

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**“INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA MEDIANTE EL USO DE SENSORES  
REMOTOS DE UNA ZONA UBICADA AL SUR DE LA CIUDAD DE  
PUERTO AYACUCHO, ESTADO AMAZONAS”.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Barríos D, Yramer C.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2009

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**“INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA MEDIANTE EL USO DE SENSORES  
REMOTOS DE UNA ZONA UBICADA AL SUR DE LA CIUDAD DE  
PUERTO AYACUCHO, ESTADO AMAZONAS”.**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Paul Romero  
COTUTOR ACADEMICO: Prof. Mauricio Hernández

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Barríos D., Yramer C.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2009

Caracas, 11 de Mayo de 2009

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 el Bachiller Barrios, Yramer, titulado:

**“INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA MEDIANTE EL USO DE  
SENSORES REMOTOS DE UNA ZONA UBICADA AL SUR DE  
LA CIUDAD DE PUERTO AYACUCHO, ESTADO AMAZONAS”**

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. Olga Rey  
Jurado

Prof. Sebastián Grande  
Jurado

Prof. Mauricio Hernández  
Cotutor Académico

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela y a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería por darme la oportunidad de formarme académicamente.

Al Prof. Paul Romero por su guía y asesoría, si ella no hubiésemos logrado cumplir con los objetivos planteados y llegar más allá.

Al Prof. Mauricio Hernández por darme la oportunidad de desarrollar su idea de utilizar nuevas técnicas para el estudio de las huellas de la historia, sin ella no fuera posible la existencia de este trabajo, nunca tendré palabras suficientes para demostrar lo agradecida que estoy, gracias Mauricio muchas gracias.

A los Profesores Carrillo, Pascuali y Sifontes por su asesoría y buena disposición.

Al Prof. Miguel Castillejo por ser mi mentor en muchos aspectos académicos y no académicos.

A Yulimar Millán y Andrés González quienes me acompañaron y brindaron su ayuda y apoyo durante la realización de este trabajo.

A Ana Castillo por ser mi mejor amiga, mi apoyo, en momentos difíciles y por siempre estar cuando era necesario, gracias amigui.

A Lenis Rodríguez, mi ejemplo a seguir, buena amiga, madre, espero algún día seguir con orgullo tu ejemplo, gracias comai.

A los locos, las napas, mis secres, a todos por llenar de alegría mi vida, siempre jodiendo sin parar, no cambien.

Por supuesto no puede faltar mi familia, mi madre y mis hermanos que siempre me apoyaron y me apoyan, sin ellos no hubiese logrado mi sueño.

Gracias a todos....  
Yramer Barrios

**Barrios D., Yramer C.**

**“INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA MEDIANTE EL USO DE SENSORES REMOTOS DE UNA ZONA UBICADA AL SUR DE LA CIUDAD DE PUERTO AYACUCHO, ESTADO AMAZONAS”.**

**Tutor Académico: Prof. Paul Romero. Cotutor Académico: Prof. Mauricio Hernández. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería. Geología, Minas y Geofísica. Año 2009, 107 Pág.**

**Palabras Claves:** Imágenes satelitales Landsat 7 +ETM; Puerto Ayacucho, Estado Amazonas; Río Cataniapo; Estado Amazonas, Mapa Geológico Esc. 1:100000.

**Resumen.** La utilización de las imágenes satelitales permite realizar estudios geológicos a larga distancia con bastante exactitud, los resultados obtenidos a través de este método simplifican los trabajos de interpretación remota de ciertas características geológicas, minimizando la investigación de campo, solventándose los problemas de logística y de costos que un levantamiento geológico de superficie acarrea.

Se planteó la ejecución de seis actividades para llevar a efecto los objetivos planteados en esta investigación, las cuales estuvieron constituidas por la revisión del material bibliográfico y la recopilación del material cartográfico-geológico existente; el procesamiento y calibración de las imágenes satelitales, donde se realizaron tres correcciones (atmosférica, radiométrica y geométrica) con la finalidad de generar una imagen que permita la definición de los parámetros estratigráficos y estructurales. La interpretación de las imágenes, que conllevaron a la proposición de modelos e hipótesis de evolución de dicha zona, finalizando con la elaboración de un mapa digital y construcción de secciones que faciliten la descripción de la zona estudiada.

Culminada todas las actividades propuestas en los objetivos y la metodología, se llegó a la conclusión, que el área de interés, se caracteriza por presentar un relieve de transición, ocupando la región comprendida entre los llanos que se extienden al norte y oeste del área y el sistema montañoso que comienza en el río Suapure (estado Bolívar) y llega hasta la serranía de Coromoto y Casabe al sur, la serranía de Batata y El Espejo al este entre otras; por presentar una densa y extensa red hidrográfica, cuyos cauces por lo general son permanentes durante todo el año, organizándose fundamentalmente sobre la cuenca del río Orinoco en primer lugar, y sobre las cuencas del río Cataniapo, Samariapo y Cuao en segundo lugar y por presentar una diversidad de vegetación y suelos que reflejan los procesos erosivos, de transporte y depositación a los que ha sido sometida la región desde el precámbrico.

## TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	iv
TABLA DE CONTENIDO .....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	xi
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. GENERALIDADES .....	1
1.2. OBJETIVO GENERAL .....	2
1.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	2
1.4. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	3
1.5. METODOLOGIA.....	3
1.5.1. Etapa de recopilación bibliográfica.....	4
1.5.2. Etapa de interpretación y análisis.....	4
1.5.3. Etapa de integración y comparación de información. ....	5
1.6. MARCO REFERENCIAL .....	5
2. MARCO TEÓRICO .....	10
2.1. Teledetección.....	10
2.2. Naturaleza de la radiación .....	11
2.3. Interacciones entre la radiación y los objetos .....	11
2.4. Interacción de los Elementos de la Superficie Terrestre con la Radiación.....	13
2.4.1. Firma Espectral .....	13
2.5. Elementos de un Proceso de Teledetección.....	16
2.6. Espectro Electromagnético.....	17
2.7. Dominio Óptico del Espectro .....	19

2.8.	Satélites Landsat .....	20
2.8.1.	Especificaciones del Satélite.....	21
2.8.2.	La Órbita del Landsat 7 .....	22
2.8.3.	Formatos y Soportes Existentes .....	23
3.	PROCESAMIENTO DE LAS IMAGENES .....	24
3.1.	GENERALIDADES .....	24
3.2.	EFFECTOS DE CAMBIO EN EL TIEMPO .....	24
3.3.	EFFECTOS ATMOSFÉRICOS .....	25
3.4.	EFFECTOS DE RUIDO .....	25
3.5.	BANDEAMIENTO DE LA IMAGEN .....	25
3.6.	CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA .....	26
3.7.	CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA.....	27
3.8.	CORRECCIONES GEOMÉTRICAS.....	28
3.9.	HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS ESPECTRAL .....	29
3.9.1.	Fracción Mínima de Ruido. ....	29
3.9.2.	Índice de Pureza de Pixel.....	29
3.9.3.	Visualizador N Dimensional.....	30
3.9.4.	Spectral Angle Mapper.....	30
3.9.5.	Clasificación No Supervisada .....	31
3.9.6.	Clasificación Supervisada.....	31
3.9.7.	Operaciones Entre Bandas .....	32
3.9.8.	Análisis de Componentes Principales .....	33
3.9.9.	Realces.....	33

3.9.10.	Filtros.....	33
4.	GEOLOGÍA REGIONAL.....	35
4.1.	GENERALIDADES .....	35
4.2.	EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA DEL ESCUDO DE GUAYANA .....	36
4.3.	PROVINCIAS PETROTECTONICAS DEL ESTADO BOLIVAR.....	40
4.3.1.	Provincia de Imataca .....	41
4.3.2.	Provincia De Pastora .....	42
4.3.3.	Provincia de Cuchivero .....	44
4.3.4.	Provincia de Roraima .....	45
4.4.	SUBPROVINCIAS PETROTECTONICAS DEL ESTADO AMAZONAS.....	47
4.4.1.	Subprovincia Petrotectónica Ayacucho.....	49
4.4.2.	Subprovincia Petrotectónica de Manapiare .....	50
4.4.3.	Subprovincia Petrotectónica del Casiquiare .....	51
4.4.4.	Subprovincia Petrotectónica del Alto Orinoco .....	54
4.4.5.	Subprovincia Petrotectónica Del Siapa .....	57
5.	GEOLOGÍA FISICA .....	59
5.1.	GENERALIDADES .....	59
5.2.	CLIMA.....	59
5.2.1.	Precipitación .....	60
5.2.2.	Temperatura .....	61
5.2.3.	Evaporación .....	62
5.3.	HIDROGRAFÍA.....	64
5.4.	RELIEVE .....	66

5.5.	SUELOS.....	69
5.5.1.	Entisoles .....	69
5.5.2.	Ultisoles.....	70
5.5.3.	Oxisoles .....	71
5.6.	VEGETACION DEL ESTADO AMAZONAS .....	73
5.6.1.	BOSQUES .....	73
5.6.2.	SABANAS GRAMINOSAS ARBUSTIVAS .....	74
5.6.3.	VEGETACION EN ROCAS (LAJAS).....	75
6.	RESULTADOS .....	77
6.1.	GENERALIDADES .....	77
6.2.	UNIDAD DE MESETAS.....	78
6.2.1.	Subunidad De Montañas Con Topes Amesetados .....	79
6.2.2.	Subunidad de Colinas.....	83
6.3.	UNIDAD DE PLANICIES .....	86
6.4.	UNIDAD DE LLANURA ALUVIAL.....	89
6.5.	SUPERFICIES DE EROSION .....	90
7.	INTERPRETACION DE LA IMAGEN LANDSAT EN BASE A LAS HERRAMIENTAS DE ANALISIS ESPECTRAL. ....	93
7.1.	GENERALIDADES .....	93
7.2.	IMAGEN PRODUCTO DEL MNF.....	93
7.3.	SPECTRAL ANGLE MAPPER O SAM.....	95
7.4.	CLASIFICACION SUPERVISADA Y NO SUPERVISADA .....	96
8.	INTERPRETACION GEOLOGICA Y GEOMORFOLOGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	103

8.1. INTERPRETACION GEOLOGICA .....	103
8.2. INTERPRETACION GEOMORFOLOGICA.....	104
CONCLUSIONES .....	108
RECOMENDACIONES .....	110
BIBLIOGRAFIA .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## INDICE DE FIGURAS

Fig. N° 1-1 Ubicación de la Zona de Estudio.....	3
Fig. N° 2-1 Tipos de sensores .....	10
Fig. N° 2-2 Firma Espectral Para distintos tipos de Cobertura .....	14
Fig. N° 2-3 Factores de reflectividad de las hojas verdes .....	15
Fig. N° 2-4 Elementos de la teledetección .....	17
Fig. N° 2-5 Espectro Electromagnético.....	18
Fig. N° 3-1 Imagen de la zona de estudio con la corrección radiométrica realizada. .	27
Fig. N° 3-2 Imagen de la zona de estudio con la corrección atmosférica realizada...	28
Fig. N° 4-1 Ubicación relativa del Escudo Guayano-Brasileño .....	35
Fig. N° 4-2 Ubicación relativa de las provincias petrotectónicas del estado bolívar ..	40
Fig. N° 4-3 Ubicación Relativa de la Provincia de Imataca.....	41
Fig. N° 4-4 Fajas Tectónicas de la Provincia de Imataca.....	42
Fig. N° 4-5 Ubicación Relativa de la Provincia Pastora .....	43
Fig. N° 4-6 Ubicación relativa de La Provincia de Cuchivero.....	44
Fig. N° 4-7 Ubicación relativa de la Provincia de Roraima .....	46
Fig. N° 4-8 Ubicación relativa de las provincias petrotectónicas del estado Amazonas .....	48
Fig. N° 4-9 Ubicación Relativa de la Subprovincia Petrotectónica de Ayacucho .....	49
Fig. N° 4-10 Ubicación relativa de la Subprovincia Petrotectónica de Manapiare.....	51
Fig. N° 4-11 Ubicación Relativa de la Subprovincia Petrotectónica del Casiquiare ..	52
Fig. N° 4-12 Ubicación relativa de la Subprovincia Petrotectónica del Alto Orinoco	55
Fig. N° 4-13 Ubicación Relativa de la Subprovincia Petrotectónica del Siapa.....	58

