorbida por la materia, otra es transmitida y otra reflejada.

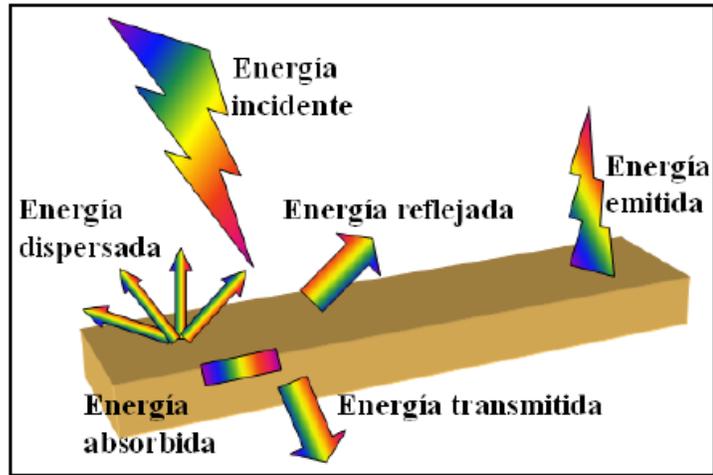


FIGURA N° 4.4 Interacción de la radiación electromagnética con la materia Tomado de Méndez (2002)

La absorción ocurre cuando la radiación (energía) es absorbida dentro del objeto. La reflexión ocurre cuando la radiación “rebota” del objetivo y es redireccionado en otra dirección. La transmisión, ocurre cuando la radiación pasa a través del objetivo, ver figura 4.5. En sensores remotos se esta más interesado en medir la radiación reflejada desde los objetivos (CCRS, 2007)

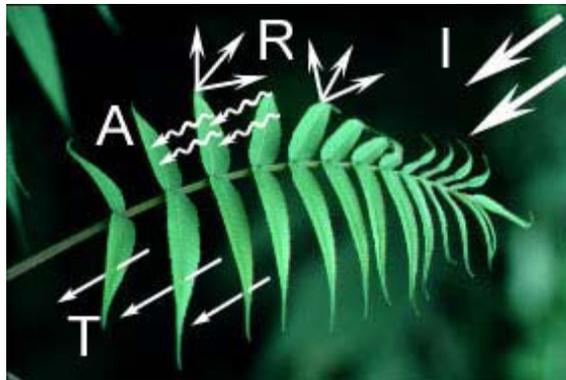


FIGURA N° 4.5 La energía incidente, A absorción, R reflexión, T transmisión Tomado del CCRS (2007)

Existen dos tipos de reflexión, Fig. 4.6: Especular, cuando toda (o la mayoría) de la energía es desviada desde la superficie en una sola dirección; y Difusa, ocurre cuando la superficie es rugosa y la energía es reflejada uniformemente en todas las direcciones. La superficie de la tierra se comporta como un reflector perfectamente especular o como perfectamente difuso (CCRS, 2007)

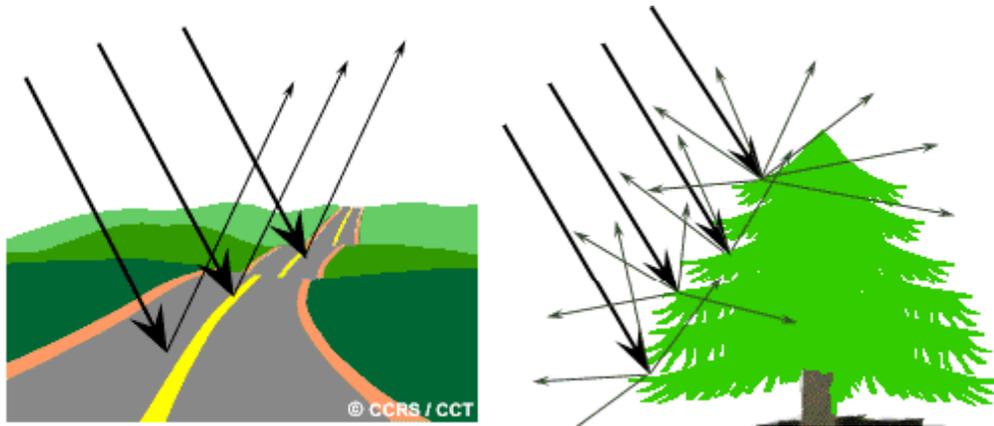


FIGURA N° 4.6 Reflexión Especular y Reflexión Difusa, Tomado de CCRS (2007)

4.7.- Reflectancia

Es el cociente de la cantidad de radiación electromagnética reflejada desde una superficie sobre la cantidad que originalmente chocó con la superficie, ver Ec. 1. Esta definición implica que alguna de la energía que choca en una superficie no es reflejada, pues puede ser transmitida o absorbida, como ya se mencionó (Alzate, 2001)

$$\text{Ec. 1} \quad \text{Reflectancia} = R_s/I$$

R_s : energía reflejada

I : energía incidente, radiación reflejada+radiación absorbida+radiación transmitida

4.8.- Interacción con la atmosfera

La modificación atmosférica de la radiación electromagnética entrante y saliente incluye dispersión, refracción y absorción Fig 4.7. Esos tres procesos modifican físicamente la dirección y penetración de la radiación electromagnética, en el momento en que pasa a través de la atmósfera (Alzate, 2001)

4.9.- Dispersión (difusión)

Es el redireccionamiento de la energía electromagnética por partículas suspendidas en la atmósfera (contaminación, polvo) o por moléculas grandes de gases atmosféricos (dióxido de carbono, ozono, nitrógeno). Este redireccionamiento de la luz puede ser en cualquier dirección (Alzate, 2001)

4.10.- Refracción

Es la desviación de la luz. Sucede cuando la luz pasa a través de dos medios con diferente densidad (capas atmosféricas) (Alzate, 2001)

4.11.- Absorción

Principalmente causada por tres gases atmosféricos: Ozono, absorbe los rayos ultravioleta; dióxido de carbono, en la atmósfera inferior absorbe energía cuya longitud de onda esta entre los 13 – 17,5 micrómetros; vapor de agua, también en la atmósfera inferior, principalmente en áreas húmedas es efectivo absorbiendo las porciones del espectro entre 5,5 y 7 micrómetros y por encima de los 27 micrómetros (Alzate, 2001)

4.12.- Ventana atmosférica

Son porciones del espectro electromagnético que pueden pasar a través de la atmósfera con poca o ninguna atenuación. La figura 4.8 muestra las áreas del espectro que pueden pasar a través de la atmósfera sin atenuación (picos), son conocidas como “ventanas atmosféricas”, y las áreas que son atenuadas (valles)



FIGURA N° 4.8 Ventanas atmosféricas. Tomado de Alzate (2001)

Las zonas azules señalan el paso mínimo de radiación entrante o saliente, mientras que las áreas blancas denotan las “ventanas atmosféricas” en las cuales la radiación experimenta interacciones muy reducidas con las especies moleculares y desde aquí puede penetrar la luz, con poca o ninguna pérdida de absorción (Alzate, 2001)

La mayoría de los sensores remotos fueron seleccionados para operar en una o más de esas ventanas y hacen sus mediciones usando detectores calibrados para ciertas frecuencias específicas (longitudes de onda), que pasan a través de la atmósfera (Alzate, 2001)

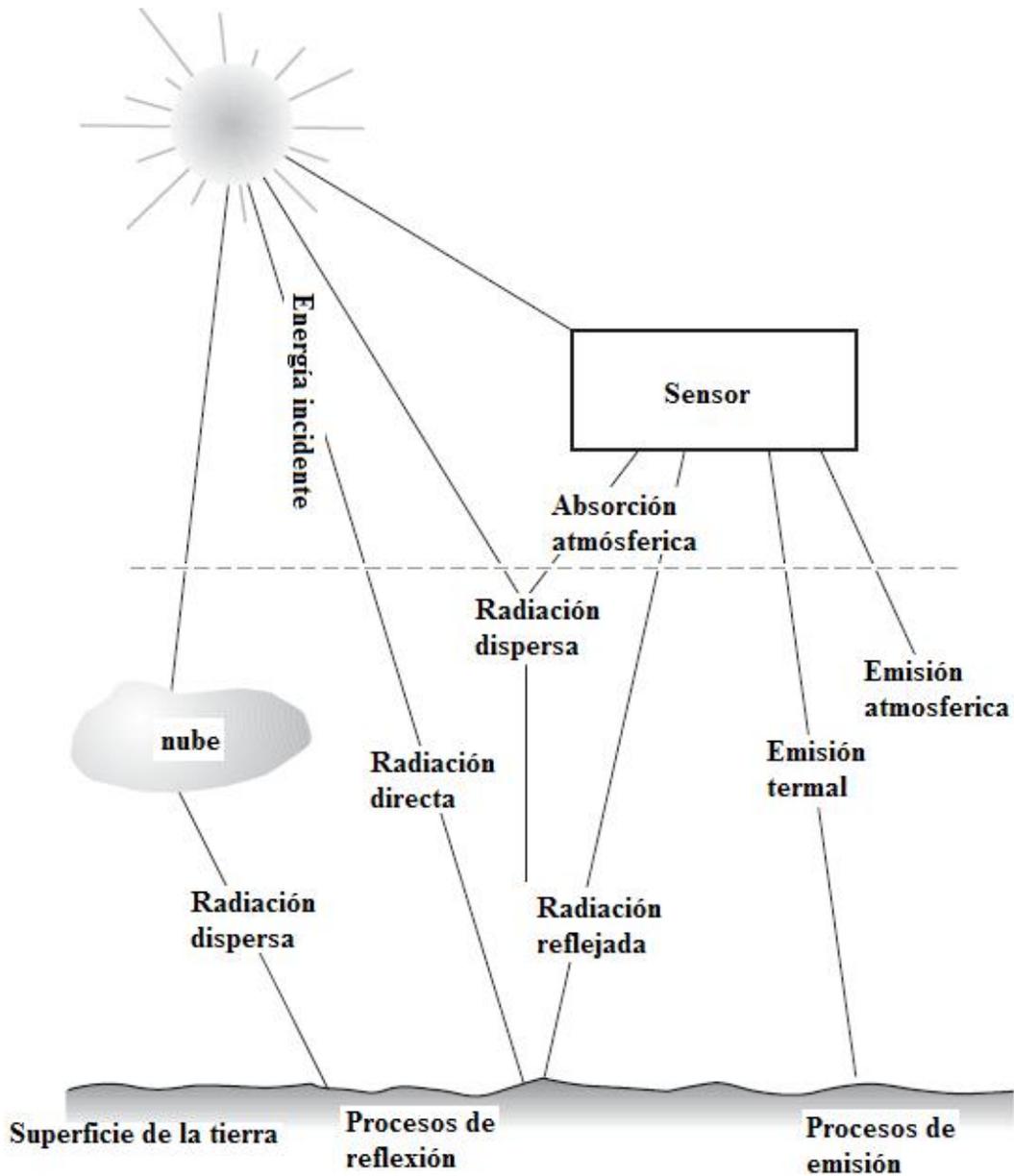


FIGURA N° 4.7 Interacción de la energía con la atmósfera y la superficie, tomado y modificado de ITC (2004)

4.13.- Firmas espectrales

Cada objeto en la superficie terrestre interactúa de manera específica con la energía electromagnética que sobre él incide ver Fig. 4.9. De acuerdo a las

características del material que lo componen, el objeto refleja con mayor o menor intensidad cada uno de los rangos de longitudes de onda, esta interacción particular de la materia constituye su *firma espectral* ver Fig. 4.9.1. Por ejemplo, la hoja de los árboles la percibimos de color verde porque refleja con mayor intensidad las longitudes de onda visibles de ese color mientras que absorbe el azul y el rojo ver Fig. 4.9.2 (Méndez, 2002)

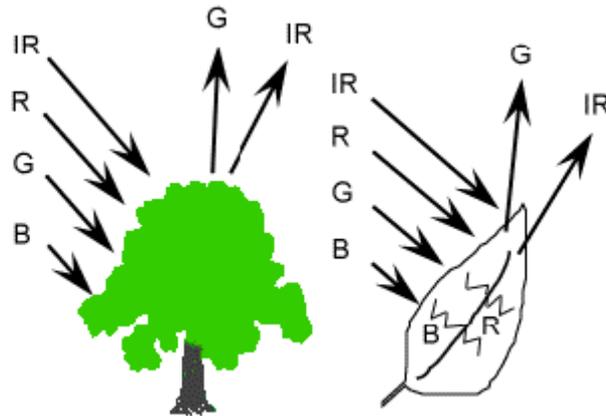


FIGURA N° 4.9 Respuesta espectral de la vegetación, tomado de Méndez (2002)

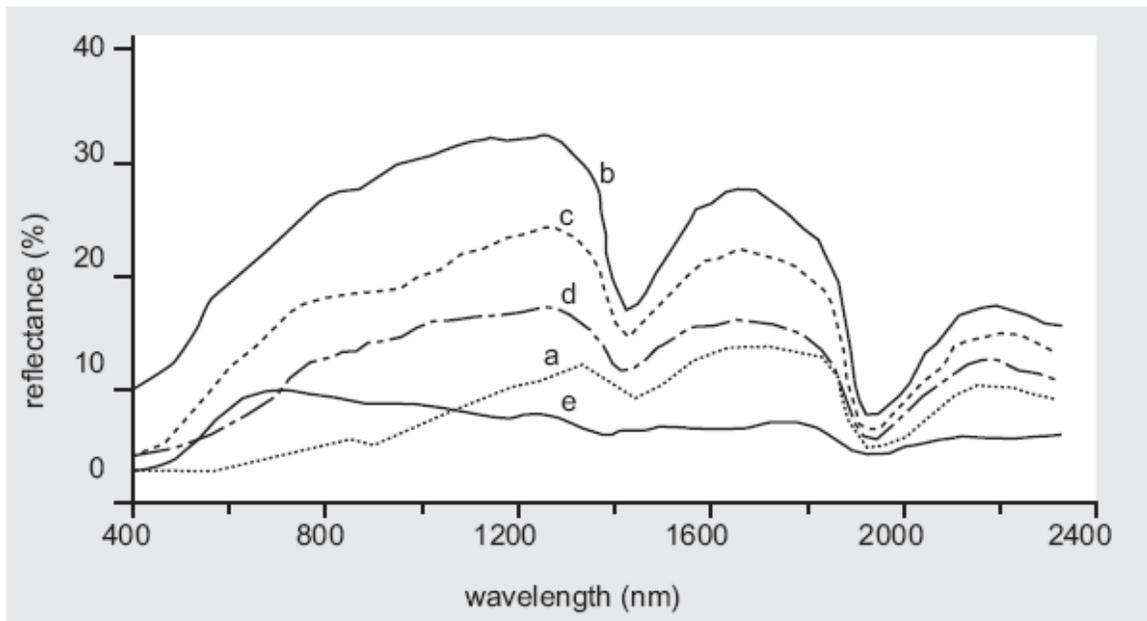


FIGURA N° 4.9.1 Firma espectral de la superficie de 5 suelos minerales (a) dominado por material orgánico (b) mínimamente alterado (c) hierro alterado (d) orgánico afectado (e) dominado por hierro, tomado de ITC (2004)

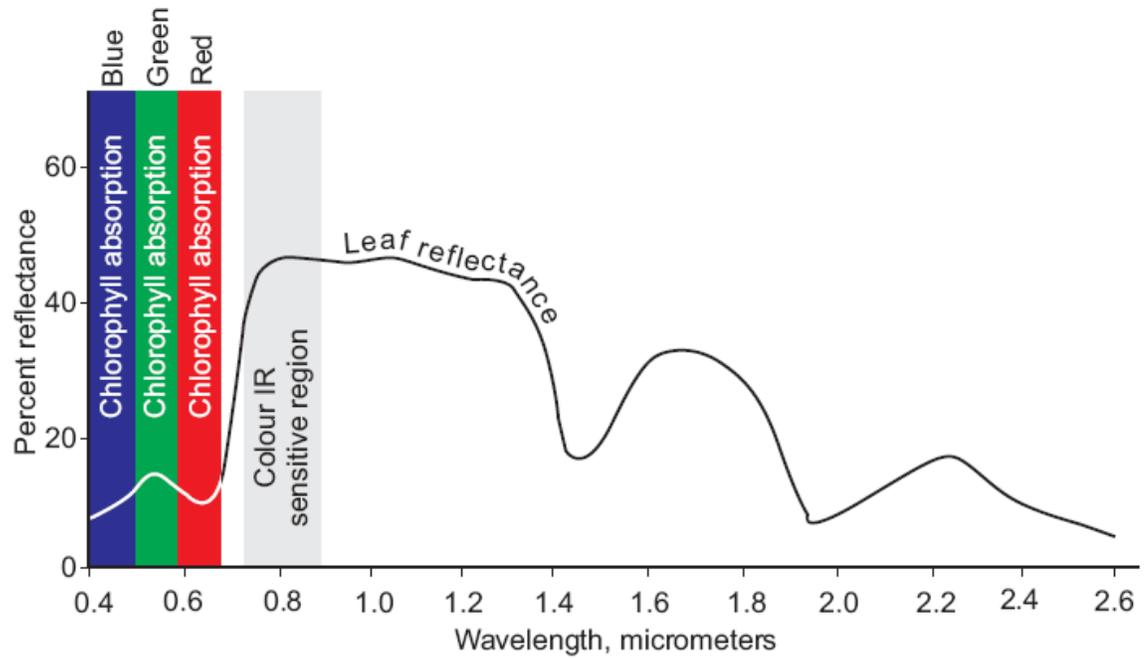


FIGURA N° 4.9.2 Curva idealizada de reflexión espectral de vegetación sana, tomado de ITC (2004)

CAPITULO V

5 METODOLOGÍA

Este trabajo se realizó siguiendo una combinación de estrategias tanto de una investigación documental, ya que se trata de una compilación de trabajos previos; aunados a una investigación científica, debido a que se trabajó según el método científico procesando datos y obteniendo respuestas medibles de los mismos. Englobado en el cumplimiento positivo de los objetivos planteados.