Fig. N° 5-1 Mapa de Isoyetas del Estado Amazonas, en el recuadro negro se muestra un detalle de la zona de estudio. (Tomado y Modificado de MINAMB 2003) .....	63
Fig. N° 5-2 Mapa de Relieve del Estado Amazonas, en el recuadro negro se muestra en detalle la zona de estudio. (Tomado y Modificado de MINAMB 2003) .....	68
Fig. N° 5-3 Mapa de Suelos del Estado Amazonas, en el recuadro negro se muestra en detalle la zona de estudio. (Tomado y Modificado de MINAMB 2003).....	72
Fig. N° 5-4 Mapa de Vegetación del Estado Amazonas, en el recuadro negro se muestra en detalle la zona de estudio. (Tomado y Modificado de MINABM 2003)..	76
Fig. N° 6-1 Imagen Landsat P004R056 con la combinación de bandas RGB 432 de la zona de estudio.....	78
Fig. N° 6-2 Modelo de elevación (TIM) de la zona de estudio, en tonos ocre se observan las zonas comprendidas entre 0 - 80 m, en marrón las comprendidas entre 80 - 120 m y en vino las comprendidas entre 120 – 720 m. ....	78
Fig. N° 6-3 Imagen con la combinación de bandas RGB (b5/b4) (b5/b7) (b3/b1) donde se delimita la Unidad de Mesetas en rojo.....	79
Fig. N° 6-4 Imagen con la combinación de bandas RGB (b5/b4) (b5/b7) (b3/b1) donde se delimita la Unidad de Mesetas en negro y la Subunidad de Montañas con topes amesetados en rojo.....	80
Fig. N° 6-5 En la figura se observa el modelo de elevación perteneciente a la serranía El Espejo. En el perfil A-A´ se resaltan los niveles escalonados que caracterizan la serranía. ....	80
Fig. N° 6-6 Imagen P004R056 con la combinación de bandas 421, a la derecha se muestra la imagen en limpio, y a la izquierda se resaltan los lineamientos observados .....	81
Fig. N° 6-7 En la figura se observa el modelo de elevación perteneciente a la Serranía Batata. En el perfil B-B´ se resaltan los niveles escalonados que caracterizan la serranía. ....	82
Fig. N° 6-8 Imagen con la combinación de bandas RGB (b5/b4) (b5/b7) (b3/b1) donde se delimita la Subunidad de Colinas en negro.....	84

Fig. N° 6-9 Imagen P004R056 con la combinación de bandas 421, a la derecha se muestra la imagen en limpio, y a la izquierda se resaltan los lineamientos observados. ....	84
Fig. N° 6-10 Imagen P004R056 con la combinación de bandas 421, arriba se muestra la imagen en limpio, y abajo se resaltan los lineamientos observados. ....	85
Fig. N° 6-11 En la figura se resalta el patrón angular de los ríos pertenecientes a la Unidad de Mesetas. ....	86
Fig. N° 6-12 Modelo de elevación de la Unidad de Llanuras en color marrón, en color vino se resaltan los <i>inselbergs</i> de la zona de estudio. ....	87
Fig. N° 6-13 Imagen P004R056 donde se resaltan en color rojo los ríos principales de la zona de estudio, esta coloración se debe a la combinación de bandas RGB 264....	88
Fig. N° 6-14 En la Figura se resalta el patrón dendrítico de los drenajes secundarios de la unidad de llanuras, puede observarse la geometría meandrica del río Cataniapo y del río Gavilán.....	89
Fig. N° 6-15 Imagen Landsat P004R056 con la combinación de bandas 264 donde se resalta en color rojo el río Orinoco, la línea negra representa el límite de la unidad de llanura aluvial.....	90
Fig. N° 6-16 Modelo de elevación (TIN) donde se destacan los distintos niveles de erosión existentes en el área de estudio.....	91
Fig. N° 7-1 Imagen P004R056 producto del MNF con la combinación de bandas 457 donde se resaltan las formas de relieve más elevadas de la zona de estudio. ....	94
Fig. N° 7-2 Imagen Producto del MNF con la combinación de bandas 754 en la cual se resaltan los sedimentos localizado al margen del Río Orinoco tonos naranjas y amarillos y las roca desnuda en tonos verdes. ....	95
Fig. N° 7-3 Respuesta espectral de la hematita en la zona de estudio, a la derecha se observa la imagen con la combinación de bandas 43SAM y a la izquierda la respuesta espectral de la hematita .....	96
Fig. N° 7-4 Imagen resultado de la clasificación no supervisada, en ella se observan acumulaciones de tonalidades rosa, verdes, azules y crema, los cuales representan a los distintos tipos de suelos presentes en la zona. ....	97

Fig. N° 7-5 Imagen resultado de la clasificación supervisada de la imagen, en la imagen se puede observar en tonos verdes los Ultisoles, en tonos rojos los Entisoles, en marrones los Oxisoles, y en ocre los Sedimentos Aluviales. ....	98
Fig. N° 7-6 Acercamiento de la serranía Batata, donde se evidencia la relación entre la topografía y la ubicación de los suelos. ....	99
Fig. N° 7-7 Acercamiento del grupo de Entisoles en tonalidades rojas. ....	100
Fig. N° 7-8 Acercamiento del grupo de Oxisoles (marrón). La zona representa el valle de inundación del Río Cataniapo donde convergen un gran número de tributarios. ....	101
Fig. N° 7-9 Acercamiento de la zona donde predominan estos suelos, estos se muestran en color ocre, también puede observarse zonas donde se desarrollan otros de los suelos descritos anteriormente, esto corresponden a lomas encontradas en la zona. ....	102
Fig. N° 8-1 Esquema de la evolución del Escudo según Galán Herrera y Carrero (Tomado de Bol. Soc. Venezolana Espel. 2004) .....	107

## **CAPITULO I**

### **1. INTRODUCCION**

#### **1.1. GENERALIDADES**

El uso de sensores remotos en el área de investigación científica es un hecho que se ha venido incrementando desde hace casi 50 años, desde la segunda guerra mundial hasta la actualidad los sensores remotos han servido como herramienta de reconocimiento, clasificación y estudio de objetos, zonas geográficas o personas que debido a múltiples razones no es posible tener un contacto directo con ellos. El uso de esta herramienta garantiza la obtención de información confiable acerca de los objetos de estudio lo que permite establecer la estrategia a utilizar para el aprovechamiento de recursos, zonas de acceso, o en caso de investigación bélica la ubicación de posibles zonas de ataque o de acumulación de armamento que pueden poner en peligro vidas humanas.

Para los fines de este Trabajo Especial de Grado el objetivo fundamental es la interpretación geológica de una zona ubicada al sur de la ciudad de Puerto Ayacucho estado Amazonas, la cual por su características topográficas resulta difícil el acceso por las vialidades existentes, además no se cuenta con el financiamiento apropiado para realizar los estudios de campo requeridos.

La estructura de este Trabajo Especial de Grado reúne los requerimientos generalmente aceptados para la realización de este tipo de investigación, en los primeros capítulos se hará énfasis en la herramienta que se está utilizando, los sensores remotos, en estos capítulos se describirá como fue la evolución científica de los mismos, cuáles han sido sus usos más recientes y cuál es el uso y procedimiento utilizado para llevar a cabo los objetivos planteados, seguidamente se establecerá una visión general de la zona de estudio, según los diversos autores que han escrito sobre

la misma, enfatizando en los rasgos climáticos, hidrológicos, pedológicos etc., así como también se describirá la evolución histórica general de la zona. Los últimos capítulos se refieren a los resultados obtenidos de la investigación y la concordancia de estos con los resultados obtenidos en investigaciones previas que fueron consultadas.

## **1.2. OBJETIVO GENERAL**

Interpretación geológica y geomorfológica mediante el uso de sensores remotos e integración de los resultados obtenidos con los reportados en la bibliografía, de una zona ubicada al norte de estado Amazonas.

## **1.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Interpretar geológica y geomorfológicamente mediante el estudio de imágenes satelitales *Landsat 7 ETM+*, a través de las diferentes combinaciones y cocientes de bandas de las imágenes *Landsat 7 ETM+*
- Realizar la clasificación supervisada y no supervisada de las características geológicas y topológicas de las imágenes
- Determinar lineaciones y estructuras mediante la interpretación de las imágenes satelitales *Landsat 7 ETM+*.
- Interpretar mineralógicamente las imágenes satelitales *Landsat 7 ETM+* a través de las Firmas Espectrales.
- Verificar los resultados obtenidos en el proceso de interpretación de las imágenes satelitales *Landsat 7 ETM+* con respecto a la recopilación bibliográfica y al estudio de mapas geológicos 1:100000 así como también los ortofotomapas de la zona a escala 1:50000.
- Generar un mapa geológico a escala 1:100000 de la zona con base en los resultados obtenidos y correlacionarlos con los mapas geológicos existentes de la zona de estudio mediante la aplicación del *software* ArcGIS 9.1 y Erdas 8.6.

#### 1.4. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada al norte del estado Amazonas entre las coordenadas longitud  $67^{\circ}15'00''\text{O}$  -  $67^{\circ}45'00''\text{O}$  y Latitud  $5^{\circ}20'00''\text{N}$  -  $5^{\circ}40'00''\text{N}$ , las cuales comprenden los mapas 6632 - Cataniapo y 6732 - Gavilán a escala 1:100000 del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (Ver Fig. 1-1), entre el río Orinoco y la Serranía Batata.

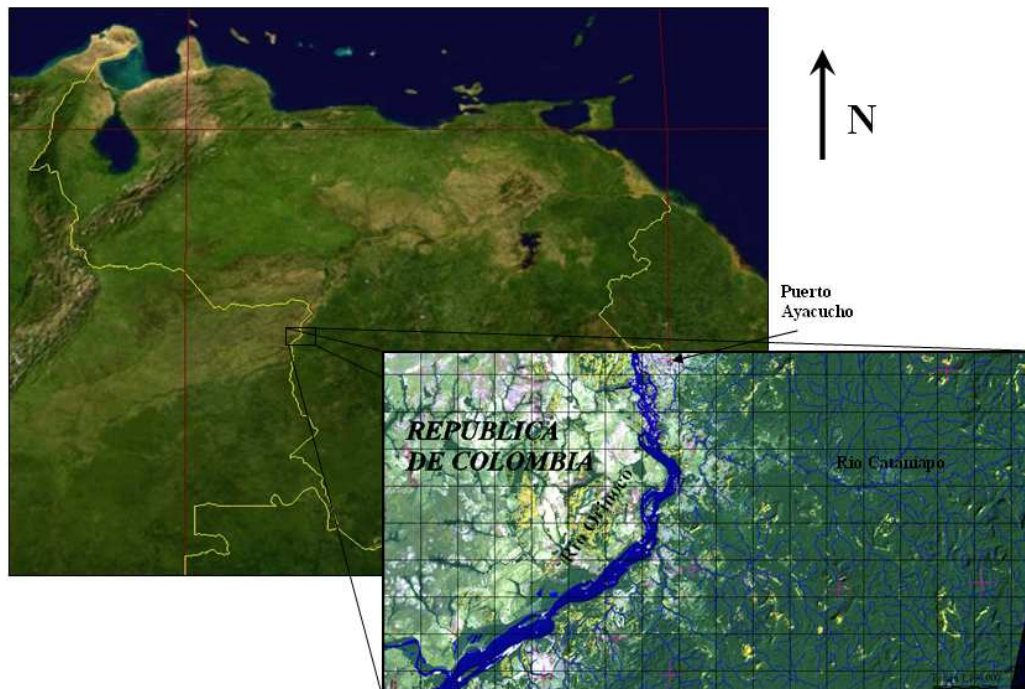


Fig. N° 1-1 Ubicación de la Zona de Estudio  
(Tomado y Modificado de Google Earth 2009)

#### 1.5. METODOLOGIA

La metodología desarrollada en este Trabajo Especial de Grado consistió primeramente en una revisión bibliográfica y cartográfica, ésta, proporcionara información base para la realización de las etapas posteriores, la segunda etapa consiste en el procesamiento, análisis e interpretación de las imágenes satelitales que abarcan la zona de estudio, la última etapa consiste en la integración y comparación

de los resultados obtenidos debido al estudio de las imágenes satelitales y la información bibliográfica existente de la zona de estudio.