A partir de la imagen satelital *LandSat 7* correspondiente a la Sierra de Perijá en el occidente venezolano en donde se puede apreciar la zona de estudio del presente trabajo, se realizará el procesamiento correspondiente, con el fin de obtener imágenes más puras visualmente para el ojo humano e interpretarlas.

Además, durante esta etapa se efectuará el análisis e interpretación de la información que se vaya obteniendo dicho procesamiento, y la información obtenida será integrada y vaciada para así generar un mapa geológico a escala 1:50.000 de la zona de estudio. A continuación se explicará paso por paso el procesamiento de las imágenes mediante el uso del software ENVI:

5.1.- Correcciones atmosféricas

El primer paso consiste en corregir defectos de estas imágenes, elementos distorsionantes como gases, metano y vapor de agua. Para hacer esta corrección se debe presionar en el menú principal del *software* "ENVI" "**Basic Tools**"-> "**Preprocessing**"-> "**Calibration Utilities**"-> "**Landsat TM**" (ver fig 5.1), luego se debe seleccionar la banda en una ventana denominada "*Please Select a File*", ya seleccionado el archivo de entrada se procede a hacer clic en "**OK**", luego se muestra en una ventana en la cual se deben introducir los parámetros de calibración (ver fig

5.1) que se encuentran en el archivo “meta” adjunto a las imágenes Landsat 7. Luego de introducir estos datos se debe hacer clic en el botón “**choose**” para determinar el nombre y el directorio del archivo de salida. Este procedimiento se debe repetir 6 veces más, con cada uno de los archivos de bandas.

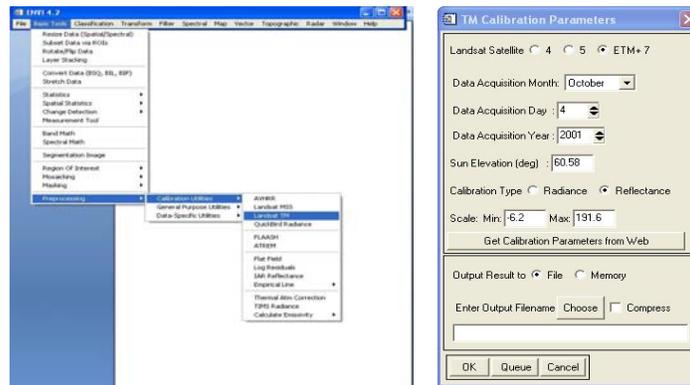


FIGURA N° 5.1 Menú principal del ENVI y ventana de parámetros de calibración

Las bandas usadas para realizar la corrección atmosférica son del tipo VNIR, cuyos datos no son manejables, por lo que se requiere minimizar la data existente para facilitar el manejo de la imagen, entonces se extraen estos datos y solo se dejan las bandas SWIR. Se debe proceder de la siguiente forma:

En seguida de realizar la calibración de estos archivos, se deben tomar los archivos de salida y unirlos haciendo clic en “**Basic Tools**” -> “**Layer Stacking**” (ver figura 5.2). Ahí se despliega una ventana titulada *Layer Stacking Parameters*, luego se da un clic en “**choose**” para determinar la ubicación y el nombre del archivo de salida y luego “**OK**”, luego se despliega otra ventana titulada *Layer Stacking Input File*, en la cual se van a seleccionar como entrada los siete archivos de *radiance* corregidos en el paso anterior

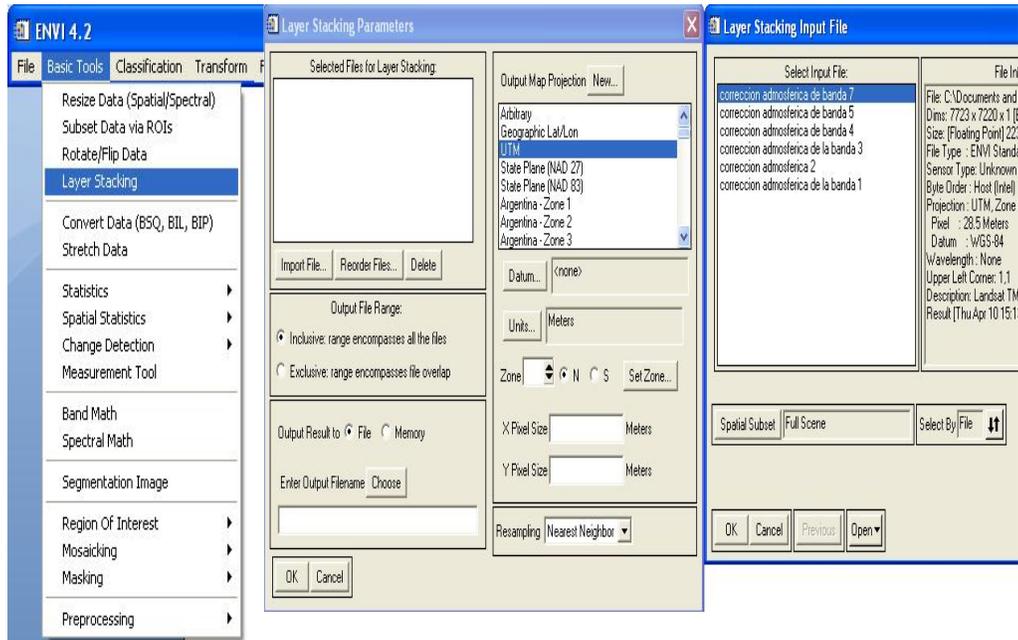


FIGURA N° 5.2 Selección del *Layer Stacking*, y ventanas de entrada y de salida de la unión de las bandas

Posteriormente, al archivo de salida resultante del *Layer Stacking* se le debe cambiar el formato BSQ a formato BIL, lo cual es necesario para continuar con las correcciones de la imagen. Para cambiar el formato se debe hacer clic en **“Basic Tools”** -> **“Convert Data BSQ, BIL, BIP”** (ver fig 5.3), se despliega una ventana en la cual se debe seleccionar el archivo de entrada, el cual es la unión de las bandas realizada en el paso anterior, luego se hace clic en **OK**, y después se selecciona el destino de la salida y el formato BIL (ver figura 5.3)

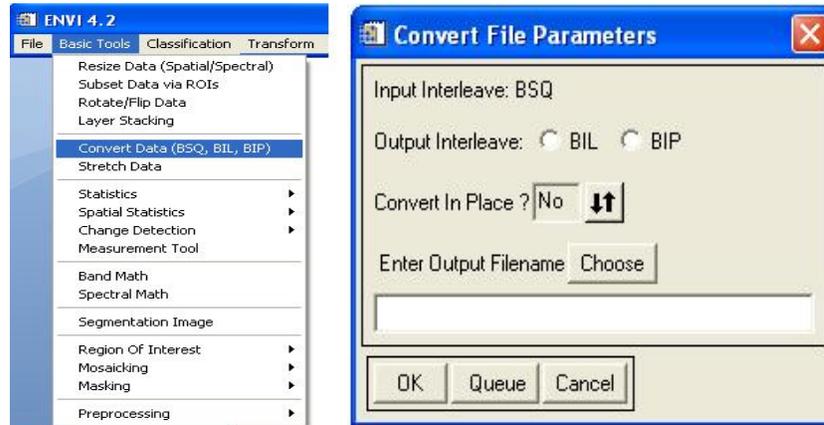


FIGURA N° 5.3 Selección de cambio de formato en el menú de ENVI y selección del formato del archivo de salida.

Finalizado el procedimiento, queda una imagen en formato BIL que significa bandas intercaladas por líneas, formato que sirve para obtener imágenes corregidas geométricamente de gran utilidad para la cartografía de la zona, después de la utilización de técnicas de tratamiento digital.

Seguidamente se debe realizar la corrección atmosférica en FLAASH, que consiste en aplicar un factor de 10 a las bandas debido a que la *radiance* en imágenes LANDSAT viene dada en W/m^2 um sr, y FLAASH requiere las unidades en W/cm^2 um sr. Para realizar la corrección FLAASH se debe hacer clic en “**Basic Tools**” en el menú principal de ENVI, se selecciona “**Preprocessing**” -> “**Calibration Utilities**” -> “**FLAASH**” (ver fig 5.4), se despliega una ventana titulada *FLAASH atmospheric correction model input parameters*, se hace clic sobre el botón “*input radiance image*” que abre la ventana *FLAASH input file* donde se selecciona el archivo BIL generado en el paso anterior, luego se presiona “**OK**”, se despliega otra ventana llamada *input ASCII file* y se seleccionan las 6 filas de la columna y se presiona “**OK**”. Luego se abre la ventana *radiance scale factors* en la cual se debe seleccionar *use sigle scale factor for all bands* se tipea “10” en *single scale factor* y se presiona “**OK**”. Luego en la ventana titulada *FLAASH atmospheric correction model input*

parameters (ver fig 5.4), se selecciona el archivo de entrada (BIL), luego se colocan la ubicación y el nombre del archivo de salida, se suministran los datos provenientes del archivo “meta” que se encuentra adjunto a las imágenes y luego se hace clic en el botón “*Multispectral settings*” y se despliega la ventana *Multispectral settings* donde se seleccionan las bandas 7 y 3 de la imagen LANDSAT en *KT Upper Channel* y en *KT Lower Channel* respectivamente, se presiona “OK” y subsiguientemente muestra la imagen ya corregida.

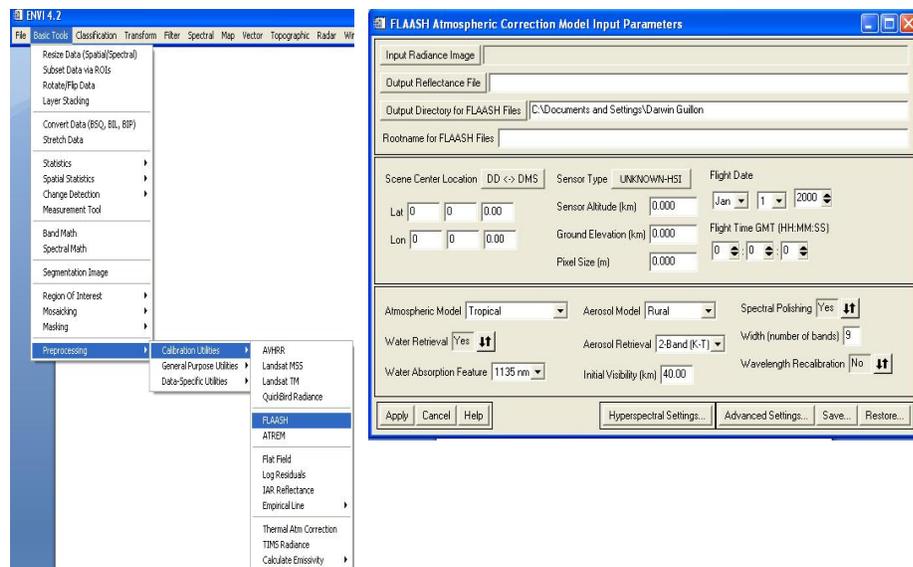


FIGURA N° 5.4 Corrección FLAASH en el menu principal del ENVI y ventana *FLAASH atmospheric correction model Input parameters*

5.2.- Elaboración de la máscara de nubes

Ahora bien, para continuar con las correcciones, se deben eliminar de la imagen los píxeles correspondientes a las nubes y su sombra, realizando una máscara en el *software ArcGis* con la finalidad de ocultar dichos píxeles para que el *software ENVI*, no los confunda con rasgos topográficos.

En primer lugar se abre la sección *Arc Catalog* del *software ArcGis*, se escoge con el botón derecho del ratón la carpeta en donde se guardará el archivo resultante,

se despliega una ventana en la cual se selecciona *Shapefile*, seguidamente se abre la ventana *create new shapefile* donde se colocan el nombre del *shapefile* y el tipo de *shapefile* que se quiere realizar, luego se hace clic sobre el botón “*edit...*”, y se despliega la ventana propiedades de *spatial reference*, se hace clic sobre el botón “*import...*” y se selecciona un archivo que previamente haya sido georeferenciado en el sistema que se desea, generalmente en este procedimiento se selecciona como referencia WGS 1984 UTM ZONA 18 N, y finalmente se hace clic en “**aceptar**” y “**OK**”. Se ha creado el *shapefile* ahora se procede a “calquear” las nubes y sus sombras en la sección ArcMap del *software* ArcGis.

Una vez realizada la máscara en el software ArcGis se debe transformar a un archivo con extensión ROI, esto se hace en el *software* ENVI, se abre “**File**”- > “**Open Vector File**” (ver fig 5.5), donde se debe abrir la máscara realizada en ArcGis, luego se despliega la ventana *Import Vector File Parameters* (ver figura 5.5), en la cual se debe seleccionar el archivo de entrada, después se hace clic en “**Choose**”, para determinar el nombre y ubicación del archivo de salida y se clic en “**OK**”. Posteriormente se abre una nueva ventana llamada *Available Vector List*, en la cual se escoge el archivo que se importó anteriormente y se hace clic en “**Load Selected**”, se abre una ventana donde se selecciona el archivo al cual se le va a adjuntar el *shapefile* y se hace clic en “**Apply**”, en dicha ventana se abre el menú “**File**” -> “**Export Active Layer to ROIs**”, se despliega una ventana donde se escoge el método de corrección y se presiona “**OK**”.

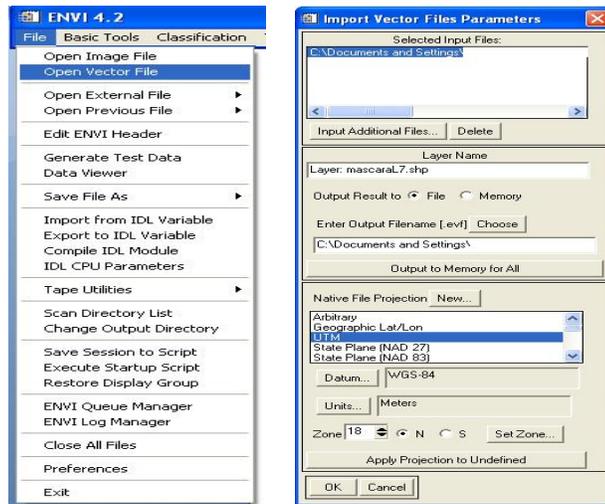


FIGURA N° 5.5 Menú principal de Envi y ventana *Import Vector Files Parameters*

Seguidamente para colocar la máscara se presiona “**Basic tools**” en el menú del *software* ENVI, se selecciona la opción “**Masking -> Build mask**”, se abre la ventana *Mask Definition*, se selecciona “**Display # 1**”, se despliega la ventana *Import ROIs*, se hace clic sobre el archivo recién importado y se presiona “**OK**”, se regresa a la ventana anterior y se selecciona “**choose**” donde se le da un nombre al archivo de salida y se hace clic sobre “**Apply**”.

5.3.- Transformación mínima de ruido

Luego se hace una transformación de las variables originales de la imagen para reducir el tamaño de los archivos y solamente trabajar con los datos importantes de la imagen, este proceso se denomina Transformación de la Fracción Mínima del Ruido (MNF en el *software* ENVI). Se presiona “**Spectral**” en el menú principal de ENVI, luego se selecciona **MNF Rotation -> Forward MNF -> Estimate Noise Statistics from data**”(ver fig 5.6), se abre la ventana *MNF Transform Input File*, se escoge el archivo SWIR creado anteriormente y se hace clic sobre “**OK**”, se despliega una ventana llamada *Forward MNF Transform Parameters*, se escriben los

nombres de los archivos de salida en *Output Noise Stats Filename* y en *Enter Output Filename*, y para finalizar se selecciona “OK”.

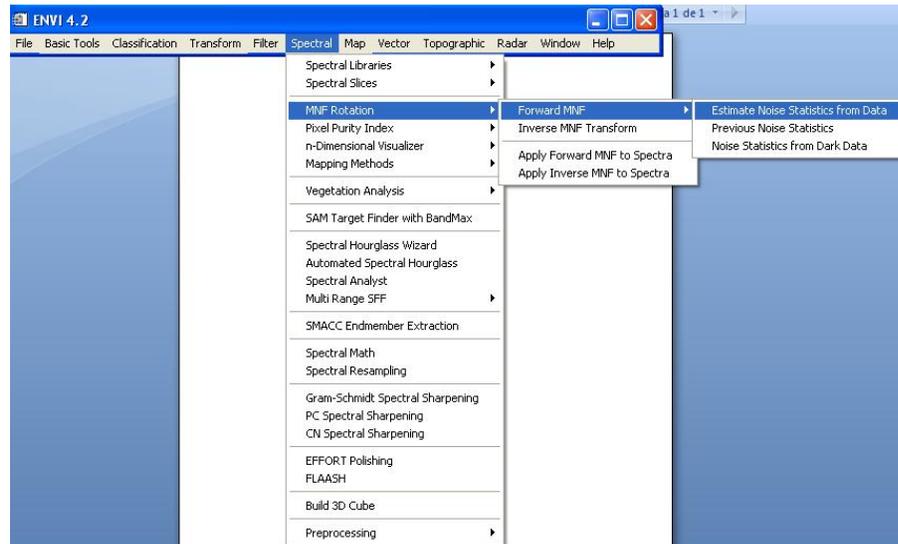


FIGURA N°. 5.6 Transformación de la fracción mínima de ruido, menú principal ENVI

5.4.- Índice de pureza de píxel (PPI)

Inmediatamente debe realizarse el Índice de Pureza del Píxel (PPI). En éste procedimiento se selecciona los píxeles extremos en la data que satisfacen el número de iteraciones o el factor de tolerancia propuesto por el usuario, lo que aumenta el nivel de pureza de la imagen. Se hace clic en “Spectral” en el menú principal de ENVI, se selecciona “Pixel Purity Index” -> “[FAST] New Output Bands”, se abre la ventana *Fast Pixel Purity Index Input Data File* (ver fig 5.7), en la cual se selecciona el archivo MNF creado en el paso anterior. Luego se hace clic en “Spectral Subset”, se abre la ventana “File Spectral Subset” (ver fig 5.7) donde se seleccionan las tres primeras bandas (ver fig 5.7), las cuales poseen la mayor cantidad de información útil de todas las bandas, se hace clic en “OK” y se regresa a la ventana anterior, donde se escoge el número de iteraciones y el factor de tolerancia. También debe escribir el nombre del archivo de salida y se presiona “OK”.

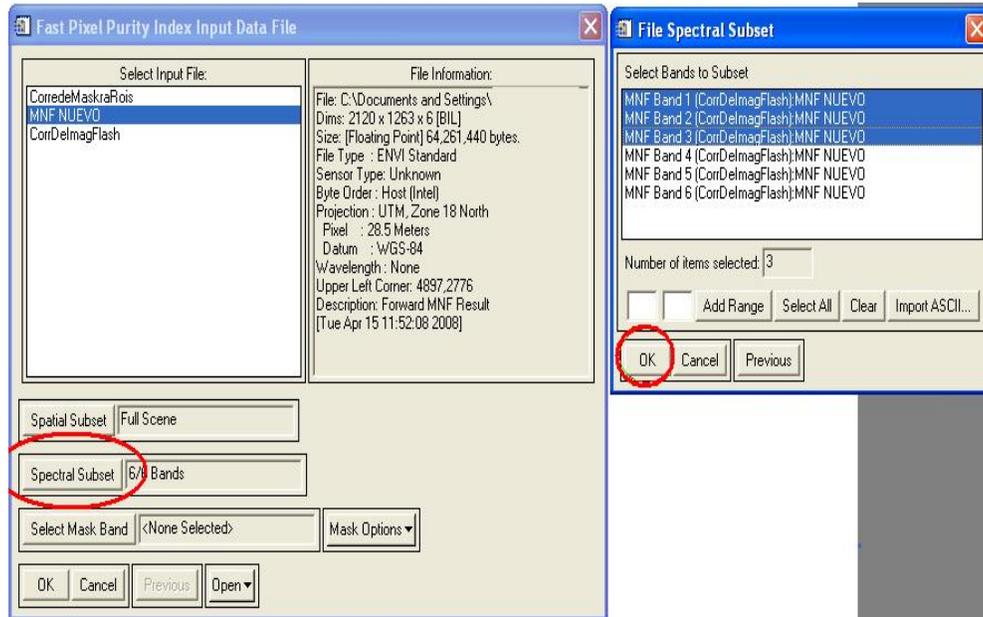


FIGURA N° 5.7 Ventana *Fast pixel Purity Index Inout Data File*, y *File Spectral Subset*. Para el PPI

Posteriormente se abre la imagen resultante del proceso anterior, una vez abierta la imagen, se selecciona la opción **“Overlay”** del menú principal de ENVI, luego **“Density Slice”** (ver fig 5.8), se abre una ventana llamada **“Density Slice Bands Choice”** (ver fig 5.8), se selecciona el archivo al que se le aplicó PPI y se le hace clic en **“OK”**.

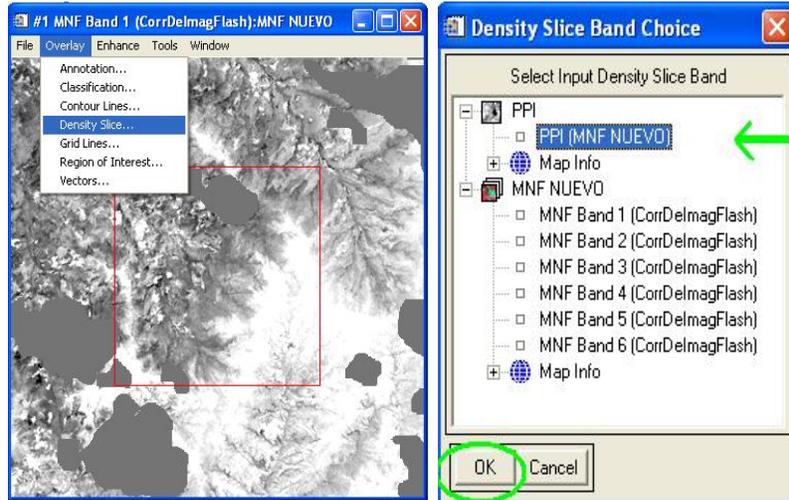


FIGURA N° 5.8 Opción Overlay y Density Slice, y ventana Density Slice Band Choice

Luego se mostrará la ventana #1 *Density Slice* donde se ven los valores de rango de la cantidad de píxeles seleccionados, entonces se selecciona “2404 to 2747 [sea green]” (ver fig 5.9) y se presiona el botón “Apply”, se despliega la ventana #1 *PPI* donde se muestran los píxeles extremos. En la ventana #1 *MNF Band 1* se selecciona el menú “Tools” -> “Region Of Interest” -> “Band threshold ROI”, esto se hace para cambiar la extensión del archivo a ROI. Seguidamente se despliega la ventana “Band Threshold to ROI Input Band” donde se selecciona el archivo PPI y se presiona “OK”, se despliega la ventana *Band Thresh to ROI* donde se colocan los valores máximos y mínimos del umbral aceptable en “Min Thresh Value” y “Max Thresh Value” respectivamente, y se hace clic en “OK”. Los valores mínimos y máximos del umbral deben ser tanteados hasta que en el cuadro emergente *ENVI Question* aparezca un número menor pero aproximado a 10.000 (ver fig 5.9). Luego de obtener el número deseado de puntos, se hace clic en “YES” y el *software* comienza a procesar la imagen.

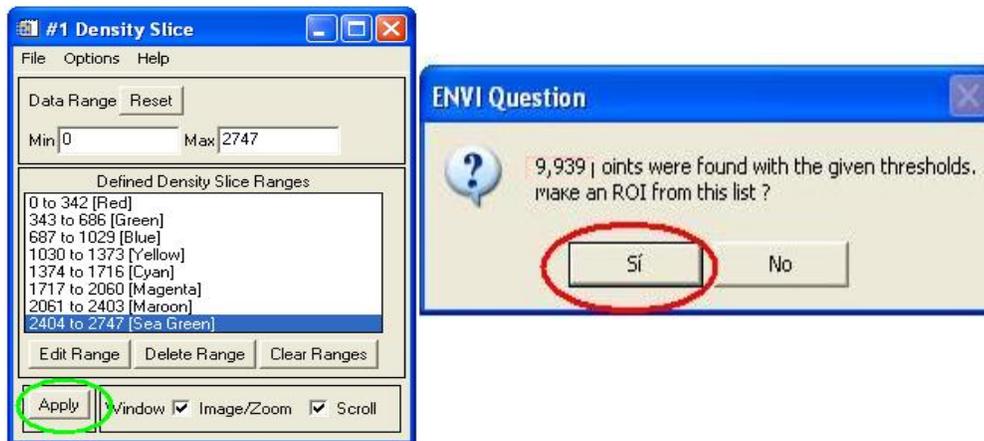


FIGURA N° 5.9 Ventana *Density Slice* y Ventana *ENVI Question* donde se observa el número aproximado a 10.000

Consecutivamente se despliega la ventana *#1 ROI Tool*, en la cual se debe seleccionar “**File**” -> “**Export ROIs to n-D Visualizer...**”(ver fig 4.10) y se presiona “**OK**”. Después se abre una ventana titulada *Select Input Data File* donde se escoge el archivo PPI y se hace clic en “**OK**”. Después se despliega la ventana *n-D Visualizer input ROIs* y se selecciona el umbral de puntos que se obtuvieron en el paso anterior, luego clic en “**OK**”, se despliega otra ventana titulada *Output n-DState* donde se debe presionar “**Choose**” para seleccionar el nombre y ubicación del archivo de salida, se presiona “**OK**”, y el programa regresa a la ventana *n-D Controls* (ver fig 5.10), en la cual se debe seleccionar en el menú “**File -> Save State...**”, después se debe hacer clic en el menú “**Options**” -> **3D: Drive Axes**, se despliega una ventana titulada “**n-D Controls**” y se escoge “1, 2 y 3” (ver fig 5.10), haciendo clic sobre éstos números. Seguidamente se presiona “**Start**”.

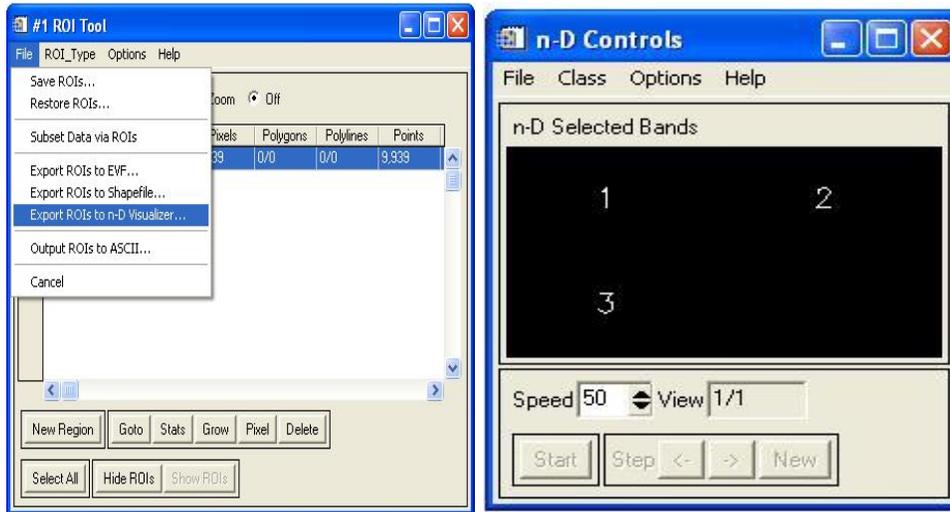


FIGURA N° 5.10 Menú para exportar el ROI al visualizador y ventana *n-D Controls*

Luego se muestran los píxeles extremos encontrados por la corrección PPI en un espacio tridimensional (ver fig 5.11), donde se procede a seleccionar manualmente los píxeles más extremos observados en dicho espacio, se seleccionan pintando los píxeles extremos con un color diferente por grupo de píxeles. Al final de este proceso se obtienen 16 grupos o clases de píxeles extremos, observados en la ventana *#1 ROI Tool*, en la misma ventana se seleccionan todas las clases, en la ventana *Save ROIs to File* se seleccionan también todas las clases. Luego se debe presionar “**Choose**” para determinar el nombre y ubicación al archivo de salida, y para finalizar se presiona “**OK**”.

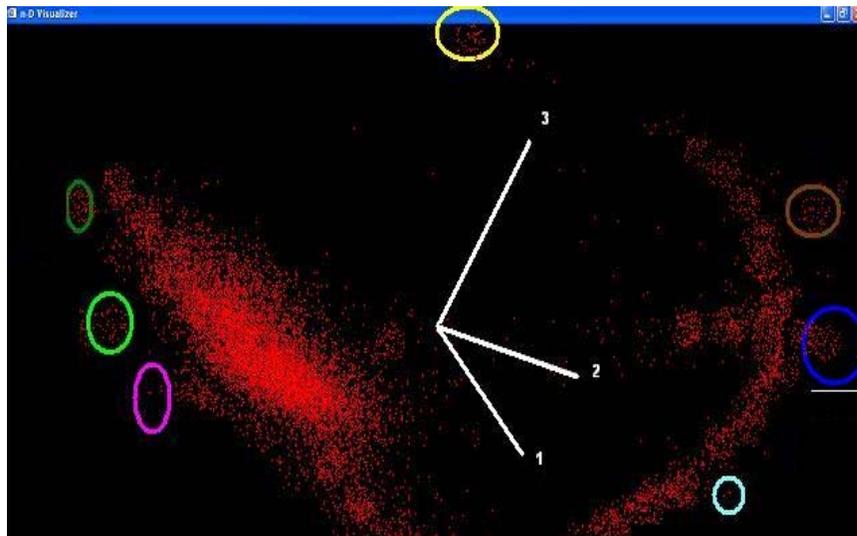


FIGURA N° 5.11 Espacio Tridimensional donde se seleccionan los píxeles extremos

A las imágenes se les aplicó el algoritmo “*Spectral Angle Mapper*” (SAM), este algoritmo calcula la distancia angular existente entre un espectro de referencia y un pixel cualquiera, esto filtra el número de píxeles existentes en la data cuando estos tengan un ángulo mayor al del espectro de referencia.

Entonces, para realizar este algoritmo se selecciona “**Spectral**” en el menú principal de ENVI, luego se selecciona “**Mapping Methods**” -> “**Spectral Angle Mapper**” (ver fig 5.12), se abre una ventana titulada *Clasification Input File*, se selecciona el archivo obtenido del proceso anterior, se hace clic en el botón “**Spectral Subset**”. Seguidamente se despliega la ventana *File Spectral Subset* en la cual se escogen las tres primeras bandas y se hace clic en “**OK**”. Inmediatamente se despliega la ventana *Endmember collection: SAM*, se selecciona el menú “**Input**” -> “**From ROI/EVF from input file...**”, se abre dentro de la misma ventana una tabla en la que se muestran las clases, se seleccionan todas y se presiona el botón “**OK**”, se despliega la ventana “**Spectral Angle Mapper Parameters**” en la cual se da ubicación y nombre al archivo de salida con la corrección SAM.