### **1.5.1. Etapa de recopilación bibliográfica**

Consiste en la búsqueda, revisión y recopilación bibliográfica de textos, tesis de grado, artículos científicos, trabajos previos, material cartográfico tales como, mapas topográficos y estructurales, imágenes satelitales *Landsat 7 ETM+* referentes a la zona de estudio; esto con la finalidad de obtener información sobre las características estructurales y estratigráficas regionales de la zona.

### **1.5.2. Etapa de interpretación y análisis.**

En el desarrollo de esta etapa se generara el procesamiento, análisis e interpretación de las imágenes satelitales correspondientes al área de estudio, para esto es necesario la calibración de las mismas, esta calibración consiste en 3 tipos de correcciones: atmosférica, radiométrica y geométrica, la cuales se realizan mediante la aplicación de “SoftOare” ENVI. En el capítulo 3 se realizara una descripción más detallada estas correcciones.

Luego de ejecutar la corrección de las imágenes se efectuara la interpretación geológica, la cual se realiza en formato digital, mediante el uso de los softOars ArcGIS y Erdas, gracias a estos programas es posible digitalizar las trazas de las capas, los contactos litológicos, las discordancias, estructuras de deformación y los drenajes, observados en el área de estudio.

Al finalizar esta etapa será posible obtener un modelo digital de elevación, facilitando la interpretación geométrica y disposición de los estratos en el espacio, con lo cual se podrá condesar toda la información obtenida por medio de las imágenes en un mapa geológico digital.

### **1.5.3. Etapa de integración y comparación de información.**

En esta etapa se integraran los datos bibliográficos con los resultados de la interpretación de imágenes satelitales e información cartográfica, mediante un análisis comparativo, con el objetivo de confirmar y/o complementar la información geológica existente, cumpliéndose así con el objetivo general estipulado para la realización de este Trabajo Especial de Grado.

## **1.6. MARCO REFERENCIAL**

**Mc Candless (1966)** detalla las características geológicas principales entre el río Orinoco y el paralelo 6° en donde describe por primera vez la unidad desde entonces denominada Granito de Parguaza, que es la que aflora en el área de estudio. La define como una masa granítica intrusiva de carácter biotítico, homogéneo, de grano grueso, con textura porfidítica marcada y peculiar, que aflora desde el río Suapure en dirección sur-oeste hacía las zonas de Puerto Ayacucho, margen izquierda del río Orinoco en Colombia y parte nor-oeste del Territorio Federal Amazonas (ahora Estado Amazonas), ubicándose sus mejores afloramientos en el raudal de Maracas en río Parguaza y en los Domos de Pijiguo, distrito Cedeño, estado Bolívar.

**Rios (1969)** estudió el área de Caicara y describe rocas de la Provincia Geológica de Cuchivero.

**Martín (1972)** realizó la interpretación paleotectónica del Escudo de Guayana en base a la inter-relación de parámetros petrológicos, geoquímicos, estructurales, metamórficos, geocronológicos y paleomagnéticos; analiza las diversas removilizaciones graníticas y eventos termales.

**Mendoza (1972)** define el granito de Pijiguo, como un granito leucocrático de color rosado salmón, grano fino, equigranular, macizo, de aspecto subvolcánico, expuesto en la base del Domo de Pijiguo. Su textura es poiquilítica de aspecto moteado recristalizada, superimpuesta a una textura hipidiomórfica granular.

**Pascuali y Otros (1972)** realizaron, por primera vez, el estudio sobre la meteorización en ambiente tropical de rocas graníticas, riocitas y anfibolitas del Granito de Paragua, estado Bolívar. El propósito del estudio fue determinar la distribución de los elementos principales de la roca fresca hasta la superficie cuando el granito meteoriza, y establecer un modelo mediante el cual pudiera explicarse la meteorización del granito en los ambientes de selva y sabana.

**Talukdar y Colvée (1973)** señalan la posible presencia del “Complejo de Imataca” y del “Supergrupo Pastora” como basamento previo a la gran orogénesis durante la cual se desarrolló el Grupo Cuchivero. Esa orogenia del tipo andino se extendió según esos autores entre los 1400 y los 1600ma, en base a determinaciones radimétricas por los métodos k-Ar y Rb-Sr en roca total

**Szczerban (1974)** estudió la geología y petrología de la región de Puerto Ayacucho, Territorio Federal Amazonas (Ahora estado Amazonas). Centró su atención en las rocas ígneas que afloran en el área, ya que los otros tipos de rocas presentes están constituidas por aluviones y suelos, estos residuales originados a partir de las rocas ígneas ácidas.

**Talukdar y Colvée (1975)** reagruparon rocas volcánicas, granitos y rocas intermedias, tectonizadas y no tectonizadas como “Grupo Cuchivero” (1400-1900 M.a).

**Mendoza (1972, 1973,1975)** introdujo el concepto de Supergrupo Cedeño para dos grandes grupos de rocas graníticas, aflorantes en el área del río Suapure.

**González, Rivera y Aparicio (1976)**, realizaron un estudio geoeconómico preliminar para la prospección de minerales de estaño en el área de Aguamena, donde por métodos básicos de recolección sistemática de sedimentos, suelos y rocas lograron determinar que las posibles fuentes generadoras de las manifestaciones del mineral, son rocas pegmatíticas, las cuales ocurren en el área en forma de vetas, diques que intrusionan las rocas graníticas de la unidad Rapakivi del Parguaza.

**Mendoza (1977)** realizó una excursión geológica al Territorio Federal Amazonas (ahora Estado Amazonas), con el objetivo de mostrar el frente tectónico, o probable sutura que está localizada entre San Fernando de Atabapo y Santa Bárbara (Río Orinoco).

**Mendoza (1977)** publica el trabajo “Evolución Tectónica del Escudo de Guayana” donde define las provincias geoestructurales de Bolívar, Ezequibo, Amazonas y Canaima con carácter más regional que las anteriores divisiones y reconoce también cuatro de los cinco ciclos tectotermiales (orogénesis) del precámbrico reconocidos a nivel mundial: a. Guriense (3600-2700 ma); b. Guayanense (2600- 2100 ma); c. Transamazónica (2000 – 1700 ma) y d. Orinoquense (1200 – 800 ma).

**Pasquali (1977)**, formo parte de un grupo de 20 profesionales, los cuales bajo la tutela del ministerio de energía y minas, actualmente ministerio de industrias básicas y del consejo nacional para el desarrollo de la industria nuclear, emprendieron un plan de exploración intensiva de uranio en Venezuela para cuantificar el potencial existente, y así tener datos que faciliten la toma de decisiones en cuanto al desarrollo de la industria nucleoelectrica nacional.

**Audemard (1977)**, presento ante el quinto Congreso Geológico un estudio donde se establecen las perspectivas geológicas favorables para mineralizaciones de uranio en la región norte de la Guayana Venezolana, según sus estudios tales mineralizaciones estarían contenidas en una faja de rocas sedimentarias de la cuenca oriental, discordante sobre las rocas precámbricas del escudo.

**Escalona (1977)**, realizo un informe donde se presentan las evidencias geológicas que sugieren que las formaciones Barranquín, Canoa, Morichito, Las Piedras, Río Salado, Mesa, La Pascua y Chaguaramos, como probables portadoras de depósitos de uranio y se sugieren los pasos para tomar en la exploración sistemáticas de los probables depósitos contenidos en estas unidades litológicas.

**González de Juana *et al.* (1980)**, presentan un resumen de la geología de Venezuela, a través de una intensa recopilación de publicaciones y trabajos de grado, donde se presentan descripciones e interpretaciones que abarcan aspectos de la estratigrafía, sedimentología y aspectos estructurales de todo el territorio nacional.

**Frass (1987)**, realizo estudios en base a 23 muestras en época de sequia de los sedimentos finos de fondo y los sólidos suspendidos del Río Orinoco, Ríos Paragua y Asa, demostrando que existían concentraciones de elementos como: Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al, Zn, Cu, Ni, donde debido a correlaciones estadísticas concluyo que estos minerales están asociados a una fase de transporte común.

**Silva (1998)**, realizo un estudio petrográfico y mineralógico de las rocas del cerro Guaiquimina, basando sus resultados en estudios de difracción de rayos x, estudios de minerales pesados y estudios de imágenes de radar por medio de estos determino tres unidades bien diferenciadas, una ígnea plutónica, una sedimentaria y un grupo de dique y gabros metamorfizados en fase de esquistos verdes.

**Chalbaud (2000)** hizo estimaciones del espesor cortical del Escudo de Guayana mediante dos modelos bidimensionales de la corteza. El primero en dirección E-O paralelo al río Orinoco, se extiende 600 Km desde el Callao hasta Caicara; el segundo presenta dirección N-S, cubre la región sur de la Cuenca Oriental de Venezuela y el sur del poblado de Ciudad Piar.

**Carrero (2004)**; realizo una clasificación mineralógica del cerro Bolívar y del cuadrilátero San Isidro a través del análisis multiespectral utilizando imágenes de satélite Landsat 7 ETM+, enfatizando en la diferenciación de suelos ricos en minerales ferrosos, minerales arcillosos y óxidos de hierro.

**Mendoza (2005)**, presenta un resumen actualizado de la geología de Venezuela, mediante una recopilación de publicaciones y trabajos de grado actualizados, incluyendo los recursos minerales de las provincias geológicas y relacionándolos con la evolución geotectónica de cada provincia a lo largo de todo el territorio nacional.

**C.V.G TECNICA MINERA C.A (s/f)**, realizó un mapa en base a la interpretación geológica de las hojas NB-19-11 (Puerto Ayacucho) y NB-19-12 (Río Parguaza) a escala 1: 250.000. (Ver Fig 1-4)

**MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS (s/f)**. Realizó el Mapa de las interpretaciones radimétricas y magnéticas de la Región Noroccidental del Territorio Federal Amazonas (hoy estado Amazonas), a Escala 1:100.000. Por Miguel Randulfe.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Teledetección

La teledetección es la técnica que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material, en nuestro caso se trata de objetos situados sobre la superficie terrestre. Para que esta observación sea posible es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre los objetos y el sensor. En este caso la interacción va a ser un flujo de radiación que parte de los objetos y se dirige hacia el sensor. Este flujo puede ser, en cuanto a su origen, de tres tipos:

- Radiación solar reflejada por los objetos (luz visible e infrarrojo reflejado)
- Radiación terrestre emitida por los objetos (infrarrojo térmico)
- Radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar)

Las técnicas basadas en los dos primeros tipos se conocen como teledetección pasiva y la última como teledetección activa (ver Fig. 2-1).

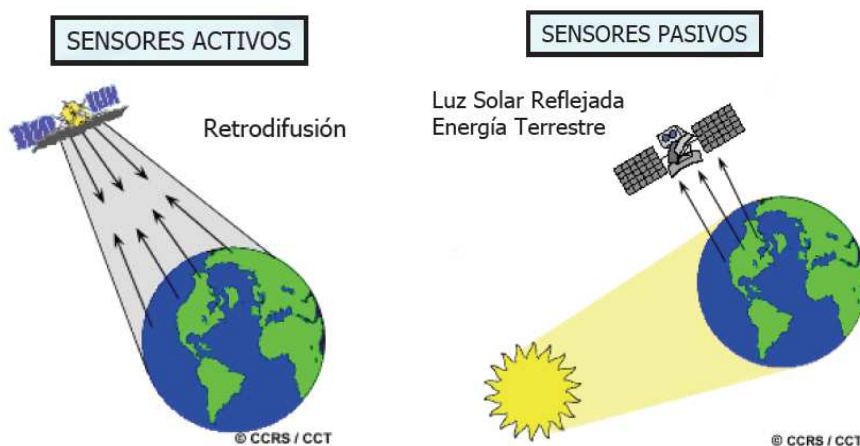


Fig. N° 2-1 Tipos de sensores  
(Tomado y Modificado de Goyo 2008)

## **2.2. Naturaleza de la radiación**

La radiación electromagnética es una forma de energía que se propaga mediante ondas que se desplazan por el espacio a la velocidad de la luz (300000 Km/s) transportando cantidades discretas de energía (cuantos).