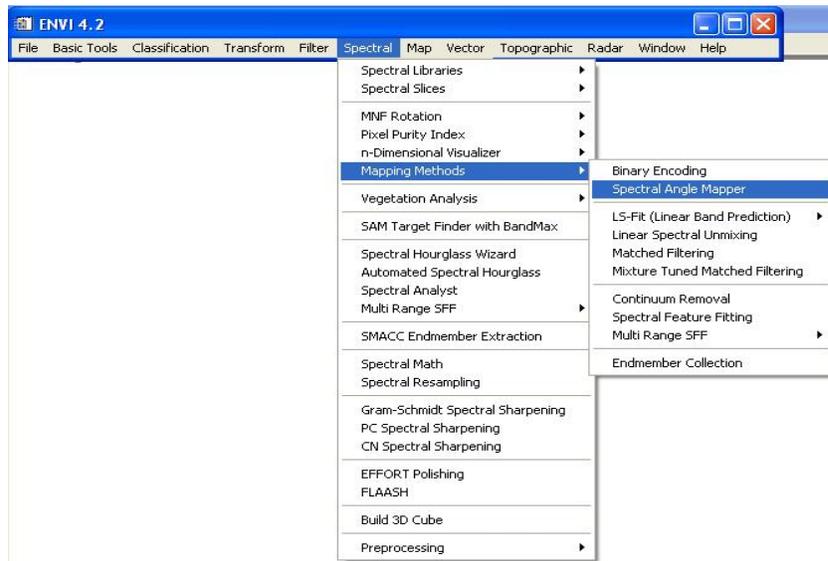


FIGURA N° 5.12 Menú principal del ENVI para realizar la corrección SAM

5.5.- Clasificación no supervisada

El siguiente paso es la clasificación no supervisada, con la cual el programa hace una clasificación de los píxeles por características similares, que divide el espacio de las variables en una serie de regiones, de manera que se minimice la varianza interna de los píxeles incluidas en cada región. Para ello se selecciona “**Clasificación**” en el menú principal de ENVI, se selecciona la opción “**Unsupervised**” -> “**IsoData**”(ver figura 5.13), se despliega la ventana *Classification Input File* donde se escoge el archivo resultante de la corrección de la imagen en FLAASH, se hace clic en el botón “**Select Mask Band**” y se despliega la ventana “**Select Mask Input Band**” donde se selecciona el archivo de la máscara creado anteriormente y se presiona “**OK**”, se despliega la ventana *ISODATA Parameters*, en “**Number of classes: Min**” se tipea “15” y en “**Max**” se tipea “25”. Luego se hace clic en “**Choose**” para determinar la ubicación y el nombre del archivo de salida, y para finalizar se da clic en “**OK**”. El programa procesa y muestra los resultados en la ventana *#1 Scroll*.

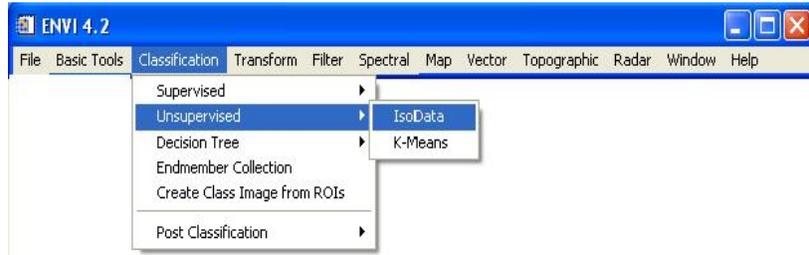


FIGURA N° 5.13 Clasificación no supervisada en el menú principal de ENVI

5.6.- Clasificación Supervisada

En seguida se debe realizar la clasificación supervisada, que consiste en hacer una clasificación de los píxeles con características similares, que el usuario define mediante la observación de la imagen. Para hacer esta clasificación en primer lugar se debe abrir la imagen resultado de la corrección FLAASH, en el *software* ERDAS IMAGINE, en el menú principal de la ventana *Viewer #1* se selecciona “**Raster**” -> “**Tools...**” y se despliega la ventana *Raster* en la cual están las herramientas para modificar las imágenes, se selecciona la herramienta “**Create Polygon AOI**”, luego en el menú principal del ERDAS IMAGINE se selecciona “**Classifier**”, se despliega la ventana “**Classification**” y se hace clic sobre el botón “**Signature Editor**” y se despliega la ventana “**Signature Editor**”, posteriormente con la herramienta se hace un polígono sobre la imagen en aquellas regiones cuyas características son similares tales como: rocas metamórficas sin diferenciar, valles, sembradíos, poblados, carreteras, drenajes, nubes, sombras de nubes y cuerpos de agua; al seleccionar una clase encerrándola en un polígono se procede a presionar el botón “+ L►” (ver figura 5.14), de inmediato se adhiere la clase seleccionada, se encierran en polígonos varias clases de las mismas características. Luego en la ventana “*Signature Editor*” se seleccionan las clases iguales y se presiona el botón “≡ L►”(ver figura 5.14) para unir las clases similares en una sola. Este procedimiento se repite tantas veces como clases se deseen crear. Seguidamente en la ventana *Signature Editor* se hace clic sobre “**File**” -> “**Save**” y se guardan las clases, en la ventana *Viewer #1* se hace clic en “**File**” -> “**Save**” -> “**All Layers**” y se guarda el archivo de la imagen, luego en

la ventana *classification* se hace clic en “**Supervised Clasification**”, se despliega la ventana *Supervised Clasification* y se introducen los nombres del archivo de imagen recién creado, el nombre del archivo *signature* y se da un nombre de salida para el archivo que va a tener la clasificación supervisada. Para finalizar se hace clic en “**OK**” y ya se tiene la clasificación supervisada.

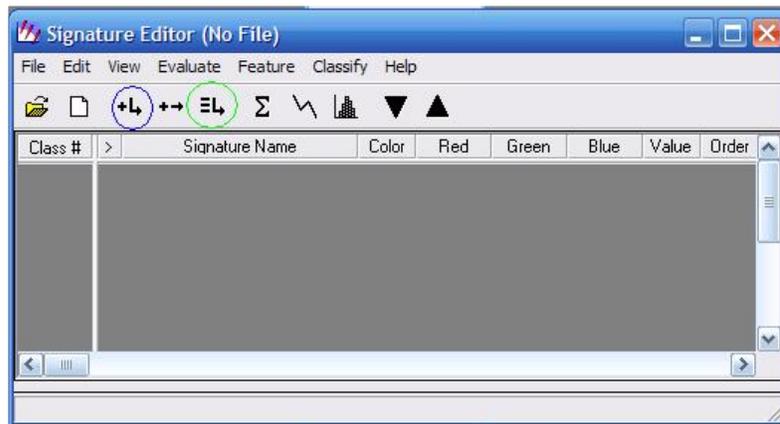


FIGURA N° 5.14 Apariencia de los botones “+ L►” y “≡ L►” en ERDAS

5.7.- Cocientes de bandas

Posteriormente se ejecuta el procedimiento de cocientes de bandas. El mismo consiste en hacer una división entre las bandas de la imagen, con el objetivo de resaltar características específicas de la imagen.

Este procedimiento se cumple en el software ENVI. En el menú principal se selecciona “**Transform**” -> “**Band Ratios**” (ver fig 5.15), se despliega la ventana “*Band ratios Input Bands*” y se introducen las bandas que se van a dividir, en primer lugar se introduce el numerador y en segundo lugar la banda que ocupará el denominador, se presiona “**Enter Pair**” y para finalizar “**OK**”. Este proceso se realiza tantas veces como cocientes de bandas se quieran obtener. Existen cocientes de bandas que han demostrado su efectividad para resaltar ciertos aspectos de la

cartografía como lo son: 3/1 resalta los óxidos de hierro, 2/4 ó 5/4 resaltan distintos tipos de vegetación, 5/7 resalta las arcillas y carbonatos.

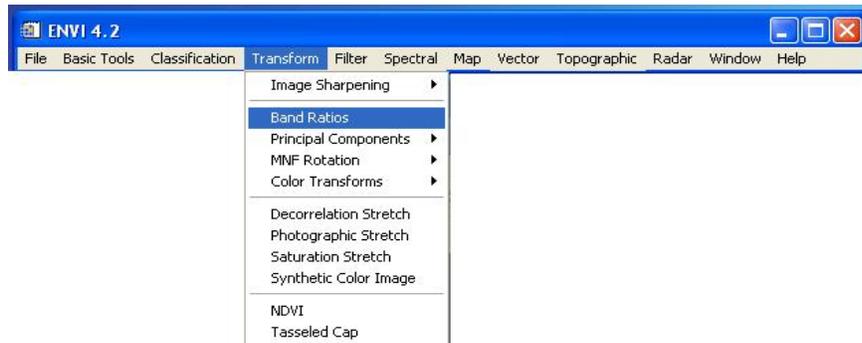


FIGURA N° 5.15 Cociente de Bandas en el menú principal de ENVI

5.8.- Realización del índice de vegetación

El siguiente, consiste en identificar la cantidad de material vegetal existente en la superficie. Para efectuar esto en el *software* ERDAS se hace clic en “**Interpreter**”, se despliega la ventana *image interpreter*, luego se hace clic sobre el botón “**Spectral Enhancement**” lo cual despliega la ventana índice. En ésta ventana se determina el archivo al cual se le va a aplicar el procedimiento, y se le da una ubicación y nombre de salida. Luego en *select functions* se selecciona “**Veg Index**”, en sensor se selecciona Landsat TM. Y para finalizar se presiona “**OK**” (ver fig 5.16).

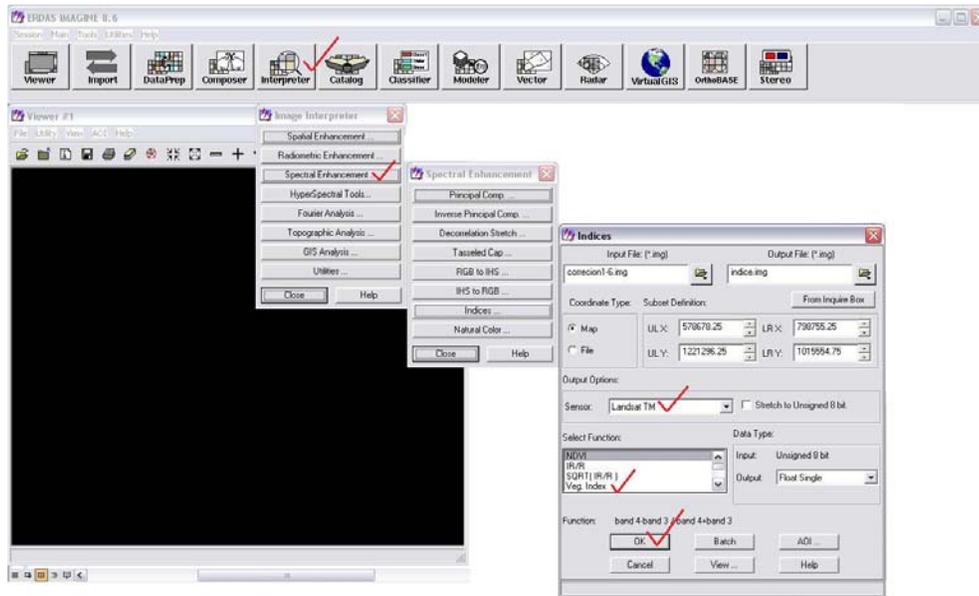


FIGURA N° 5.16 Procedimiento en ERDAS para realizar el índice de vegetación.

5.9.- Firmas Espectrales

A continuación se deben realizar las firmas espectrales en ERDAS, que consisten en caracterizar diferentes lugares de la zona de estudio con la finalidad de obtener su firma espectral que es característico de cada material que compone la superficie.

Por lo cual, se debe abrir el archivo resultante de la clasificación supervisada. Luego en la ventana *Viewer #1* se selecciona el menú **“Raster”** -> **“Tools...”**, Se despliega la ventana *Raster* (ver fig 5.17), se selecciona la herramienta *Create polygon AOI*. Después en el menú principal del ERDAS se hace clic sobre el botón **“Classifier”**, se despliega la ventana *classification*, se hace clic en **“Signature Editor”**. Entonces con la herramienta *Create poligon* se hacen polígonos sobre las regiones de interés, luego en la ventana *signature editor* (ver fig 5.17) se presiona el botón **“+ L▶”**, para agregar la clase. Posteriormente se hace clic sobre el botón **“↘”** y se muestra la ventana *signature mean plot* (ver fig 5.17) donde se muestra el

histograma de la clase. Una vez obtenida la firma espectral de la clase, se procede a determinar el material correspondiente a esa firma espectral.

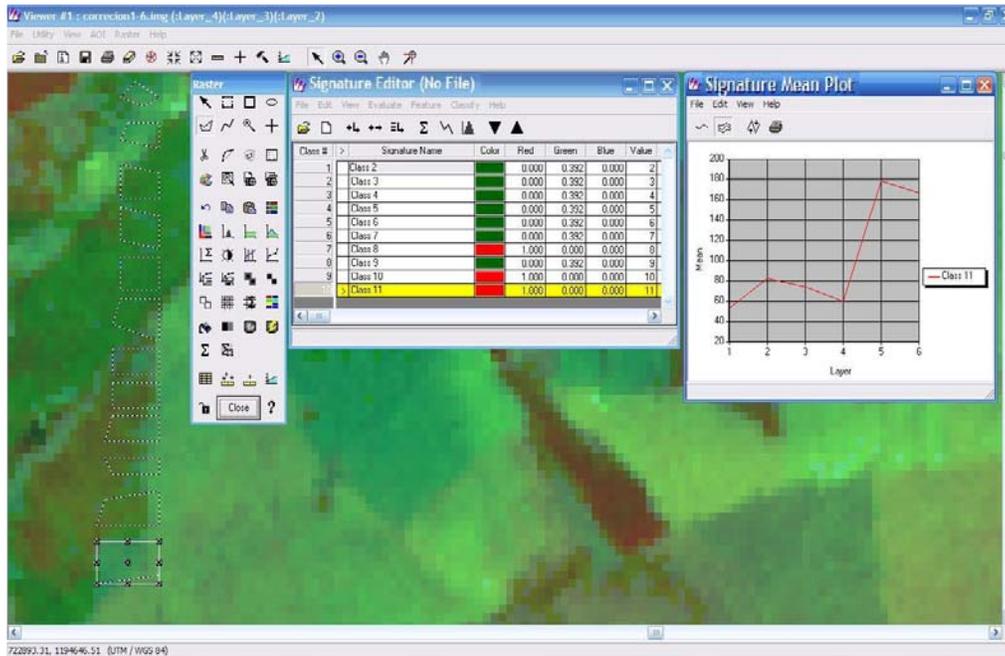


FIGURA N° 5.17 Firmas espectrales en ERDAS Imagine

CÁPITULO VI

6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Una vez realizado el procesamiento de las imágenes satelitales, se obtuvieron numerosas herramientas para la interpretación de la zona, por lo cual se genera un mapa geológico utilizando como dato los siguientes elementos: Corrección de imagen FLAASH, imágenes SAM, imágenes de radar, mapas topográficos, mapas geológicos y firmas espectrales.

Este capítulo consta de tres partes, la primera es el análisis topográfico, con la respectiva discriminación en unidades morfológicas; la segunda parte es un estudio litológico, basado en la interpretación de las imágenes satelitales; la tercera parte es un análisis estructural, que cubre las fallas y pliegues.

6.1.- Análisis Topográfico:

La zona de estudio está conformada por dos unidades importantes, las cuales son: Unidad de Montañas con valles interdigitados y Unidad de Valle con colinas (ver fig 6.1).

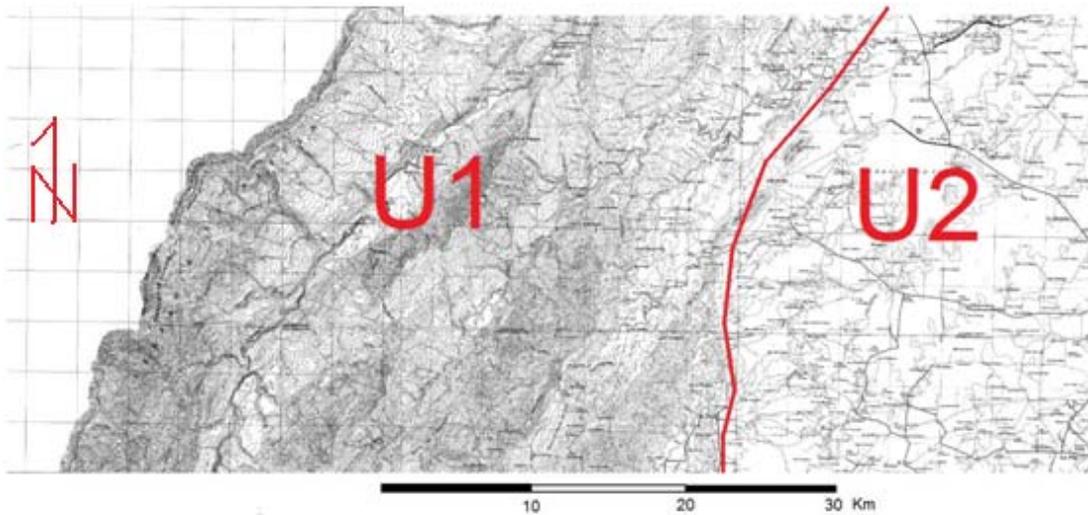


FIGURA N° 6.1 Croquis topográfico de la zona de estudio que muestra las dos unidades topográficas mayores (Mapas TULÉ -5648- y RÍO GUASARE -5748- ambos a Escala 1:100.000)

6.1.1.- Unidad de Montañas con valles interdigitados (ver fig 6.2):

Se encuentra al oeste de la zona de estudio y representa el 60% del área estudiada. Sus alturas varían desde los 400 m hasta los 2000 m. Las montañas presentes en esta zona poseen una orientación preferencial de N45°E. El drenaje en esta unidad es de tipo dendrítico y siempre van por el centro del valle. Hacia el noroeste de la zona se observan drenajes que por cambios de pendientes desaparecen, teniendo en esa parte un relieve kárstico, donde el agua ha disuelto las calizas produciendo cuevas por donde se infiltra el agua hacia el subsuelo. Existen dos ríos principales, como lo son río Guasare y el río Socuy, los cuales son bastante rectilíneos, lo que indica que están controlados por la presencia de fallas, fracturas, o contactos litológicos.

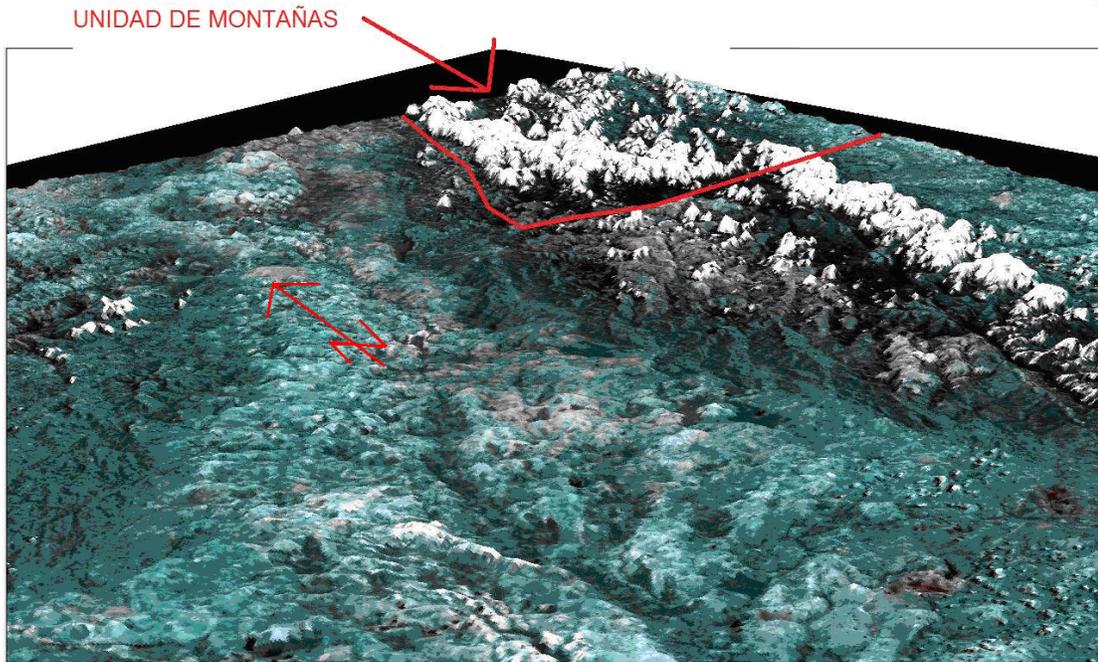


FIGURA N° 6.2 Modelo digital de elevación de la unidad topográfica I (Unidad de montañas con valles interdigitados)
(Exageración Vertical 20x, inclinación 30°)

6.1.2.- Unidad de Valle con colinas (ver fig 6.3):

Se encuentra al este de la zona de estudio, y representa el 40% del área estudiada. Posee una pendiente muy suave. Dentro de esta unidad se encuentra el EMBALSE DE TULÉ, que representa la cuenca hidrográfica de la zona. El drenaje preferencialmente es sinuoso, lo que confirma la baja pendiente de la zona. El drenaje es escaso, solamente se encuentra el colector principal, como lo es el Río Cachirí.

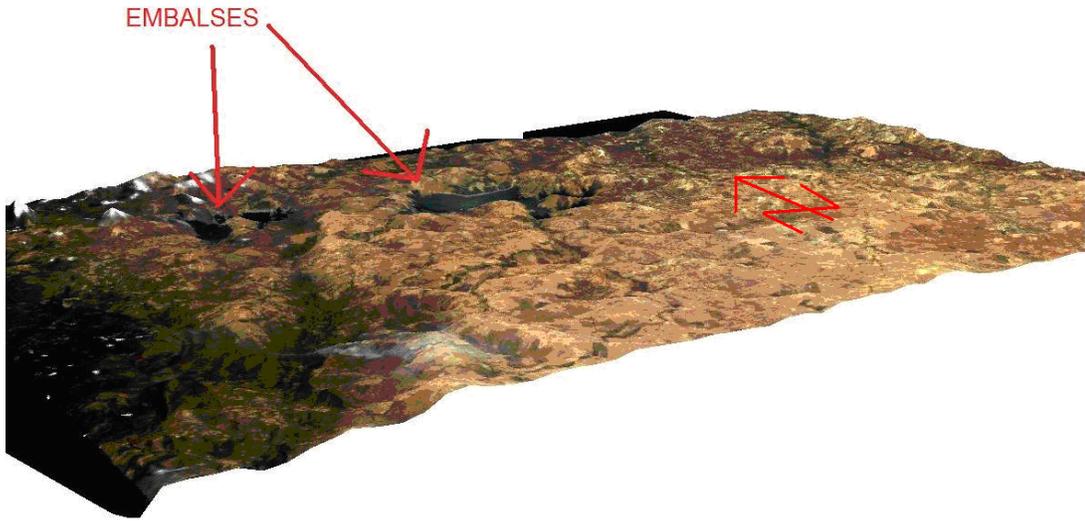


FIGURA N° 6.3 Modelo digital de elevación de la unidad topográfica II (Unidad de Valle con colinas)
(Exageración vertical 20x, inclinación 15°)

6.2.- Análisis Litológico

Con la ayuda de las imágenes satelitales procesadas, y la recopilación bibliográfica se establecen los tipos litológicos y edades de las rocas que afloran en la zona, permitiendo así realizar descripciones detalladas de cada paquete litológico. En el área de estudio se encontraron 5 secuencias litológicas de diferente edad: Precámbrico, Paleozoico, Jurásico, Cretácico y Cenozoico.

6.2.1.- Secuencia litológica del Precámbrico:

Está representada por la Formación Perijá, la cual está compuesta por rocas tales como cuarcitas y esquistos gnesoides intrusionados por granito (ver fig 6.4 y 6.5).

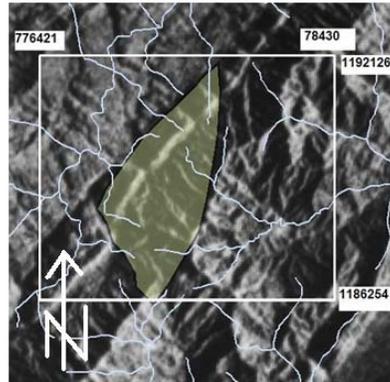


FIGURA N° 6.4 Formación Perijá en imagen de radar (Coordenadas en UTM/WGS84)

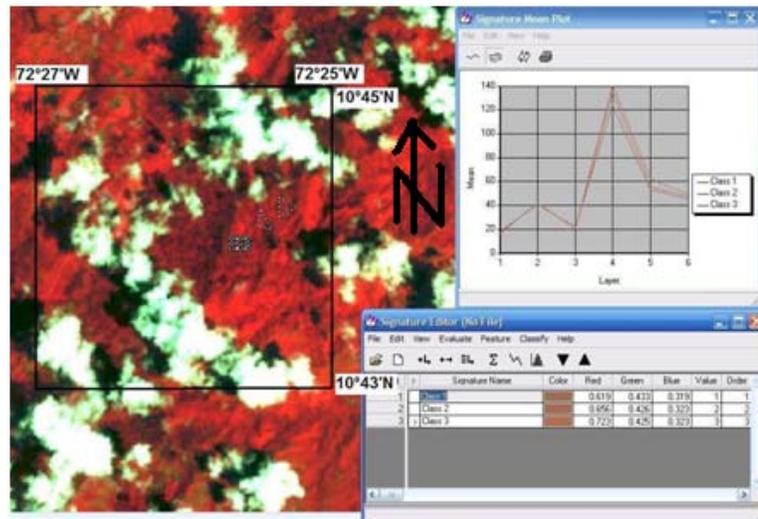


FIGURA N° 6.5 Firmas espectrales de la Formación Perijá.

6.2.2.- Secuencia litológica del Paleozoico:

Está representada por el Grupo Río Cachirí del Devónico, conformado por lutitas negras, areniscas micáceas, areniscas cuarcíferas y calizas (ver fig 6.6 y 6.7); Formación Caño Indio del Carbonífero, la cual está compuesta por areniscas macizas intercaladas con limolitas (ver fig 6.8 y 6.9); la Formación Río Palmar del Carbonífero-Pérmico que se compone de calizas oolíticas en la base y calizas

fosilíferas en el resto de la sección (ver fig 6.10 y 6.11), y rocas intrusivas ácidas del Pérmico (ver fig 6.12 y 6.13)

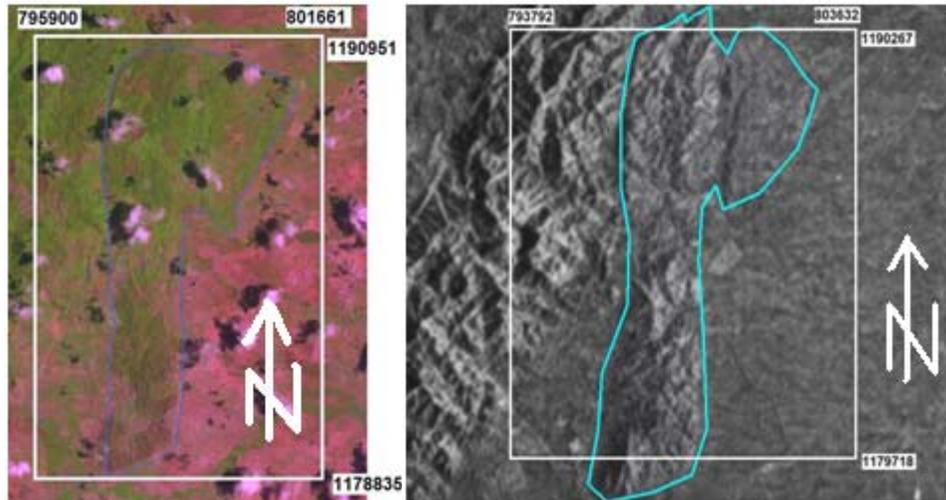
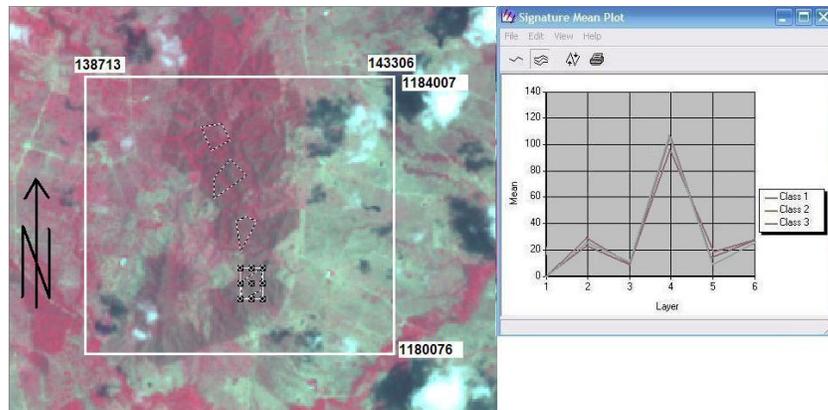


FIGURA N° 6.6 Imagen satelital e imagen de radar correspondientes al Grupo Río Cachirí (Coordenadas en UTM/WGS84)



FUGURA N° 6.7 Firmas espectrales del Grupo Río Cachirí (Coordenadas en UTM/WGS84)

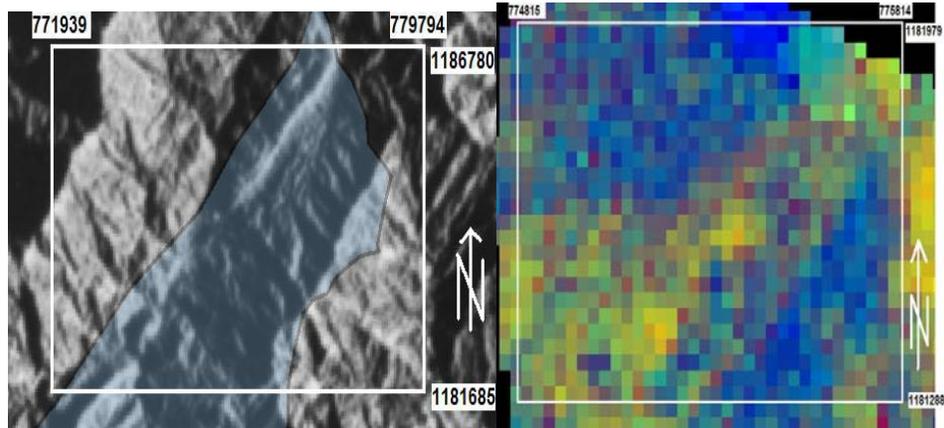


FIGURA N° 6.8 Imagen de radar e imagen “Spectral angle mapper” correspondientes a la Formación Caño Indio. (Coordenadas en UTM/WGS84)

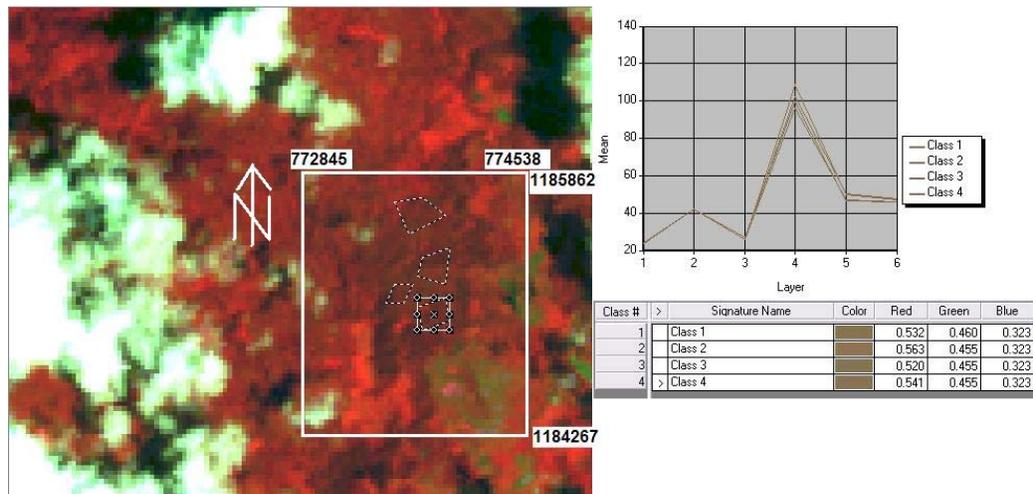


FIGURA N° 6.9 Firmas espectrales de la Formación Caño Indio (Coordenadas en UTM/WGS84)

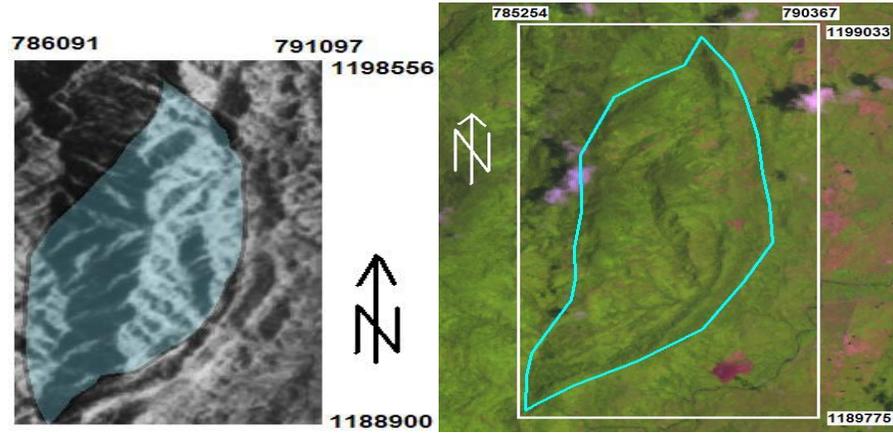


FIGURA N° 6.10 Imagen de radar e imagen satelital correspondientes a la Formación Río Palmar.