Estas ondas se caracterizan por tener longitudes muy diferentes, desde los rayos X y gamma con longitudes de onda menores de 100 Amstrongs hasta las ondas de televisión y radio con longitudes mayores de un metro. El conjunto de todas las longitudes de onda se denomina espectro electromagnético. Dentro del espectro electromagnético se distinguen una serie de regiones en función de la longitud de onda. Las regiones más utilizadas por las diferentes técnicas de teledetección son:

- Luz visible
- Infrarrojo reflejado
- Infrarrojo térmico
- Radar

Cualquier objeto en la naturaleza emite radiación y lo hace con diferentes longitudes de onda. Tanto la cantidad de energía que emite un cuerpo por radiación como la distribución de esta energía en diferentes longitudes de onda dependen fundamentalmente de la temperatura de dicho cuerpo.

## **2.3. Interacciones entre la radiación y los objetos**

Todos los objetos, independientemente de la radiación que emitan, van a recibir radiación emitida por otros cuerpos, fundamentalmente del sol, que, en función del tipo de objeto que estemos considerando, puede seguir tres caminos:

Reflejarse: la radiación es reenviada de vuelta al espacio

Absorberse: la radiación pasa a incrementar la energía del objeto

Transmitirse: la radiación se transmite hacia abajo a otros objetos.

La fracción de energía que se refleja se denomina reflectividad o albedo ( $\rho$ ); la fracción de energía que se absorbe se denomina absorptividad ( $\alpha$ ); la fracción de energía que se transmite se denomina transmisividad ( $\tau$ )

$$\text{Se cumple que } \rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2-1)$$

La interacción de la radiación con la atmósfera y con los objetos terrestres, es decir los valores de  $\rho$ ,  $\alpha$  y  $\tau$  de un cuerpo concreto, va a depender de la longitud de onda de que se trate y de las características de ese cuerpo. Unas primeras líneas generales acerca del comportamiento de diferentes objetos respecto a su interacción con la radiación serían:

Atmósfera despejada:

- $\rho \rightarrow$  muy baja para todas las longitudes de onda
- $\alpha \rightarrow$  depende de la longitud de onda
- $\tau \rightarrow$  depende de la longitud de onda

Nubes:

- $\rho \rightarrow$  muy alta en el visible
- $\alpha \rightarrow$  depende de la longitud de onda
- $\tau \rightarrow$  depende de la longitud de onda

Agua:

- $\rho \rightarrow$  muy baja en todas las longitudes de onda
- $\alpha \rightarrow$  depende de la longitud de onda
- $\tau \rightarrow$  depende de la longitud de onda

Superficie terrestre:

- $\rho$  y  $\alpha \rightarrow$  muy variable
- $\tau \rightarrow$  nulo

## **2.4. Interacción de los Elementos de la Superficie Terrestre con la Radiación**

De cara a la identificación de objetos y procesos en la superficie terrestre, lo que interesa es la reflectividad de estos objetos respecto a las diferentes longitudes de onda. Cada tipo de material, suelo, vegetación, agua, etc. reflejará la radiación incidente de forma diferente lo que permitirá distinguirlo de los demás si se mide la radiación reflejada. A partir de mediciones de laboratorio se ha obtenido la reflectividad para las distintas cubiertas en diferentes longitudes de onda. El gráfico que, para cada longitud de onda, nos da la reflectividad en tanto por ciento se conoce como *firma espectral* y constituye una marca de identidad de los objetos. Resulta así fácil por ejemplo distinguir entre suelo y vegetación, e incluso entre diferentes tipos de suelo o diferentes tipos de vegetación.

### **2.4.1. Firma Espectral**

El sol es el emisor de radiación más usual para imágenes de teledetección, este emite la radiación que incide inicialmente con la atmósfera. Los gases presentes en dicha atmosfera, como el resto de la materia presente en el universo, interactúan con la radiación, absorbiéndola, reflejándola y/o transmitiéndola.

Una vez que la radiación solar ha traspasado la atmósfera interacciona con la superficie terrestre, encontrándose con todo tipo de materiales diferentes, agua dulce, salada, tierra desnuda, nieve, zonas de vegetación densa, zonas de vegetación arbustiva, ciudades, etc. Cada tipo de superficie interacciona con la radiación de manera diferente, absorbiendo unas longitudes de onda muy concretas y reflejando otras diferentes en unas proporciones determinadas. Esta característica hace posible que se puedan identificar los distintos objetos: suelo, vegetación, aguas, etc.

Experimentos realizados en laboratorio han podido caracterizar el comportamiento de estas distintas superficies al recibir radiación y caracterizando los porcentajes de reflexión, absorción y transmisión. A este comportamiento concreto de cada objeto es

a lo que se llama firma o signatura espectral del mismo (ver Fig. N° 2-2). (CARRERO e INFANTE, 2004).

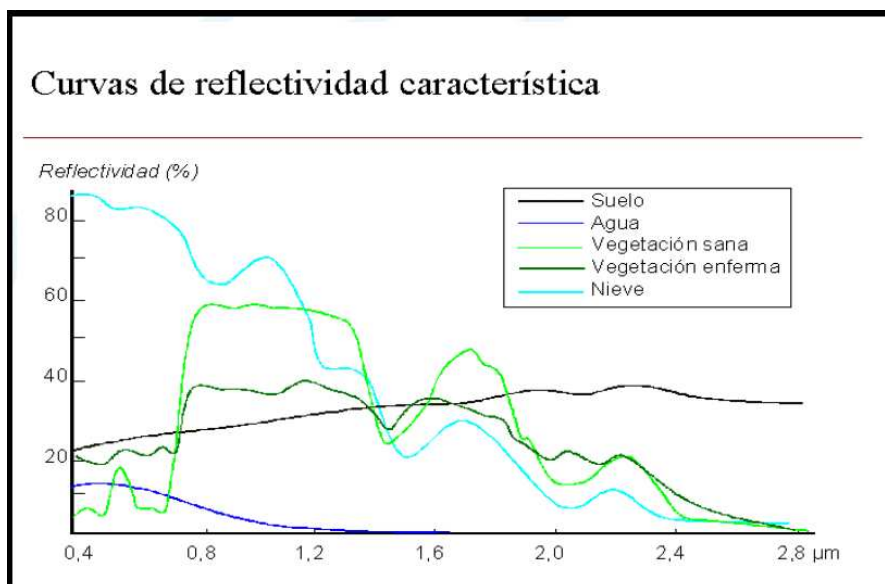
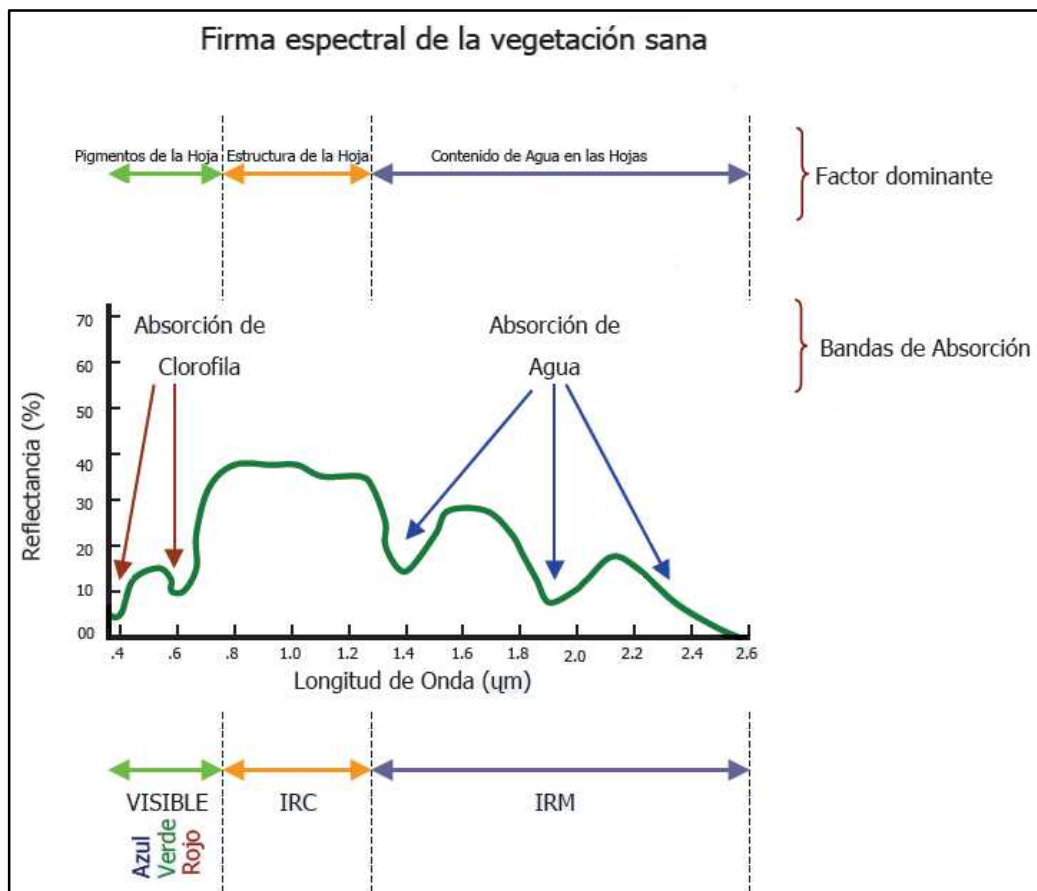


Fig. N° 2-2 Firma Espectral Para distintos tipos de Cobertura (Tomado de fanpaulieb.blogspot.com)

Una vez conocida la firma espectral de la cubierta que se necesita estudiar, se clasifica los píxeles correspondientes a dicha cubierta. Por ejemplo, la vegetación tiene una firma espectral caracterizada por un pico de reflexión en infrarrojo cercano, lo que permite diferenciarla de otras cubiertas que en el rango visible tengan una respuesta espectral semejante. Dentro de la firma espectral, dependiendo de las longitudes de onda analizadas, es posible el análisis particularizado de características de la cubierta bajo estudio.

En el siguiente diagrama, Fig. N° 2-3, se observa como aspectos como la pigmentación, contenido en agua, etc., influyen sobre la firma espectral de la vegetación.



**Fig. N° 2-3 Factores de reflectividad de las hojas verdes (Tomado de scielo.org.co)**

Se debe tener presente que las diferentes cubiertas no presentan un comportamiento único y permanente que coincida con las curvas de reflectividad espectral y que permitan reconocerlas sin confusión frente a otras superficies.

Cada cubierta puede variar debido a factores como el ángulo de iluminación solar, relieve, influencias atmosféricas, ángulo de observación entre otros, es por ello que comprender y determinar la firma espectral es esencial si necesitamos diseñar instrumentos que puedan detectar los rasgos que se desee.

## 2.5. Elementos de un Proceso de Teledetección

El proceso de teledetección involucra una interacción entre la radiación incidente y los objetos de interés. Un ejemplo de este proceso, con el uso de sistemas de captura de imágenes puede verse en la figura N° 2-4. Nótese, sin embargo, que la teledetección también involucra la percepción de energía emitida y el uso de sensores que no producen imágenes.

**Fuente de energía o iluminación (A):** El primer requerimiento en teledetección es disponer de una fuente de energía que ilumine o provea energía electromagnética al objeto de interés.

**Radiación y la atmósfera (B):** Ya que la energía “viaja” desde la fuente al objeto, entrará en contacto e interaccionará con la atmósfera. Esta interacción tiene lugar una segunda vez cuando la energía “viaja” desde el objeto al sensor.

**Interacción con el objeto (C):** La energía interactúa con el objeto dependiendo de las propiedades de este y de la radiación incidente.

**Detección de energía por el sensor (D):** Necesitamos un sensor remoto que recoja y grabe la radiación electromagnética reflejada o emitida por el objeto y la atmósfera.