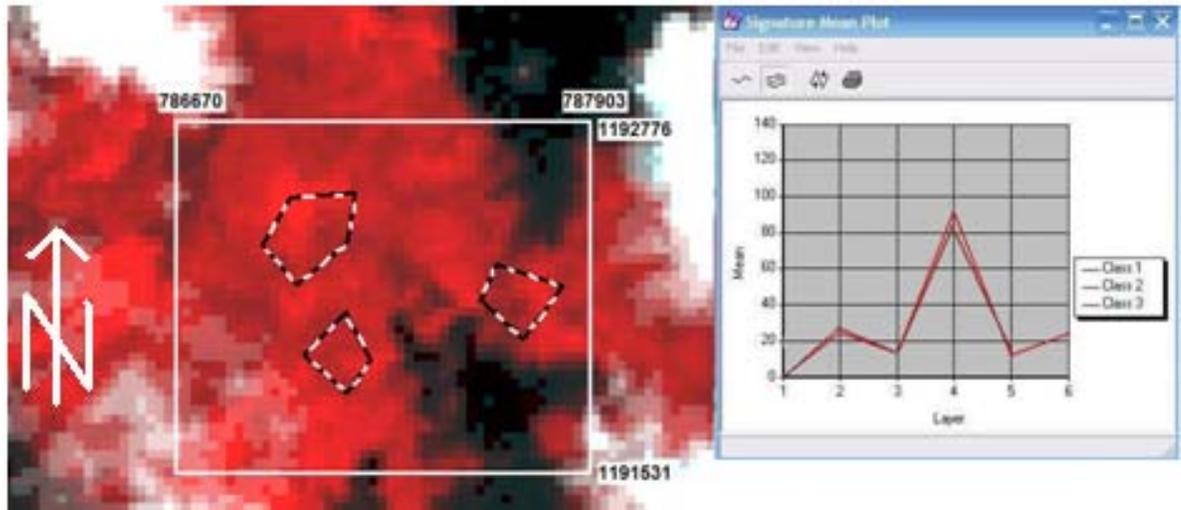


FIGURA N° 6.11 Firmas espectrales de la Formación Río Palmar (Coordenadas en UTM/WGS84)

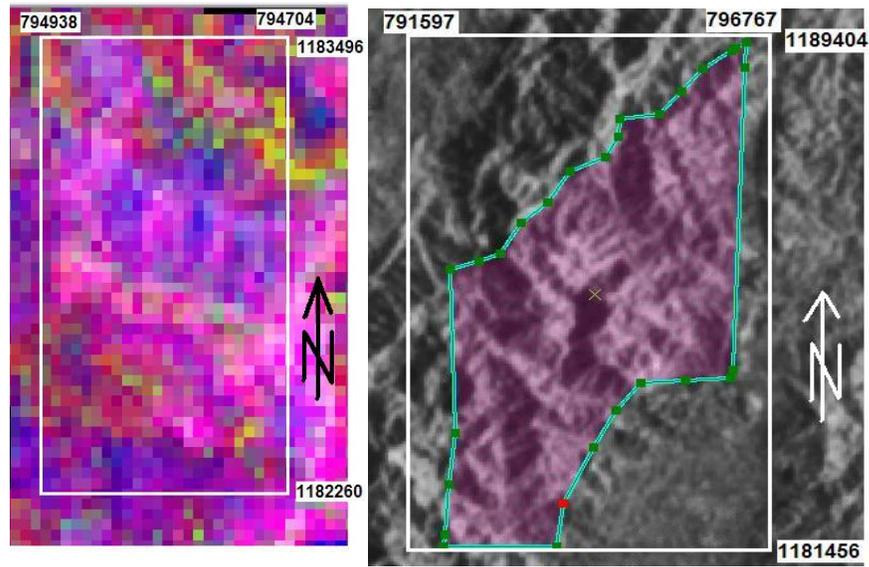


FIGURA N° 6.12 Imagen “spectral angle mapper” e imagen de radar correspondientes a las rocas intrusivas ácidas del Pérmico. (Coordenadas en UTM/WGS84)

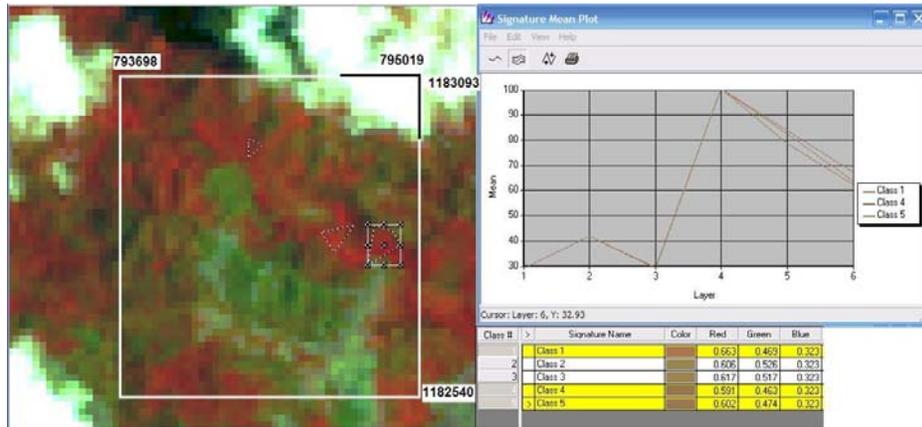


FIGURA N° 6.13 Firmas espectrales de las Rocas Intrusivas Ácidas del Pérmico. (Coordenadas en UTM/WGS84)

6.2.3.- Secuencia litológica del Jurásico:

Está representada por la Formación La Quinta, la cual litológicamente está compuesta arcosas, tobas y lutitas (ver fig 6.14 y 6.15).

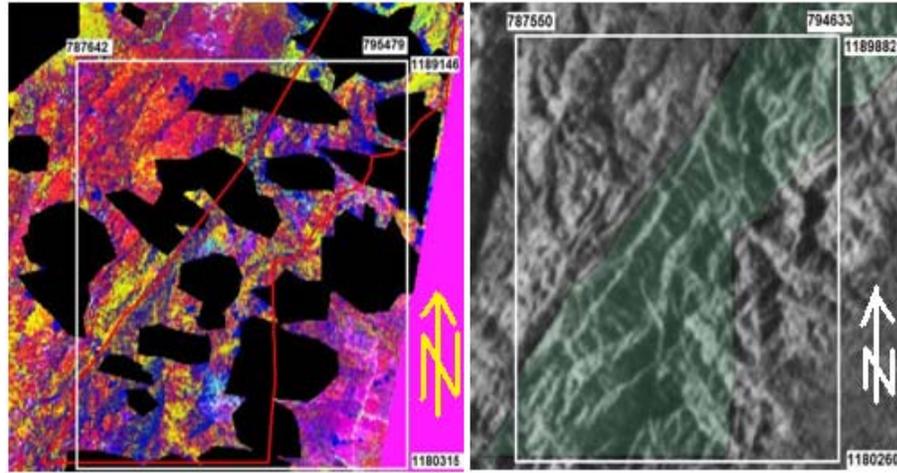


FIGURA N° 6.14 Imagen “spectral angle mapper” e imagen de radar correspondientes a la Formación Macoita. (Coordenadas en UTM/WGS84)

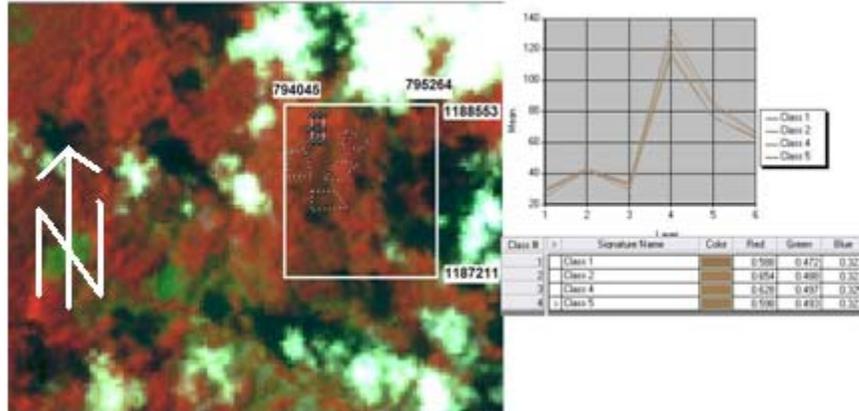


FIGURA N° 6.15 Firmas espectrales de la Formación Macoita. (Coordenadas en UTM/WGS84)

6.2.4.- Secuencia litológica del Cretácico:

Está representada por el Grupo Cogollo el cual se caracteriza por calizas densas y lutitas oscuras (ver fig 6.16 y 6.17); también se encuentra la Formación Mito-Juan que se caracteriza por arcillas (ver fig 6.18 y 6.19)

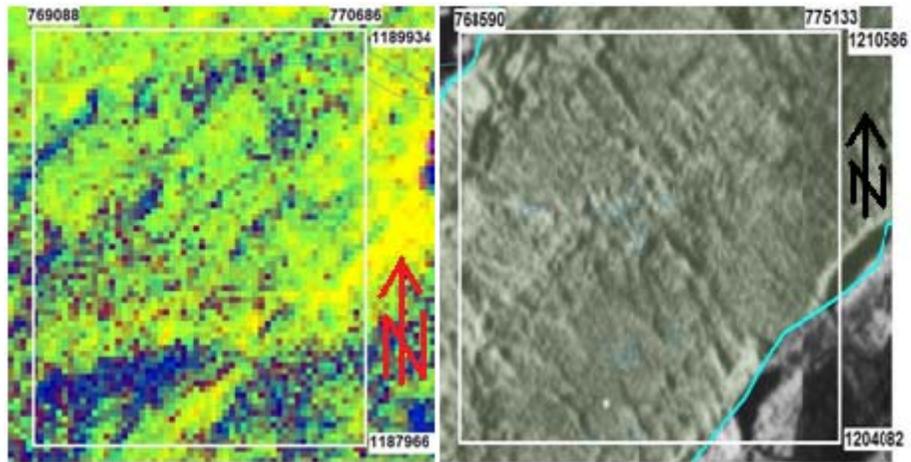


FIGURA N° 6.16 Imagen “spectral angle mapper” e imagen de radar correspondientes al Grupo Cogollo. (Coordenadas en UTM/WGS84)

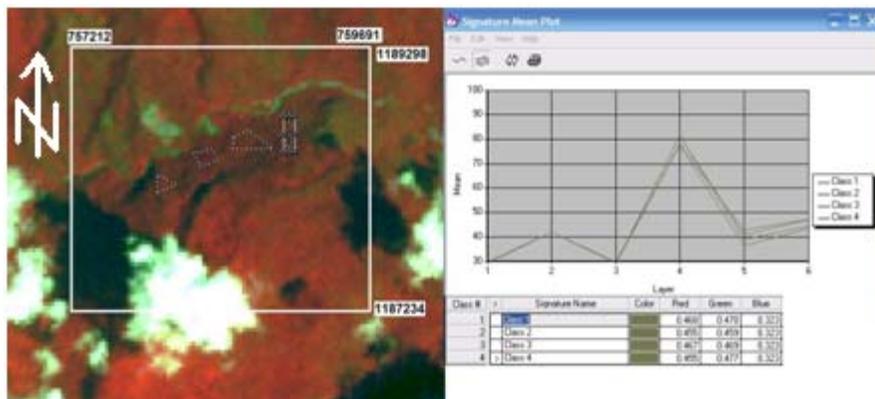


FIGURA N° 6.17 Firmas espectrales del Grupo Cogollo. (Coordenadas en UTM/WGS84)

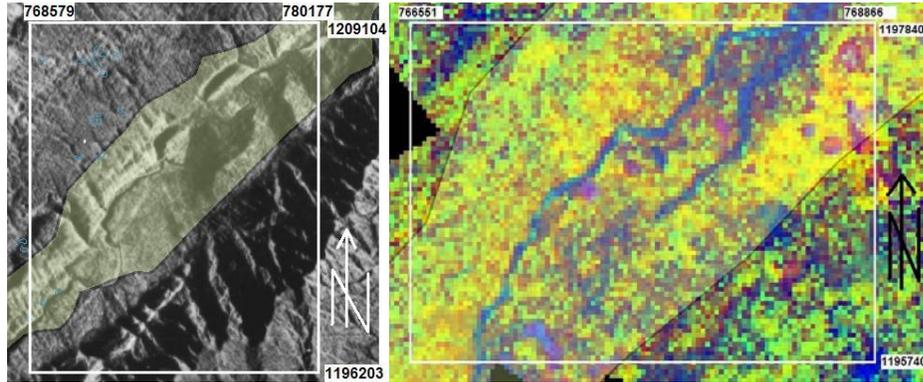


FIGURA N° 6.18 Imagen de radar e imagen “spectral angle mapper” correspondientes a la Formación Mito Juan. (Coordenadas en UTM/WGS84)

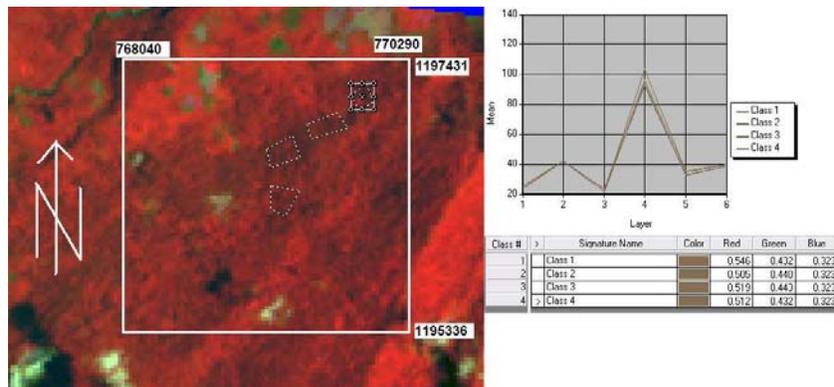


FIGURA N° 6.19 Firmas espectrales de la Formación Mito Juan. (Coordenadas en UTM/WGS84)

6.2.5.- Secuencia litológica del Cenozoico:

Está representada por la Formación Guasare y Marcelina, del Paleoceno, la primera compuestas por calizas fosilíferas y la segunda por areniscas y lutitas, (ver fig 6.22 y 6.23); suprayacentemente la Formación Mirador del Eoceno que contiene areniscas de grano fino (ver fig 6.20 y 6.21); La Formación Peroc del Oligoceno con arcilitas, limolitas, areniscas, anhidritas, lignito, siderita y pirita (ver fig 6.24). Por último se encuentran los aluviones del Cuaternario Reciente (ver fig 6.25)

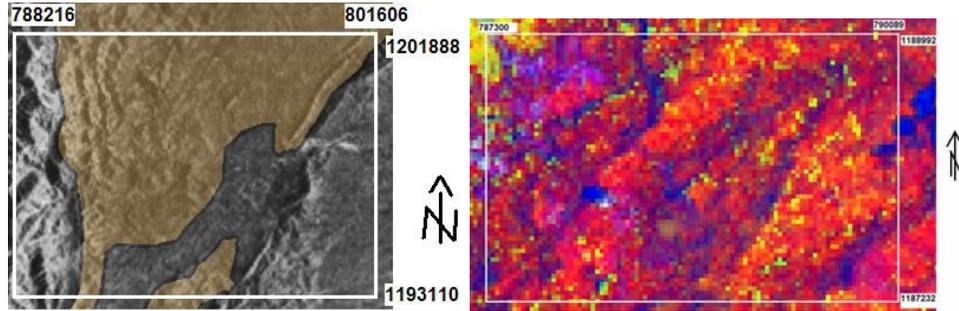


FIGURA N° 6.20 Imagen de radar e imagen “spectral angle mapper” correspondientes a la Formación Mirador. (Coordenadas en UTM/WGS84)

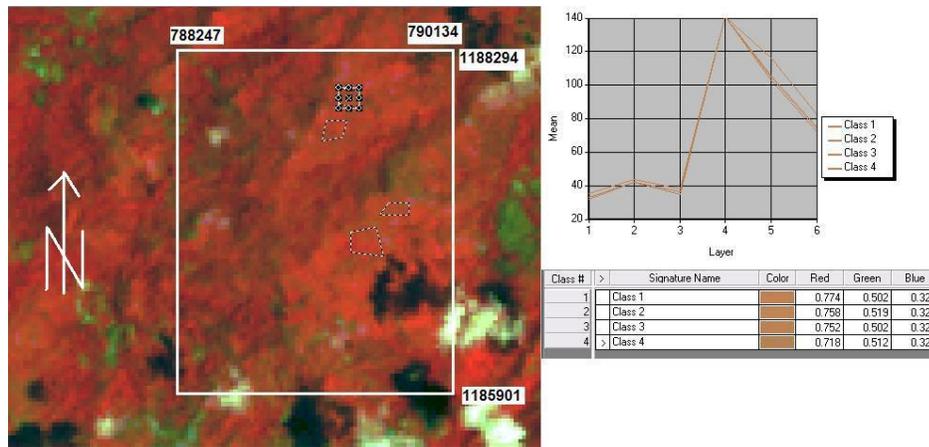


FIGURA N° 6.21 Firmas espectrales de la Formación Mirador. (Coordenadas en UTM/WGS84)

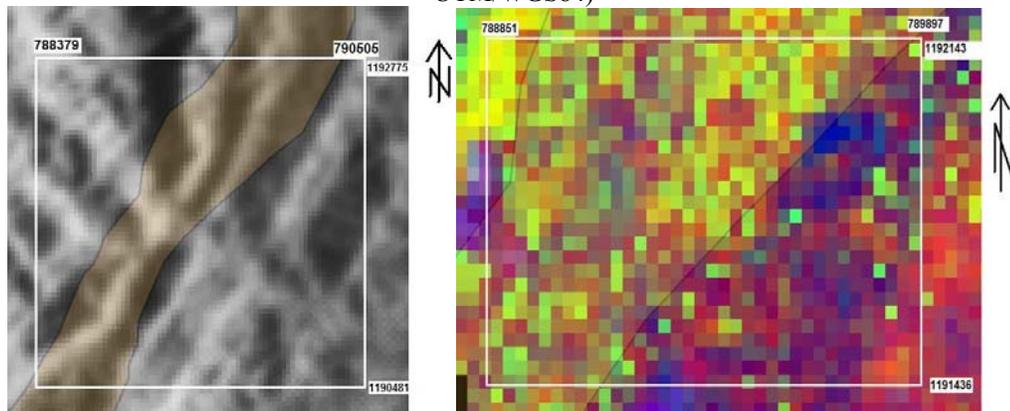


FIGURA N° 6.22 Imagen de radar e imagen “spectral angle mapper” correspondientes a la Formación Marcelina. (Coordenadas en UTM/WGS84)

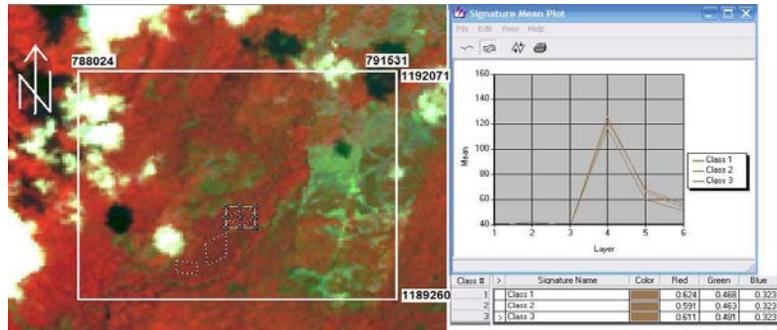


FIGURA N° 6.23 Firmas espectrales de la Formación Marcelina. (Coordenadas en UTM/WGS84)

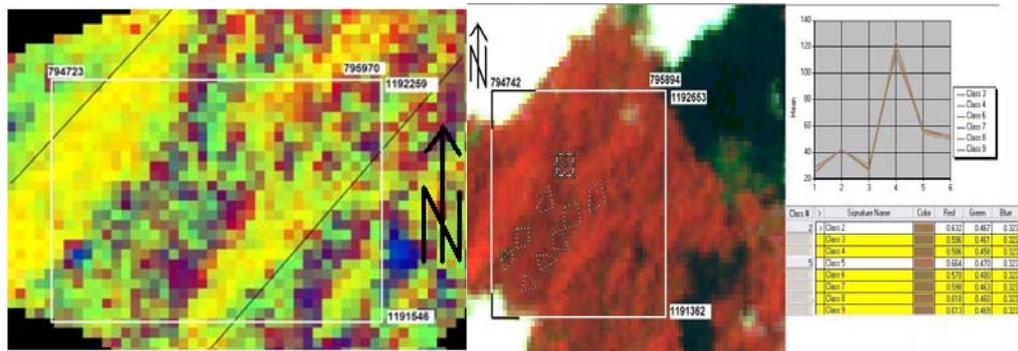


FIGURA N° 6.24 Imagen "spectral angle mapper" y firmas espectrales de la Formación Peroc (Coordenadas en UTM/WGS84)

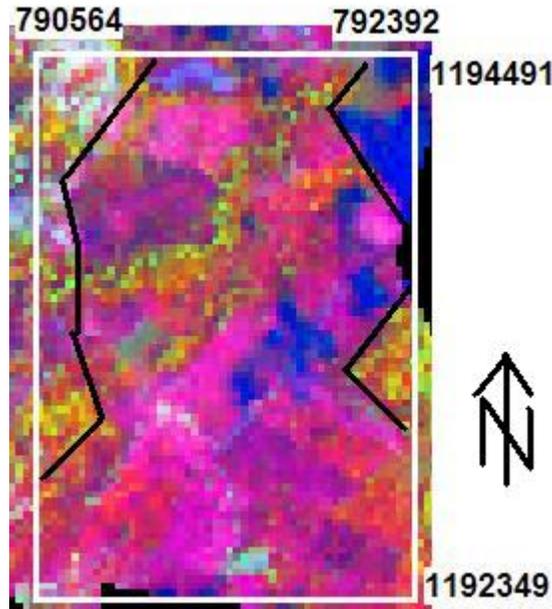


FIGURA N° 6.25 Imagen “*spectral angle mapper*” correspondiente Al Cuaternario Reciente
(Coordenadas en UTM/WGS84)

Es de hacer notar que casi siempre en una misma litología se aprecian valores distintos para las bandas 4 y 5, esto corresponde al hecho que la banda 4 discrimina las cantidades biomasa presente en una escena, por lo cual favorece la identificación de cultivos-suelo y tierra-agua; mientras que la banda 5 hace una discriminación en aspectos tales como: tipos de cultivos, cantidad de agua en el suelo y diferencia los tipos de plantas.

6.3.- Análisis Estructural

El análisis estructural consta de la identificación y jerarquización de estructuras principales, el respectivo estilo estructural y finalmente el establecer las fases de deformación. Las estructuras principales son originadas por las fases de deformación. Este análisis se realizó con ayuda de las imágenes de radar en las cuales se pueden apreciar estas estructuras de manera confiable.

6.3.1.- Identificación y jerarquización de las estructuras

6.3.1.1.- Fallas Inversas:

Son las estructuras de mayor importancia de la zona de estudio. Éstas fallas son dos y poseen una orientación preferencial N30E (ver fig 6.23).

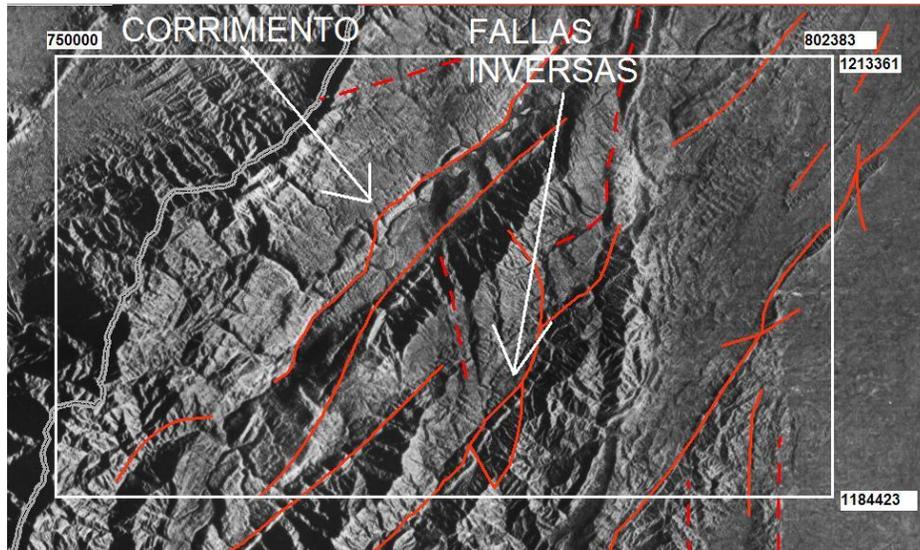


FIGURA N° 6.26 Fallas sinestrales marcadas en la imagen de radar correspondiente a la zona de estudio (Coordenadas en UTM/WGS84)

La falla que se presenta más hacia el oeste, se encuentra en rocas mesozoicas, donde las rocas de la Formación La Quinta (Jurásico) sobrecorren sobre el Grupo Cogollo (Cretácico). La falla tiene una longitud de 30 km.

La segunda falla que se encuentra entre las dos fallas principales. El buzamiento de esta falla es casi vertical haciendo que afloren las formaciones Perijá (Precámbrico Tardío), Caño Indio (Carbonífero), y Grupo Río Cachimí (Devónico) en contacto con el Grupo Cogollo (Cretácico). La falla tiene una longitud de 42 km.

La tercera falla, es la que se encuentra más al este de la zona de estudio. Ésta corta a las formaciones Mito Juan (Cretácico), Mirador (Eoceno), Ceibote

(Oligoceno), Peroc (Oligoceno - Mioceno), Macoa, Cuiba. La falla tiene una longitud de 45 km.

6.3.1.2.- Pliegue Anticlinal Simétrico:

Se encuentra hacia el sur-oeste de la zona de estudio (ver fig 6.27). Su línea de charnela y plano axial poseen una orientación N15°E, el plano axial tiene buzamiento vertical. En su núcleo aflora la Formación La Quinta (Jurásico) y en sus flancos el Grupo Cogollo (Cretácico).

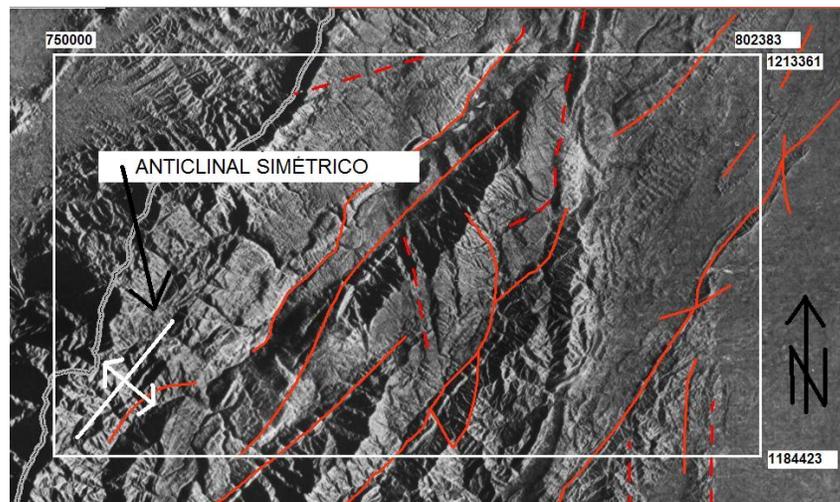


FIGURA N° 6.27 Imagen de radar donde se puede apreciar el anticlinal simétrico (Coordenadas en UTM/WGS84)

6.3.1.3.- Pliegues Sinclinales Simétricos:

En la zona de estudio existen dos sinclinales simétricos (ver fig 6.28): El primero se encuentra 10 km al este del anticlinal mencionado anteriormente. El plano axial de este anticlinal tiene buzamiento vertical, y el rumbo tanto del plano axial como de la línea de charnela es N30°E, y en su núcleo se encuentra la Formación Mito Juan y hacia sus flancos El Grupo Cogollo. El segundo sinclinal es de geometría curvilínea, es decir, hacia el sur el rumbo de su eje es N20°E y hacia el norte es N-S. En este segundo sinclinal intervienen las Formación la Quinta y El Grupo Cogollo.

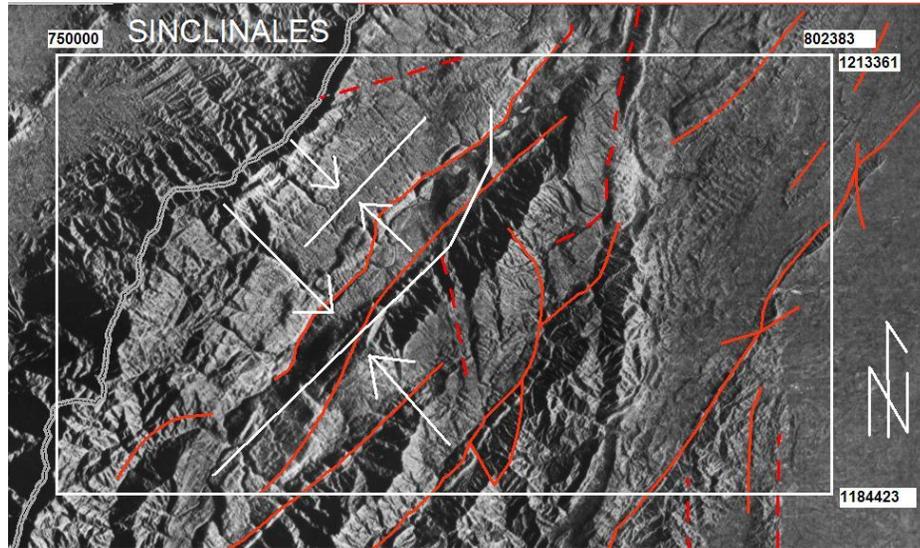


FIGURA N° 6.28 Imagen de radar donde se pueden apreciar los sinclinales
(Coordenadas en UTM/WGS84)

6.3.2.- Estilo Estructural:

A la zona de estudio se le atribuye un estilo estructural eyectivo, debido a que la deformación dúctil de la zona está representada por sinclinales amplios intercalados con anticlinales más estrechos. Estos Anticlinales que no eran simétricos sino en forma de rodilla han desaparecido debido a que su línea de cresta fue erosionada y el sistema aprovechó esa zona de debilidad para originar un corrimiento (ver fig 6.29). Solo se puede apreciar un anticlinal simétrico que es el que se encuentra al sur-oeste. Además se determinó que existe un estilo zócalo debido a que también existe deformación en el basamento.

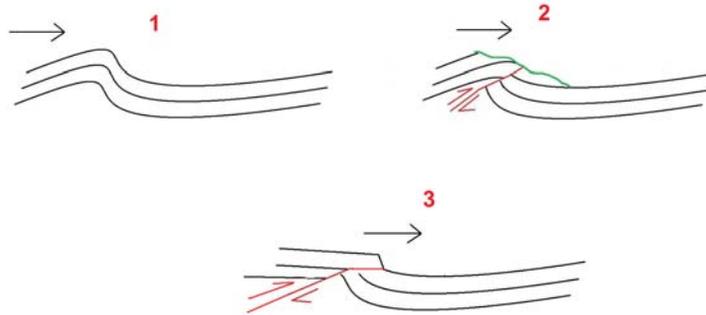


FIGURA N° 6.29 Desaparición del anticlinal y formación de un corrimiento

6.3.3.- Fases de deformación:

Se determinaron tres fases de deformación presentes en la zona: La primera fase es de distensión en el rift del Jurásico donde se producen fallas normales de alto buzamiento en el basamento. (ver fig 6.29)

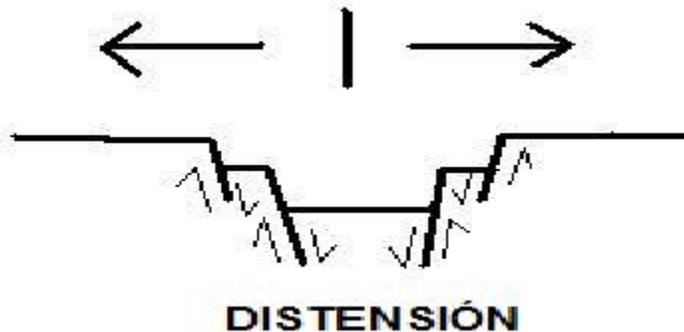


FIGURA N° 6.30 Distensión en el "rift" del Jurásico que produce fallas normales

La segunda fase es el establecimiento del margen pasivo en el Cretácico Temprano, período en el cual se depositaron espesas secuencias lutitas y calizas. La tercera fase de deformación es de levantamiento en el Eoceno donde la zona de estudio es afectada por esfuerzos compresivos (ver fig 6.30) con rumbo N60°W que

da como resultado el plegamiento y fallas inversas de buzamiento vertical por los mismos planos de falla en los cuales se produjeron las fallas normales del rift Jurásico.