**Transmisión, recepción y procesamiento (E):** La energía grabada por el sensor debe ser transmitida, normalmente en forma electrónica, a una estación de recepción y procesamiento donde los datos son convertidos a imágenes digitales.

**Interpretación y análisis (F):** La imagen procesada se interpreta, visualmente y/o digitalmente, para extraer información acerca del objeto que fue iluminado (o que emitió radiación).

**Aplicación (G):** El paso final en el proceso de teledetección se alcanza en el momento en que aplicamos la información extraída de las imágenes del objeto para

un mejor conocimiento del mismo, revelando nuevas informaciones o ayudándonos a resolver un problema particular.

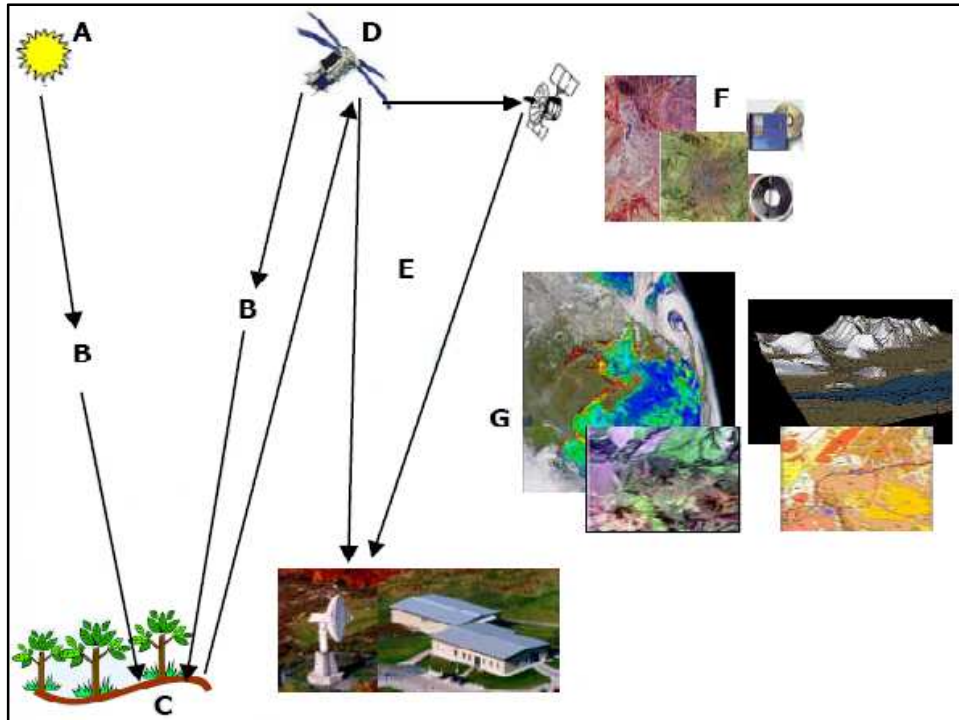


Fig. N° 2-4 Elementos de la teledetección  
(Tomado y Modificado de Goyo, 2008)

## 2.6. Espectro Electromagnético

Es la radiación electromagnética que emite o absorbe una sustancia, en el caso de emisión se denomina Espectro de Emisión y para el caso de la absorción Espectro de Absorción. La radiación emitida sirve para identificar la sustancia de manera similar a una huella dactilar. Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que, además de permitir observar el espectro, permiten realizar medidas sobre éste, como la longitud de onda o la frecuencia de la radiación.

Está comprobado que la energía electromagnética puede ser visible al ojo humano, ya que esta no solo se presenta en forma de ondas de radio, calor, microondas, rayos ultravioleta, rayos gamma y rayos X, sino también en un **Espectro visible entre** (0,4 -0,7  $\mu\text{m}$ ) que además es la única radiación electromagnética percibida por el ojo

humano, como coincide con las longitudes de onda donde la radiación solar es máxima se distinguen tres bandas elementales que son los colores azul (0,4 a 0,5  $\mu\text{m}$ ), Verde (0,5 a 0,6 $\mu\text{m}$ ) y rojo (0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ ). Véase en la Figura 2-5

Hay otras series de bandas espectrales que se usan en la teledetección como:

**Infrarrojo próximo** (0,7 -1,3  $\mu\text{m}$ ) también conocido como infrarrojo reflejado o fotográfico, es de gran utilidad para la discriminación de masas vegetales y concentraciones de humedad.

**Infrarrojo medio** (1,3 -8  $\mu\text{m}$ ) en esta banda espectral se mezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre.

**Infrarrojo lejano o térmico** (8 – 14  $\mu\text{m}$ ), esta incluye la emisión del espectro terrestre.

**Micro-ondas** (a partir de 1 mm), su interés radica en que es un tipo de energía que resulta transparente a la cubierta nubosa. (CARRERO e INFANTE, 2004)

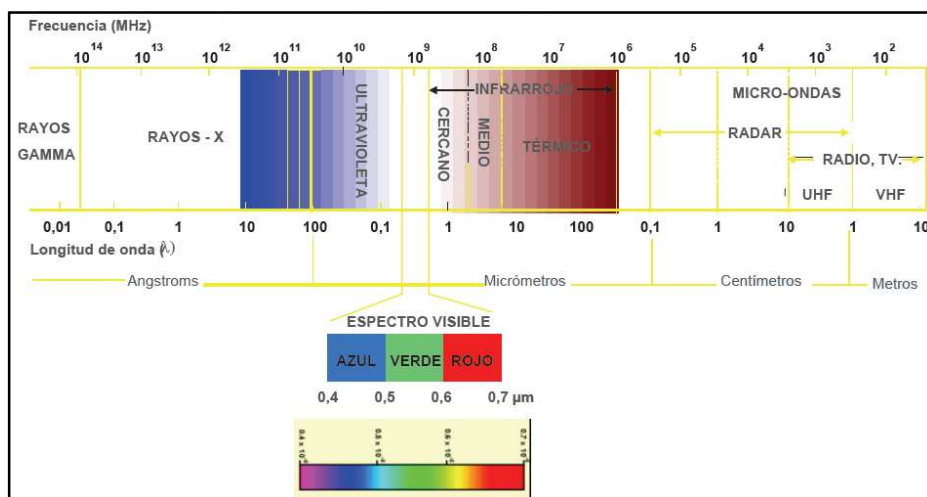


Fig. N° 2-5 Espectro Electromagnético (Tomado y Modificado de Goyo, 2008)

## 2.7. Dominio Óptico del Espectro

Se denomina así al grupo de longitudes de ondas que son dependientes de la energía solar, además se han incluido en estas las correspondientes al infrarrojo medio, ya que mantienen una fuerte relación con dicha fuente de energía.

Según la ley de Wien, la máxima emitancia espectral de la energía solar debido a su temperatura radiante próxima de 6000 °K es de 0,48 μm, y este coincide con el color verde que puede percibir el ojo humano.

Es importante entender como la energía solar interacciona con la superficie terrestre, la radiación que esta emite se descompone en tres términos que son los siguientes:

$$\text{Ecuación: } \quad \Phi_i = \Phi_r + \Phi_a + \Phi_t \quad (2-2)$$

$\Phi_i$ = Energía incidente.

$\Phi_r$ = Energía reflejada.

$\Phi_t$ = Energía transmitida.

$\Phi_a$ = Energía absorbida.

Se dice que en una superficie es reflejado, transmitido o absorbido el flujo incidente en ella, de esta forma se puede expresar la siguiente formula en unidades relativas, donde todos los términos son divididos entre el término  $\Phi_i$ .

$$\Phi_i / \Phi_i = \Phi_r / \Phi_i + \Phi_a / \Phi_i + \Phi_t / \Phi_i \quad (2-3)$$

o lo que es lo mismo expresarla de la siguiente manera:

$$1 = \rho + \alpha + T \quad (2-4)$$

En conclusión la sumatoria de la reflectividad, absorptividad y transmisividad debe ser igual a uno y las relaciones entre las tres van a depender directamente de las características que presente la superficie que se observa, por lo tanto esa proporción varía en las distintas bandas del espectro.

En el caso del espectro visible, ese comportamiento disimilar de los objetos a distintas longitudes de onda se manifiesta en lo que se denomina color: un objeto es azul si refleja intensamente la energía en esa banda del espectro y poco en el resto (dicho de otro modo, si absorbe o transmite poca energía incidente en esa banda), mientras será verde si su reflectividad se centra en esa banda y es baja en otras.

A partir de medidas de laboratorio, se han obtenido unas curvas de reflectividad espectral para las principales cubiertas terrestres, como puede observarse, algunas tienden a presentar una respuesta uniforme en distintas longitudes de onda, mientras otras ofrecen un comportamiento mucho más selectivo. La nieve presenta una reflectividad alta y constante, pues refleja la mayor parte de la energía incidente a distintas longitudes de onda.

Por el contrario, el agua absorbe la mayor parte de la energía que recibe, tanto mas según nos situamos en longitudes de ondas mayores. Por su parte, la vegetación presenta un comportamiento muy cromático, con bajos valores de reflectividad en el espectro visible y más elevado en el infrarrojo cercano.

## **2.8. Satélites Landsat**

Los *Landsat* son una serie de satélites construidos y puestos en órbita por Estados Unidos para la observación en alta resolución de la superficie terrestre.

Los *Landsat* orbitan alrededor de la Tierra en órbita circular heliosincrónica, a 705 km de altura, con una inclinación de 98,2° respecto del Ecuador y un período de 99 minutos. La órbita de los satélites está diseñada de tal modo que cada vez que éstos cruzan el Ecuador lo hacen de norte a sur entre las 10:00 y las 10:15 de la mañana hora local. Los *LandSat* están equipados con instrumentos específicos para la teledetección multiespectral.

El primer satélite *Landsat* (en principio denominado *ERTS-1*) fue lanzado el 23 de julio de 1972. El último de la serie es el *LandSat 7*, puesto en órbita en 1999, y es capaz de conseguir una resolución espacial de 15 metros.

Serie de satélites Landsat y año de su lanzamiento:

*Landsat 1*: 1972

*Landsat 2*: 1975

*Landsat 3*: 1978

*Landsat 4*: 1982

*Landsat 5*: 1985

*Landsat 6*: 1993. Lanzamiento fallido.

*Landsat 7*: 1999

En el año 2004 está plenamente operativo el *LandSat 7*. Los cuatro primeros satélites se encuentran fuera de servicio.

*Landsat 7* es el último de un grupo de satélites lanzados por Estados Unidos. Fue lanzado el 15 de abril de 1999. La meta fundamental del *Landsat 7* es de actualizar la base de datos de imágenes de todo el planeta. Aunque el programa *Landsat* es controlado por la NASA, las imágenes recibidas por el *Landsat 7* son procesadas por la Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés).

### **2.8.1. Especificaciones del Satélite**

*Landsat 7* fue diseñado para que su vida útil fuese de 5 años, y tiene la capacidad de recolectar y transmitir hasta 532 imágenes por día. Se encuentra en una órbita heliosincrónica, lo cual significa que siempre pasa a la misma hora por un determinado lugar. Tiene visión de toda la superficie terrestre en un tiempo de 15 días, realizando 232 órbitas. El peso del satélite es de 1973 Kilogramos, mide 4,04 metros de largo, y 2,74 metros en diámetro. A diferencia de sus antecesores, *Landsat 7* posee una sólida memoria de 378 gigabytes capaces de almacenar alrededor de 100 imágenes. El instrumento esencial a bordo del satélite es el *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+).

El *Landsat 7* es el satélite operacional mas reciente del programa *Landsat*, financiado por el gobierno de los Estados Unidos

El último satélite fue lanzado en abril de 1999 con un nuevo sensor denominado ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). Su operación es administrada por la

NASA (*National Space and Space Administration*) y la producción y comercialización de imágenes depende de la USGS (*United States Geological Survey*).

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

Las imágenes generadas por el *Landsat 7* adquiridas mediante el sensor ETM+ presentan una mejor relación costo-beneficio que los datos generados por satélites de resolución media ( 15 a 30 metros) actualmente ofrecidos en el mercado.