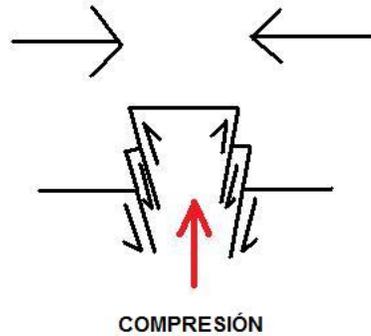


FIGURA N° 6.31 Compresión del Eoceno que genera fallas inversas de alto ángulo por los mismos planos de falla que ocurrieron las fallas normales (inversión tectónica)

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES, SUMARIO Y RECOMENDACIONES

SUMARIO Y CONCLUSIONES

- Se logró realizar un mapa geológico actualizado a escala 1:100.000 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), donde quede evidenciada la correspondencia entre la geología superficial obtenida de los estudios previos y la información obtenida de las imágenes multiespectrales.
- Con el análisis de las imágenes multiespectrales se pudo determinar con precisión las diferentes unidades litoestratigráficas presentes en la zona de estudio, estableciendo la presencia de contactos entre grupos de rocas distintas
- La correspondencia entre las imágenes procesadas y el mapa geológico demuestra que la herramienta es confiable para la realización de un cartografiado geológico.
- La presencia de nubes en la imagen impide tener una visión completa de la zona por lo cual es necesario recurrir a otras fuentes de información, tales como mapas geológicos previos e imágenes de radar.
- Las imágenes satelitales junto a las otras herramientas facilitan la discriminación de rasgos importantes. Entre estas herramientas tenemos el modelo digital de elevación, que permite tener una visión global de la zona en tres dimensiones, para así poder visualizar los rasgos distintivos de cada unidad topográfica.

- El procesamiento de correcciones atmosféricas realizado permite la adecuación de las imágenes a su interpretación, ya que elimina “ruidos” o distorsiones producto de los gases atmosféricos.
- La clasificación no supervisada realzó rasgos geológicos que sirvieron para definir contactos entre las unidades presentes en la zona de estudio.
- El estudio geomorfológico dejó dos unidades claramente diferenciables como lo son unidad de montañas simétricas con valles interdigitados al oeste y la unidad de valles con colinas al este, presentándose la zona en forma de escalón
- Las fallas inversas muestran dos tendencias, la primera de sobrecorrimientos debidos a los esfuerzos tectónicos del Cretacico superior – Cenozoico, y la segunda es un tendencia de inversión de fallas normales jurasicas, creando fallas inversas de alto ángulo que exponen rocas precámbricas.
- Los plegamientos son de edad post Cretácico y corresponden a los mismos esfuerzos que elevaron la sierra en el Cenozoico.
- Los sinclinales se caracterizan por no presentar antifformes debido a que son controlados por fallas que expusieron los antifformes a agentes erosivos. Como evidencia quedan las fallas subparalelas a los sinclinales y el antifforme no asociado a falla del oeste de la región.
- Se concluye que la región presenta un estilo estructural eyectivo y de zócalo.

- Se determinan tres fases de formación geológica, la primera de Rift Jurásico, la segunda de margen pasivo en el Cretácico, y la tercera fase de compresión de margen activo, para el Eoceno.

RECOMENDACIONES

- Para hacer un estudio basado en imágenes LANDSAT, se debe disponer de otras herramientas tales como mapas topográficos, imágenes de radar, mapas geológicos previos, en las cuales apoyar la información de las imágenes LANDSAT, incluyendo salidas de campo, en la manera de lo posible, que corrobore la información.
- Se puede recurrir a centros de información como la colección *Creole*, que cuenta con más de 150mil de secciones finas, para obtener datos de la litología de zonas inaccesibles como la Sierra de Perijá.
- Las imágenes LANDSAT son óptimas para la realización de estudios regionales, mientras que no se recomiendan para hacer estudios locales, debido a que la resolución es baja, de unos 30m por pixel.
- El estudio de las imágenes multiespectrales muestran con claridad las litologías diferentes mediante el uso de firmas espectrales, por lo que se recomiendan para estudios geológicos, mientras las radargrafías muestran con claridad las estructuras geológicas como fallas, sinclinales y anticlinales, por lo que se recomienda su uso para estudios estructurales.
- Los *software* utilizados ENVI, ArcGis y ERDAS, requieren de computadores de alto desempeño, por lo que se recomienda utilizar el equipo más potente posible para evitar inconvenientes que impidan el cumplimiento de los cronogramas de trabajo. Por otra parte se recomienda migrar a *software* libre,

que no involucre el pago de licencias ni los inconvenientes que dichas licencias generan para el uso masivo de estas herramientas.

- Se recomienda el uso de otras imágenes satelitales como la ASTER e HYPERION, que con una mayor cantidad de bandas y una mejor resolución puede detallar más aspectos tanto litológicos como estructurales.
- Se recomienda uso de imágenes de Radar, *Quizbird*, *Spot* y fotos aéreas, para estudios estructurales, ya que poseen una magnífica resolución espacial.
- Las imágenes procesadas en este trabajo están lo suficientemente avanzadas en tratamiento digital como para utilizarse en exploración de hidrocarburos.

CAPÍTULO VIII

BIBLIOGRAFÍA

- ADRIÁN Y GAMARRA (1993) **Estudio Geológico del Sector Riecito de el Palmar Sierra de Perijá Distrito de Maracaibo Estado Zulia.** Tesis inédita U.C.V.
- 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.
- AZPIRITXAGA, I. y J. E. Casas B., (1989). **Estudio sedimentológico de las formaciones Mirador y Carbonera en el río Lobaterita, estado Táchira, Venezuela.** Caracas, 1988. *Geos* (29): 1-17.
- BELLIZZIA Y PIMENTEL (1995) **Consolidación de Terrenos Continentales Gondwanicos Precámbrico-Paleozoicos en los Andes de Venezuela.** Boletín de Geología del Ministerio de Energía y Minas # 10 pp. 227-247.
- BENEDETTO, G. y O. Odreman, (1977). **Nuevas evidencias paleontológicas en la Formación la Quinta, su edad y correlación con las unidades aflorantes en la Sierra de Perijá y Cordillera oriental de Colombia.** *V Cong. Geol. Venez.* Mem. 1: 87-106.
- BERRY C. *et. al* (1997) **Síntesis Estratigráfica y Paleontológica de la Formación Campo Chico (Devónico Medio Superior), Sierra de Perijá.** Memorias del VIII Congreso Geológico Venezolano., Soc Venezolana de Geól. – tomo 1, pp 125 – 132
- BOESI, T.; GALEA, F.A.; ROJAS, G.; LORENTE, M.L.; DURÁN, I.; Y VELÁSQUEZ, M., (1988), **Estudio estratigráfico del Flanco Norandino en el sector Lobatera-El Vigía.** III Simposio Bolivariano Exploración Petrolera de las Cuencas Subandinas. Soc. Ven. Geólogos, Caracas, Mem. I: 1-41.
- BOWEN, J. M., (1972). **Estratigrafía del precretácico en la parte norte de la Sierra de Perijá.** Mem. *IV Cong. Geol. Venez.*, 2: 729-761.
- BRONDIJK, (1967). **Contribution of the AVGMP Maracaibo Basin Eocene nomenclature Committee. Eocene formations in the southwestern part of**

the Maracaibo Basin. *Asoc. Venez. Geol. Min. y Petrol.*, Bol. Infrom. 10(2): 35-50

CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING CCRS (2007). **Fundamentals Of Remote Sensing.** www.ccrs.nrcan.gc.ca

COMITÉ INTERFILIAL DE ESTRATIGRAFÍA Y NOMENCLATURA (CIEN), (1999) **Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela.** Pdvsa INTEVEP. www.pdvsa.com/lexico

COLMENARES, O. Y L. J. TERÁN, (1988). **Bioestratigrafía de secuencias Eoceno-Oligoceno en el estado Táchira.** *Revista Técnica Intevep.*

DEL CASTILLO, HÉCTOR. (1997) **Estudio Geológico de la Sección tipo de la Formación Paso Diablo, Serranía de Perijá, estado Zulia.** Tesis inédita UCV.

FIERRO S., I. Y C. A. USECHE, (1985). **Geología del Nula-Sarare, estados Táchira y Apure.** Mem., *IV Cong. Geol. Venezolano, Dir. Geol.*, Pub. Esp. 5, 1: 654-702.

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.

FORD A. Y HOUBOLT J. J. H. C., (1963). **Las microfacies del Cretáceo de Venezuela Occidental.** 59 p. Leiden E. J. Brill. International sedimentary Petrological series vol. VI.

GISELLE Y GEDLER (1986) **Estratigrafía, Diagénesis y Determinación de Microfacies del Grupo Cogollo, Sierra de Perijá (Edo. Zulia).** Tesis inédita UVC.

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.

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.

GUERRA D. (1999) **Interpretación y Balanceo de un Transecto Estructural Regional Flanco Sur Oriental de Perijá Costa Sur Occidental del Lago de Maracaibo (Area Río Tucuco – Río Ariguaisa)**

- HEA, J. P. Y A. B. WHITMAN, (1960). **Estratigrafía y Petrología de los sedimentos precretácicos de la parte norte-central de la Sierra de Perijá, Estado Zulia, Venezuela.** *III Cong. Geol. Venez.*, Mem. 1: 351-375.
- HEDBERG, H. D. AND L. C. SASS, (1937). **Synopsis of the geologic formations of the western part of the Maracaibo basin, Venezuela,** *Bol. Geol. y Min.* (Venezuela), 1(2-4): 71-112.
- 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.
- HUNG, WILLIAM (1976) **Estudio Geológico de las Cabeceras del Río Cachiri, Sierra de Perijá, Distritos Mara y Maracaibo Del Estado Zulia.** Tesis inédita UCV.
- INTERNACIONAL INSTITUTE FOR GEO-INFORMATION SCIENCE AND HERAT OBSERVATION ITC (2004) **Principles of Remote Sensing.** Enschede, The Netherlands. Edición Digital
- KEY, C. E., (1960). **La estratigrafía del subsuelo de Alturitas.** Mem. III Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 1959. *Bol. Geol.*, Pub. Esp. N° 3, 2: 511-545.
- KISER, G. D., (1989). **Electrofacies de Parángula basal y sus equivalentes de la Formación Carbonera, cuenca Apure-Barinas.** *VII Cong. Geol. Venez.*, Barquisimeto, estado Lara, I: 459-466.
- LEÓN, H., (1975) **Intervalos productores del Cretácico Campo Urdaneta Este. Lago de Maracaibo.** *Primeras Jornadas Venezolanas de Geología, Minería y Petróleo.* Maracaibo. Pre-impreso.
- LIDDLE, R. A., (1946). *The Geology of Venezuela and Trinidad*, 2 ed., Paleont. Res. Inst., Ithaca, N.
- LILLESAND, THOMAS M. Y RALPH W. KIEFER, **Remote Sensing and Image Interpretation**, New York: Wiley & Sons, 2000
- LORENTE Y CONTRERAS (1997) **Datación de las Secuencias Oligo-Miocenas en el Area de Alturitas y sus Implicaciones para el Conocimiento de la Evolución Tectono Estratigrafica de Perijá.** Memorias del VIII Congreso Geológico Venezolano., Soc. Venezolana de Geol. Tomo 1, pp. 483 – 490.

- MARTÍNEZ R., J. I., (1989). **Foraminiferal biostratigraphy and paleoenvironments of the Maastrichtian Colon mudstones of northern South América.** *Micropaleontology*, 35(2): 97-113.
- MAZE, W. B., (1984). **Jurassic La Quinta formation in the Sierra de Perijá, northwestern Venezuela: geology and tectonic environment of red beds and volcanic rocks:** *Geol. Soc. Am. Mem.* 162, p. 263-282
- MÉNDEZ, L. (2002). **Curso de Geomática, Nivel Intermedio.** Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar.
- MENDOZA, S VICENTE. (2005) **Geología de Venezuela.** Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra. C
- MEZA RONNY (1998) **Estudio del Sistema Petrolífero del Cretácico en el Área de Perijá Central Cuenca de Maracaibo Edo. Zulia.** Tesis inédita UVC.
- 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.
- MOTICKA, P., (1977). **Generación de magmas y autometamorfismo por combustión de carbones y limolitas carbonosas de la Formación Marcelina, Perijá.** *Mem. V Cong. Geol. Ven.*, Caracas, Noviembre 1977. 2: 663-691.
- 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.
- ODREMAN, O. E. Y S. GHOSH, (1980). **Estudio paleoambiental-paleontológico de facies de la formación La Quinta, cerca de Mérida.** *Bol. Geol. (Venezuela)*, 14(26): 89-104.
- PERALTA V., J. D., (1991). **Estudio estratigráfico del límite Cretácico-Terciario en Venezuela Occidental.** *Trabajo Especial de Grado, Escuela de Geología, UCV*, 162 p.
- QUIJADA, E. Y A. CALDERA, (1985). **Geología del campo Alpuf. Estado Zulia.** *VI Cong. Geol. Ven.*, Mem., 5: 3318-3350.
- SANJUAN, J., (1964). **Sedimentary structures in the "Frontal Sandstones" along the Perijá mountain front between the rivers Palmar and Tucuco.** *Asoc. Venez. Geol., Min., Petr.*, Bol. Inform., 7(3): 71-90.

- 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.
- SUTTON, F. A., (1946). **Geology of Maracaibo basin, Venezuela**, *Am. Assoc. Petrol. Geol., Bull.*, 30(10): 1621-1741
- TESTAMARCK, J. *et al.* (1994) **Estilos Estructurales del Flanco Suroriental de la Sierra de Perijá, Venezuela**. V Simposio Bolivariano de exploración petrolera en las cuencas subandinas. pp 314
- TRUMP, G. W. Y A. SALVADOR, (1964). **Guidebook to the geology of western Táchira**. *Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról.* 25 p.
- RENZ, O., (1959). **Estratigrafía del Cretáceo en Venezuela occidental**. *Bol. Geol.*, Caracas, 5(10): 3-48. Resumen (1960) en: *Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról.*, Bol. Inform., 3(7): 209.
- ROD, E. Y MAYNC, W., 1954. **Revision of Lower Cretaceous stratigraphy of Venezuela**. *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull.*, 38(2): 193-283.
- ROMERO, L. M.; Galea, F. A., (1995), **Campanian *Bolivinoides* and Microfacies from the La Luna Formation, western Venezuela**. *Marine Micropaleontology*, (26): 385-404 US Army Corps of Engineers USACE (2003) **Remote Sensing**. Washington D.C. Edición digital
- VAN ANDEL, T. H., (1958). **Origin and classification of cretaceous, Paleocene and Eocene Sandstones of Western Venezuela**, *Am. Assoc. Petrol. Geol.*, Bull., 42(4): 734-763..
- VAN VEEN, F. R., (1969). **Ambientes sedimentarios de las formaciones Mirador y Misoa del Eoceno inferior y medio en la cuenca del Lago de Maracaibo**. *IV Cong. Geol. Venez.*, 2: 1073-1104.
- 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. Geol. Venez.*, Caracas, 2: 1073-1104.
- VARGAS, CARLOS ANTONIO (2002) **Estudio Aeromagnético de la Región Central de la Sierra de Perijá, Edo Zulia**. Tesis inédita UVC.

YOUNG, G. A., (1958). **Correlation of the Oligo-Miocene formations in the Districts of Urdaneta and Perijá, State of Zulia.** *Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról.*, Bol. Inform., 1(4): 116-135