### **2.8.2. La Órbita del Landsat 7**

El *Landsat 7* puede adquirir imágenes en un área que se extiende desde los 81° de latitud norte hasta los 81° de latitud sur y obviamente, en todas las longitudes del globo terrestre. Una órbita del *Landsat 7* es realizada en aproximadamente 99 minutos, permitiendo al satélite dar 14 vueltas a la Tierra por día y cubrir la totalidad del planeta en 16 días. La órbita es descendente, o sea de norte a sur, el satélite cruza la línea del Ecuador entre las 10:00 y 10:15 (hora local) en cada pasaje. El *Landsat 7* está "heliosincronizado", o sea que siempre pasa a la misma hora por un determinado lugar.

Un factor importante es que el período de revolución del LANDSAT 7 es igual que el del *Landsat 5* (16 días), y una imagen cubre igual área (185 x 185 km por

escena). La conservación de estos parámetros técnicos facilita que el proceso de captura de imágenes se pueda realizar con la misma grilla de referencia (ORS2) lo que permite una perfecta integración entre el procesamiento de las imágenes del LANDSAT 7 con datos históricos del LANDSAT 5 existentes desde 1984. Esto es especialmente útil cuando es necesario utilizar los dos tipos de datos de un mismo lugar en forma simultánea por ejemplo para un estudio multitemporal.

Principales diferencias entre el Landsat 7 y el Landsat 5:

- Adición al Landsat 7 de una banda pancromática con resolución espacial de 15 m.
- Perfeccionamiento del sistema de calibración radiométrica de los sensores, lo que garantiza una precisión radiométrica absoluta de 5%.
- Perfeccionamiento de la geometría de captura, lo que brinda una mayor precisión en imágenes corregidas sólo a partir de datos de efemérides de satélite generadas por el GPS de abordo, muy próxima a la precisión obtenida con imágenes georeferenciadas con puntos de control cartográficos.

### **2.8.3. Formatos y Soportes Existentes**

Las imágenes Landsat 7 crudas o derivadas del proceso de fusión están disponibles en formato digital e impreso a requerimiento de los clientes. Cada imagen cubre 185 x 185 km (escena completa), pero también es posible fraccionarlas en cuadrantes (1/4 de escena, 90 x 90 km) o mini escenas de 50 x 50 km

## **CAPITULO 3**

### **3. PROCESAMIENTO DE LAS IMAGENES**

#### **3.1. GENERALIDADES**

Al momento de la captura de la imagen puede existir dispersión de las longitudes de onda más pequeñas, generalmente la onda azul, debido a partículas encontradas en la atmósfera, es decir, neblina atmosférica, esta dispersión ocasiona valores elevados uniformemente a lo largo de toda la imagen, también es posible que, debido a la falta de calibración de los detectores ocurra un cierto bandeamiento en la imagen capturada, por último es común encontrar en la imagen ruido al azar, que es producido por el sensor a la hora de la transmisión de los datos. Todos estos errores en la imagen son corregidos por medio de la corrección radiométrica que nos es más que la remoción o disminución de las distorsiones en el grado de energía electromagnética registrada en el sensor (ALZATE, 2001).

#### **3.2. EFECTOS DE CAMBIO EN EL TIEMPO**

Para estudiar patrones de reflectancia en diferentes tiempos o a través de mosaicos de imágenes es necesario, calibrar los valores de radiancia para que los niveles de reflectancia absolutas de los objetos medidos por diferentes sensores correspondan entre imágenes separadas. Este procedimiento puede ser requerido también para normalizar los ángulos solares y las distancias tierra-sol.

Las imágenes que son adquiridas bajo diferentes ángulos de iluminación solar pueden ser ajustadas la una a la otra, aplicando una fórmula que corrige los cambios de estaciones en relación con la distancia tierra-sol. El ángulo solar y la distancia tierra-sol deben ser particulares para el tiempo y localización en los que la imagen fue adquirida. Estos deben ser proporcionados por el distribuidor de la imagen debido a

que el reemplazo se realiza por bandas individuales y son dependientes del equipo de captura de la imagen.

### **3.3. EFECTOS ATMOSFÉRICOS**

Las partículas atmosféricas y las moléculas causan efectos de dispersión en la transmisión de la energía, sobre todo en las longitudes de onda cortas. El efecto de la niebla es usualmente una elevación uniforme de los valores espectrales, en las bandas del visible del espectro electromagnético.

Una de las formas de reducir la niebla en la imagen es ver los valores en las zonas donde se sabe que debe haber reflectancia de cero, como el agua profunda. Cualquier valor sobre cero en estas áreas probablemente representa un incremento de los valores de la imagen y puede ser sustraído fácilmente de todos los píxeles en las bandas individuales.

### **3.4. EFECTOS DE RUIDO**

Los ruidos en las imágenes suceden debido a interferencias mecánicas en el sistema que conduce a errores de transmisión. El ruido puede degradar la señal registrada o virtualmente eliminar toda la información radiométrica. El ruido puede ser sistemático como el mal funcionamiento periódico de un detector, el cual resulta en el bandeamiento de la imagen. Puede ser más al azar cuando causa variaciones radiométricas descritas como “sal y pimienta”, debido a la apariencia que dan.

### **3.5. BANDEAMIENTO DE LA IMAGEN**

Es un ruido sistemático que resulta de la variación en la respuesta de los detectores individuales usados por una banda particular. Ocurre cuando un detector se desajusta y produce lecturas que son más altas o más bajas que las de los otros detectores para la misma banda.

Por ejemplo para el MSS, que tiene seis (6) detectores por banda y barre en dirección horizontal. Si uno de los detectores es desajustado, entonces un

bandeamiento horizontal ocurrirá cada seis líneas. Igualmente en el TM, que tiene dieciséis (16) detectores, se producirá un bandeamiento cada dieciséis líneas.

En el caso de los sistemas como el SPOT que tiene barredores que no son óptico-mecánico con 3000 detectores por cada banda, es decir un detector por cada píxel en una fila, debido a que los detectores tienen un arreglo perpendicular a la órbita del satélite, el desajuste produce bandeamiento vertical. Como se tiene un detector por cada columna de datos, no hay un patrón repetitivo de bandeamiento en la imagen.

### **3.6. CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA**

La corrección radiométrica (ver Fig. N° 3-1) se realiza empleando el programa de computación ENVI 4.2 y el procedimiento a seguir es sencillo y permite calibrar los números digitales de los píxeles en las imágenes satelitales y así ajustarlos a un cierto rango, para ello se debe cargar el total de las imágenes correspondientes a las bandas que se desean trabajar, luego de cargar las imágenes por medio de la calibración de los parámetros TM se hace la corrección de los valores máximos y mínimos de radianza y se verifica y corrige la fecha de adquisición. Estos valores se obtienen de la base de datos (metadata) proporcionada por el distribuidor de las imágenes, la cual, es específica para cada banda, por lo que se debe hacer individualmente. Por último se asigna un nombre al archivo de salida que corresponde a la imagen con la corrección de radianza realizada.

Luego de hacer la corrección de radianza para cada una de las imágenes es necesario incorporarlas en un solo archivo, por lo que se realiza lo que comúnmente se llama fusión de bandas, este último archivo se almacena en formato .BIL ya que es requerido para los subsiguientes pasos.

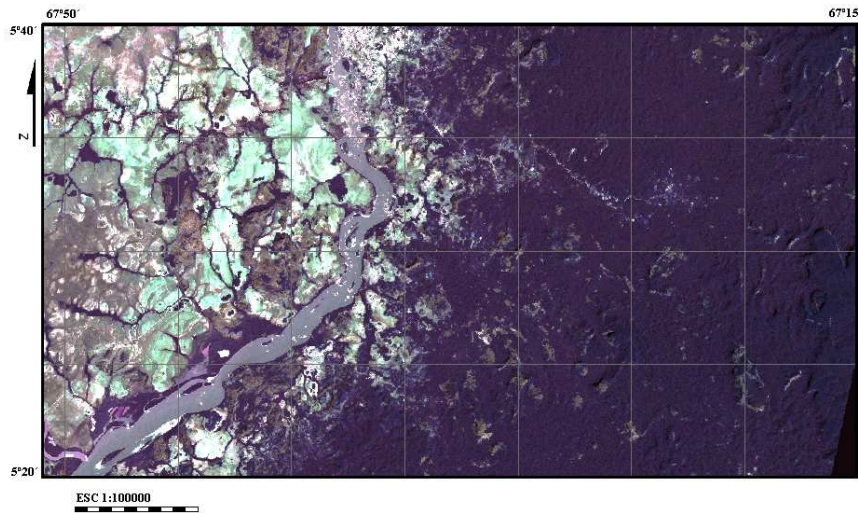


Fig. N° 3-1 Imagen de la zona de estudio con la corrección radiométrica realizada.

### 3.7. CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA

Esta corrección se realiza con el fin de eliminar los efectos de adsorción y dispersión de la energía electromagnética causada por las moléculas y partículas atmosféricas en suspensión, además convierte la radiancia en valores de reflectividad de la superficie.

La corrección atmosférica (ver Fig. N° 3-2) se realiza empleando el programa de computación ENVI 4.2 y para ello es necesario contar con un archivo de texto, en formato .TXT, que contenga, en una columna, los valores promedio de la frecuencia de onda de cada una de las bandas a utilizar, así como también el archivo generado en el paso anterior en formato .BIL.

Esta corrección también es llamada FLAASH, siendo esta las siglas de *Fast Line of sight Atmospheric of Spectral Hypercubes*, en esta corrección se debe seleccionar la imagen de radianza, archivo .BIL, el archivo ASCII, archivo .TXT y el nombre y carpeta de salida donde será almacenado el archivo con la corrección atmosférica realizada, también se debe proporcionar al programa la localización del centro de la imagen, se debe seleccionar el tipo de sensor que se está utilizando, la fecha y hora de adquisición de la imagen, y por último se debe corregir los parámetros

multiespectrales, los valores necesarios provienen igualmente del archivo de datos proporcionados por el distribuidor de la imagen (metadata).

Este archivo debe ser almacenado en formato .IMG ya que este será utilizado para los pasos siguientes.

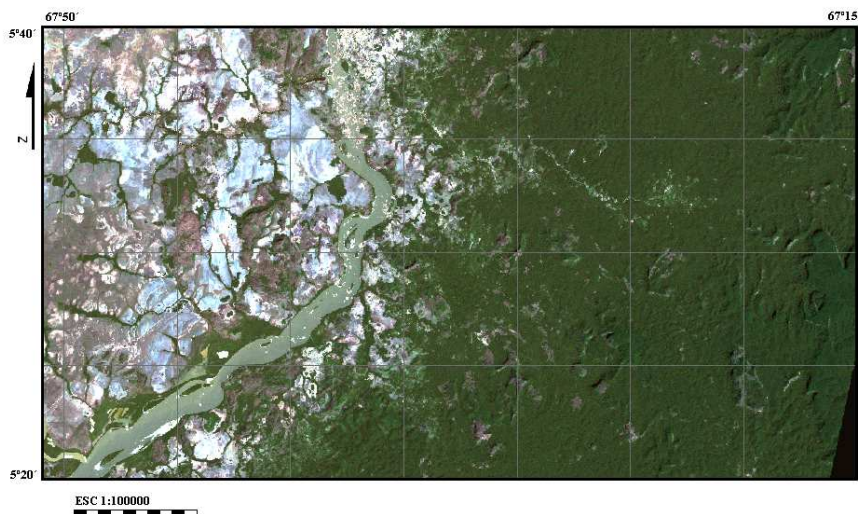


Fig. N° 3-2 Imagen de la zona de estudio con la corrección atmosférica realizada.

### 3.8. CORRECCIONES GEOMÉTRICAS

En las imágenes comerciales como Landsat y SPOT la mayoría de los elementos de restauración geométrica asociados con la captura de la imagen son corregidos por los distribuidores de las imágenes. Estas correcciones incluyen:

- Corrección de la oblicuidad: considera el aspecto de que la tierra se mueve mientras que una imagen es capturada.
- Corrección de la distorsión del *scanner*: toma en cuenta el hecho de que el campo instantáneo de vista (IFOV) cubre mas territorio al final de la línea de barrido, donde el ángulo de visión es muy oblicuo, que en la mitad.

Los errores geométricos que poseen las imágenes se dividen en errores geométricos sistemáticos los cuales pueden ser corregidos usando los efémeris

(posición exacta del sol a una hora determinada del día o del año, por ejemplo) de la plataforma y conociendo las características de distorsión internas del sensor, comprenden la rotación de la tierra: cuyo efecto se refleja en la deformación del pixel debido a la rotación de la tierra en el momento de toma de los datos y errores geométricos no sistemáticos son aquellos producidos por las distorsiones de la plataforma: variaciones según la velocidad, altitud y orientación de dicha plataforma (aleteo, cabeceo y giro lateral), producen errores de posicionamiento estos errores que se corrigen con el uso de puntos de control de la tierra (GCP) incluyen el giro, el movimiento de la plataforma y la varianza en la altitud. (BERSTEIN, 1983).

### **3.9. HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS ESPECTRAL**

#### **3.9.1. Fracción Mínima de Ruido.**

Los ruidos en la imagen suceden debido a interferencias mecánicas en el sistema que conduce a errores de transmisión. El ruido puede degradar la señal registrada o virtualmente eliminar toda la información radiométrica. El ruido puede ser sistemático como el mal funcionamiento periódico de un detector, el cual resulta en el bandeamiento de la imagen, también puede ser más al azar, causando variaciones radiométricas descritas como sal y pimienta debido a la apariencia que dan. (ALZATE, 2001).

La corrección de la Fracción Mínima de Ruido, MNF, se realiza en el programa de computación ENVI 4.2, en esta corrección se debe trabajar con las bandas separadas en grupos de 3, esto con la finalidad de reducir el tiempo de procesamiento, en esta corrección se delimita la zona de estudio de la imagen general, luego de la culminación de la corrección se muestra un grafico en el cual se reportan los autovalores MNF organizados en orden decreciente de la varianza.

#### **3.9.2. Índice de Pureza de Pixel.**

Por medio del Índice de Pureza de Pixel es posible encontrar aquellos pixeles extremos o pixeles puros en los datos multispectrales con la finalidad de filtrar la

información verdadera proporcionada por estos y eliminar de la data aquellos que no aporten ninguna información.

La corrección del Índice de Pureza de Pixel se realiza sobre el programa de computación ENVI 4.2. El procedimiento es sencillo únicamente hay que indicarle al programa cuál es el archivo que debe purificar, éste corresponde al archivo obtenido en el paso anterior y proporcionarle el nombre y la carpeta de salida donde se almacenara la imagen con la corrección de pureza de pixel realizada, esta corrección al igual que la anterior debe hacerse con las bandas separadas en grupos de tres, luego de realizada la corrección de todos los grupos de bandas estas se deben almacenar en un solo archivo, por lo que hay que realizar de nuevo la fusión de bandas, éste debe ser estar en formato ROI, ya que este será utilizado en los pasos siguientes.

### **3.9.3. Visualizador N Dimensional**

El Visualizador N Dimensional es una herramienta que permite obtener los pixeles puros de la imagen, a través de la distribución del espectro de valores extremos.

Para la utilización de esta herramienta se debe contar con el archivo de imágenes con la corrección de pureza de pixel realizada, ya que por medio de este se obtendrán los rasgos en cantidad de pixeles para cada banda, Luego se selecciona la región de la imagen que se desea trabajar, y se le indica al programa los valores máximos y mínimos obtenidos anteriormente, por último se exporta este archivo al Visualizador N Dimensional, donde el programa muestra un arreglo en tres dimensiones de la distribución de pixeles de la imagen. En este arreglo se seleccionarán aquellos pixeles que se encuentren marginados de las zonas de mayor densidad, ya que éstos proporcionan información específica sobre grupos anómalos de la imagen

### **3.9.4. Spectral Angle Mapper**

El *Spectral Angle Mapper* es una herramienta que permite determinar el ángulo de separación de un pixel respecto al espectro de referencia, este procedimiento se realiza con cada una de las clases anómalas obtenidas del Visualizador N

Dimensional, cada una de estas debe ser comparada con el espectro de referencia en un ángulo pequeño ya que estos representan mejor la correspondencia entre ambos.

Esta herramienta se trabaja sobre el programa de computación ENVI 4.2 en él se le proporciona el programa el archivo con el cual se realizará la comparación, este corresponde al archivo obtenido de la corrección de la fracción mínima de ruido, también se le indica al programa cuales son las clases y bandas con las que debe comparar el espectro de referencia, e indicarle cual será el nombre y la carpeta de salida donde se almacenará el archivo con la comparación realizada.

### **3.9.5. Clasificación No Supervisada**

La Clasificación No Supervisada se realiza sobre el programa de computación ERDAS 8.6, en él se definen las clases espectrales presentes en la imagen realizando una búsqueda automática de valores homogéneos. En esta clasificación el algoritmo de procesamiento reconoce automáticamente clases espectrales sin conocimiento previo del área, utilizando métodos estadísticos o geométricos.

Para realizar esta clasificación es necesario contar con el archivo de imágenes con la corrección atmosférica realizada e indicarle al programa el número de clases obtenidas en el visualizador n dimensional y el nombre y la carpeta de salida donde se almacenará el archivo con la clasificación realizada. Luego de culminado el procedimiento el programa mostrará todas aquellas clases encontradas, pudiéndose asignar un color a cada una de estas y ver su ubicación en la imagen de satélite.

### **3.9.6. Clasificación Supervisada**

La Clasificación Supervisada se realiza sobre el programa de computación ERDAS 8.6, en él se define las clases espectrales presentes en la imagen por medio de la discriminación visual, esta debe ser ejecutada por el usuario, para ello es necesario disponer de información confiable del área de estudio.

Para realizar esta clasificación es necesario contar con el archivo de imágenes con la corrección atmosférica e indicarle al programa cuales son las regiones en las cuales se tiene información, así como también se debe indicar el nombre y carpeta de salida donde se almacenará el archivo con la clasificación realizada. Luego de culminado el procedimiento el programa mostrará todas aquellas clases encontradas, pudiéndose asignar un color a cada una de estas y ver su ubicación en la imagen de satélite.

### **3.9.7. Operaciones Entre Bandas**

Las Operaciones entre Bandas proporcionan información adicional a la que existe. Habitualmente emplean las bandas menos correlacionadas, con el fin de que el aporte de estas técnicas de procesamiento sea más significativo.

- Adición

La operación de suma se lleva a cabo entre los píxeles de dos imágenes. Esta suma promediada, se emplea para obtener una nueva imagen con menor influencia del ruido, pues el promedio disminuye los valores altos. Habitualmente, para esta aplicación, se emplean bandas cercanas espectralmente.

- Sustracción

La resta de bandas se usa para resaltar cambios de regiones entre dos imágenes de la misma área.

- Cociente

El cociente entre bandas implica efectuar una división pixel a pixel, entre los ND almacenados en dos o más bandas de la misma imagen. Su empleo se justifica en dos situaciones: para mejorar la discriminación entre suelos y vegetación y para reducir el efecto del relieve en la caracterización espectral.

### **3.9.8. Análisis de Componentes Principales**

El Análisis de Componentes Principales es utilizado con el fin de extraer datos que no representen redundancia y que al mismo tiempo muestren las diferencias, una vez se analicen conjuntamente todas las variables de análisis. Debido a ésto, esta técnica de procesamiento digital es usada para estudios multitemporales donde se aplica a cada una de las imágenes de distintas fechas con el fin de reducir el número de bandas significativas para la clasificación. Posteriormente los componentes resultantes se combinan para derivar mapas de cambio, donde se identifiquen coberturas con dinámica temporal. De igual forma esta técnica es empleada para el monitoreo de vegetación, a partir de la generación de imágenes de índices de vegetación, donde pueden diferenciarse las respuestas espectrales de la vegetación y del suelo.

### **3.9.9. Realces**

Un sensor puede registrar la cantidad de energía que sale de un material en cierta longitud de onda, mientras que otros materiales son registrados con menor energía en la misma longitud. Las técnicas de Realce de la imagen hacen más fácil el análisis e interpretación de estos últimos y por consiguiente permiten detectar los cambios que en una imagen se reflejan por esas variaciones de energía.

El rango de valores radiométricos presentes en una imagen se refiere al contraste. El realce del contraste es un proceso que hace a los elementos de la imagen sobresalir más claramente usando óptimamente los colores disponibles en el despliegue o dispositivo de salida.

### **3.9.10. Filtros**

Los Filtros tienen como objetivo resaltar rasgos es lineales o errores de la imagen, para ellos se emplean dos tipos de filtros; Los Filtros Paso Bajo tienen como objetivo suavizar los contrastes espaciales presentes en la imagen. Este tipo de filtraje se utiliza para restaurar los errores aleatorios que pueden presentarse en los ND de la

imagen, producto de un defecto en la adquisición o recepción de los datos y los Filtros Paso Alto los cuales pretenden aislar los componentes de alta frecuencia en una imagen, enfatizando los rasgos lineales presentes en la imagen, como carreteras, parcelas o accidentes geológicos. En definitiva, se intenta reforzar los contornos entre áreas homogéneas, evidenciando cualquier discontinuidad.

## CAPITULO IV

### 4. GEOLOGÍA REGIONAL

#### 4.1. GENERALIDADES

La zona de estudio se encuentra ubicada nor-oeste del Escudo Guayano-Brasilero, el cual se encuentra situado entre las coordenadas  $7^{\circ}14' N - 11^{\circ}20' N$  de latitud y  $52^{\circ}17' - 61^{\circ}50'$  de longitud O de Greenwich. El escudo representa una faja costera de 448.192 km<sup>2</sup> que forma parte de la región geográfica denominada La Guayana, los límites de esta región natural son: el río Orinoco por el norte, el río Amazonas por el sur, el río Negro por el oeste y la llanura costera del Atlántico por el este, éste escudo en el territorio venezolano, se encuentra delimitado al oeste con Colombia por los ríos Orinoco, Atabapo y Guainía-Negro; al sur con Brasil en Cocuy-Neblina y las cabeceras de los ríos Orinoco-Ventuari y la Gran Sabana con la Sierra Pacaraima y al este con la Zona en Reclamación con los ríos Venamo y Cuyuni, abarcando casi el 50% de la superficie del país, en él se encuentran las rocas más antiguas del continente suramericano pertenecientes al Precámbrico (ver Fig. N° 4-1).

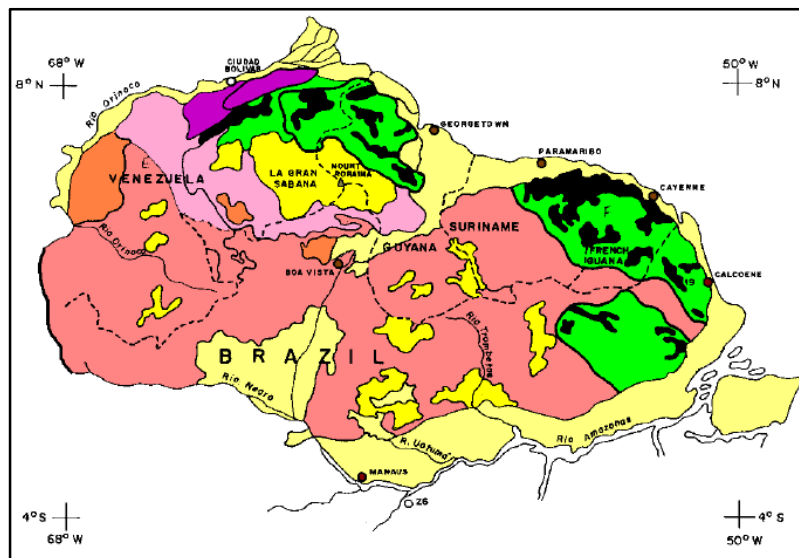


Fig. N° 4-1 Ubicación relativa del Escudo Guayano-Brasilero  
(Tomado de Mendoza 2005)

En el Escudo Guayano-Brasilero dentro del territorio nacional, se pueden diferenciar cuatro provincias fisiográficas: la Provincia de Imataca, la Provincia de Pastora, la Provincia de Cuchivero, la Provincia de Roraima las cuales se encuentran definidas principalmente en el estado Bolívar y cinco subprovincias petrotectónicas: Subprovincia Petrotectónica del Manapiare, Subprovincia Petrotectónica del Casiquiare, Subprovincia Petrotectónica del Alto Orinoco, Subprovincia Petrotectónica del Siapa, Subprovincia Petrotectónica de Ayacucho estas, se encuentran definidas principalmente en el estado Amazonas.

En este capítulo se hará una breve descripción de la evolución geotectónica del Escudo Guayana, para luego puntualizar en las características litológicas que definen cada una de las provincias y subprovincias, comenzando por las provincias desarrolladas en el estado Bolívar, debido a que estas están mejor definidas, por último se hará una integración con las descritas en el estado Amazonas con el fin de crear un bloque esquemático completo de la petrografía del escudo.

#### **4.2. EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA DEL ESCUDO DE GUAYANA**

El Escudo de Guayana se localiza al sur del río Orinoco y ocupa aproximadamente el 50% de la superficie de Venezuela, con rocas tan antiguas como 3,41 Ga (granulitas y charnockitas del Complejo de Imataca) y tan jóvenes como 0,711 Ga (kimberlitas eclogíticas de Guaniamo), que registran en buena parte una evolución geotectónica similar a la de otros escudos precámbricos en el mundo, con al menos ruptura de supercontinentes en 2,4-2,3 Ga (Guayanensis), 1,6-1,5 Ga (Atlántica-Caura), 0,8-0,7 Ga (Rodinia) y 0,2 Ga (Pangea). (MENDOZA, 2005).

En particular, el Escudo de Guayana, que se compone de las provincias geológicas de Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima, forma parte del Cratón Amazónico del Precámbrico de Sur América, que se extiende por el norte de Brasil, las Guayanas, remanentes precámbricos de Colombia y de Bolivia y estaba unido a África occidental hasta la ruptura de la Pangea, hacen unos 200 Ma. Durante el Meso y Neoarqueozoico (Orogénesis Guriense 3,70 – 3,41 Ga y Aroensis o pre-

Transamazónica, 2,78-2,60 Ga), se originaron, bajo un régimen de muy alto gradiente geotérmico, con zonas de subducción menos pendientes que las actuales (sin eclogitas ni esquistos azules), primitivos cinturones de rocas verdes. Estos terrenos de cinturones de rocas verdes- tonalíticos, trondjemíticos, granodioríticos primitivos formaban islas y microcontinentes dentro de esos gigantes océanos; pero por deriva y choque se suturaron unos sobre otros, con grandes corrimientos, formando fajas tectónicas con litologías, metamorfismo y edades diferentes (La Encrucijada, La Naranjita, Santa Rosa, Ciudad Bolívar, Laja Negra, Cerro Bolívar, etc.), y se adicionaron unas a otras, hasta constituir el espeso cratón Imataca-Kanukú, etc., hacia 2,7-2,5 Ga, formando parte del primer gran supercontinente, que denominamos Guayanensis. (MENDOZA, 2005).

En el Paleoproterozoico (Orogénesis Transamazónica, 2,3-1,80 G.a.) el cratón Imataca-Kanukú se fracturó y separó, formándose entre los bloques en deriva, Imataca a un lado y Kanukú y cratones equivalentes de Brasil, al opuesto, el océano Pastora-Barama-Mazzaruni, donde se produjeron, bajo un régimen de tectónica de placas similar al actual, más evolucionados cinturones de rocas verdes, formados en arcos de islas y cuencas detrás del arco, que fueron plegometamorfizadas (Facies Epidoto-Anfibolita y Facies Esquistos Verdes) con y por domos tonalíticos, trondjemíticos, granodioríticos y migmatitas (Complejo de Supamo) e intrusiones sin y postectónicas dioríticas y gabroides. (MENDOZA, 2005).

Dentro de ese régimen de tectónica de placas, se produjeron nuevas cuencas y subcuencas, nuevos y más evolucionados cinturones de rocas verdes, desde paralelos hasta normales a las cuencas anteriores, cerrándose los mares con sedimentos molasoides, colores rojos, pelíticos, samíticos y hasta conglomerados polimicticos (formaciones Los Caribes, Urico y Maracapra, Ston, Murawa, etc.), suturándose y acreacionándose así las rocas de Pastora, más joven, debajo de Imataca, más antigua (Megafalla de Guri), coincidiendo o formando parte del gran Supercontinente Atlántica. Cinturones de rocas verdes tipo Pastora de tendencia N-NO colidieron con

cinturones de rocas verdes de Botanamo, de tendencia NE como lo muestra la zona de sutura o graben del río Marwani. (MENDOZA, 2005).

A los arcos de islas de Botanamo, acreacionados junto con Pastora a Imataca, siguió algo más tarde la fusión parcial más profunda, de material del manto que calentó, fracturó y se mezcló con material de la corteza, predominantemente granítico tipo tonalíticos, trondjemíticos, granodioríticos, para con muy poco fraccionamiento producir, en un borde continental activo tipo Andes, magmas ríolíticos que se emplazaron y cristalizaron como las rocas volcánicas y piroclásticas de Caicara, cristalizando a niveles meso-catazonales sus comagmaticos granitos calco-alcalinos de la Asociación Cuchivero (granitos de Santa Rosalía y San Pedro) y sus equivalentes del arco magmatico Cuchivero durante el Evento Orocaima (1,98 Ga-1,88 Ga), al final de la Orogénesis Transamazónica que se había iniciado hacia 2,3 Ga y que concluyó hacia 1,80 Ga con resedimentación de la facies molasa, post-tectónica, del Grupo Roraima (MENDOZA, 2005).

De esta forma hacia 1,8 Ga se había consolidado (final de la orogénesis Transamazónica) un gran bloque continental (Imataca + Pastora –Botanamo + Cuchivero) y sus equivalentes hacia el sur en Brasil y hacia el este en África occidental, formando parte de la amalgamación del supercontinente Atlántico-Caura (MENDOZA, 2005).

Hacia el Mesoproterozoico, Imataca + Pastora + Cuchivero (parte del Supercontinente Atlántico - Caura), se fracturó profundamente hasta el manto superior, produciendo a niveles epizonales los granitos rapakivis de El Parguaza (1,54-1,38 Ga por Rb/Sr y U/Pb). Estos granitos rapakivis se extendieron hacia el sur hasta Surucucú- Boa Vista y hacia el norte hasta Santa Marta en Colombia y hasta el Ávila en la Región Capital, a través de un rift continental de dirección N-NO a S-SE, alimentado por una gran pluma de calor que duró alrededor de 200 M.a., o el equivalente a un ciclo de Wilson (MENDOZA, 2005).

Sobre Pastora+Cuchivero+Parguaza se depositaron, en diferentes cuencas y tiempos (2,0 Ga-1,35 Ga) sedimentos molasoides, tectónicos tardíos, en una atmósfera aún predominante en CO<sub>2</sub> (Supergrupo Pre-Roraima) a post-tectónicos, en una atmósfera ya dominante en oxígeno (Supergrupo Roraima), de cuencas marginales o en cierre, a fluvio-continetales a marino someras, en áreas pericratónicas y cratónicas, tectónicas tardías a atectónicas, que fueron intrusionadas por diabasas y rocas gabroides-tonalíticas (Asociación Avanavero) (MENDOZA, 2005).

Al final del Nickerianense (1,2-1,0 Ga), orogénesis equivalente a la de *Greenville* de Norteamérica, el bloque Imataca+Pastora+Cuchivero+Parguaza y Roraima colidió con el bloque Garzón-Jari Falsino de Colombia y Brasil, produciéndose la sutura Río Negro-Atabapo-Orinoco, formando parte del supercontinente Rodinia, con reactivación de antiguas fallas (Parguaza, Suapure, Cabruta, Caura, Caroní), desarrollo de metamorfismo de bajo grado, retrógrado, con formación de pseudotaquilas en la falla de Guri (MENDOZA, 2005).

Estas reactivaciones acentuaron la profundidad y ancho de las fracturas (Cabruta versus Guri por ejemplo) y fueron más tarde, ampliadas y extendidas a profundidad, facilitando así el emplazamiento de material del manto en una corteza muy espesa con gradiente geotérmico alto, en un ambiente continental atectónico (MENDOZA, 2005).

Hacia los 540 M.a. se fueron aglutinando los fragmentos de Rodinia, formando un nuevo supercontinente denominado Gondwana, el cual colidió con otro supercontinente, al norte, conocido como Laurentia hacia 275 M.a., cerrándose el océano Iapetus y dando paso a la formación del supercontinente Pangea. Hace unos 200 M.a. Se inició el fracturamiento de la Pangea, la separación de África de Sur América, dando origen al Atlántico, con la última reactivación de la Falla de Guri, actuando como falla transcurrente en la zona continental y como falla de transformación en áreas oceánicas. A través de la Falla de Guri y de las fallas

paralelas y subparalelas a ella (Fallas Guasipati, Laguna, etc.) en el Escudo de Guayana se emplazaron rocas toleíticas máficas y ultramáficas (MENDOZA, 2005).

El Escudo de Guayana permaneció estable desde entonces con levantamientos isostáticos, dejando algunos grabens con depósitos de sedimentos de arenas con gas, de edad Terciario, como los de Guyana (MENDOZA, 2005)..

#### 4.3. PROVINCIAS PETROTECTONICAS DEL ESTADO BOLIVAR

González de Juana et al. (1980) con base en caracteres petrológicos y tectónicos, divide al escudo en esta zona del territorio nacional, en cuatro provincias petrotectónicas conocidas como: Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima; estas provincias se diferencian en sus direcciones estructurales, estilos de deformación tectónica, asociaciones litológicas y metalogénicas y edades. La ubicación relativa y los contactos entre estas provincias puede observarse en la Fig. N° 4-2, las mismas serán descritas con detalle a continuación.

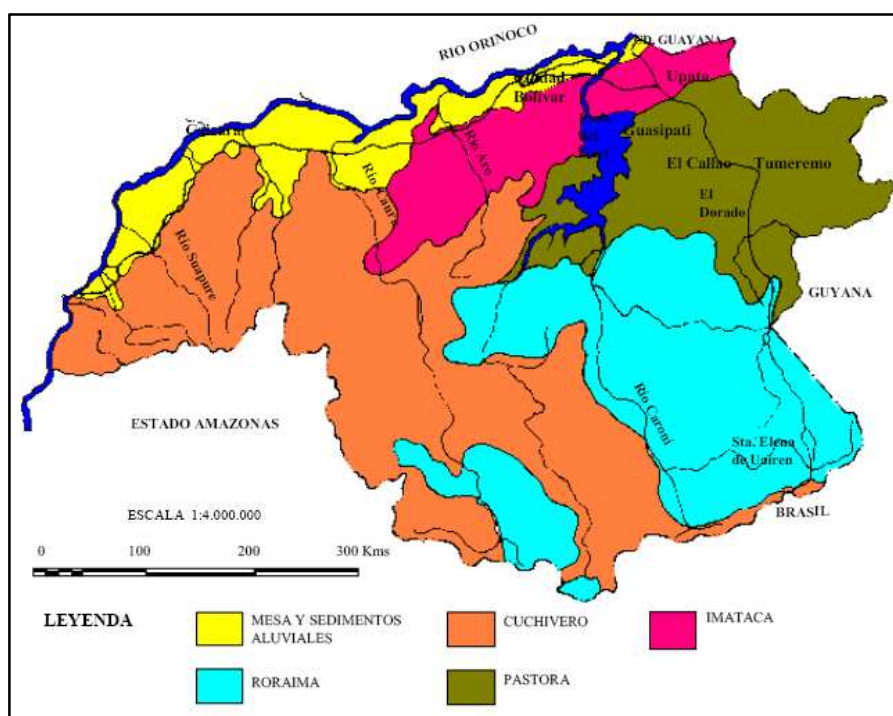


Fig. N° 4-2 Ubicación relativa de las provincias petrotectónicas del estado bolívar (Tomado y Modificado de Mendoza 2005)

### 4.3.1. Provincia de Imataca

La Provincia de Imataca se encuentra ubicada en el extremo norte de la Guayana Venezolana y ocupa una faja angosta con dirección SO-NE entre el río Caura, al oeste y el estado Delta Amacuro, al este (ver Fig. N° 4-3) (MENENDEZ, 1968).

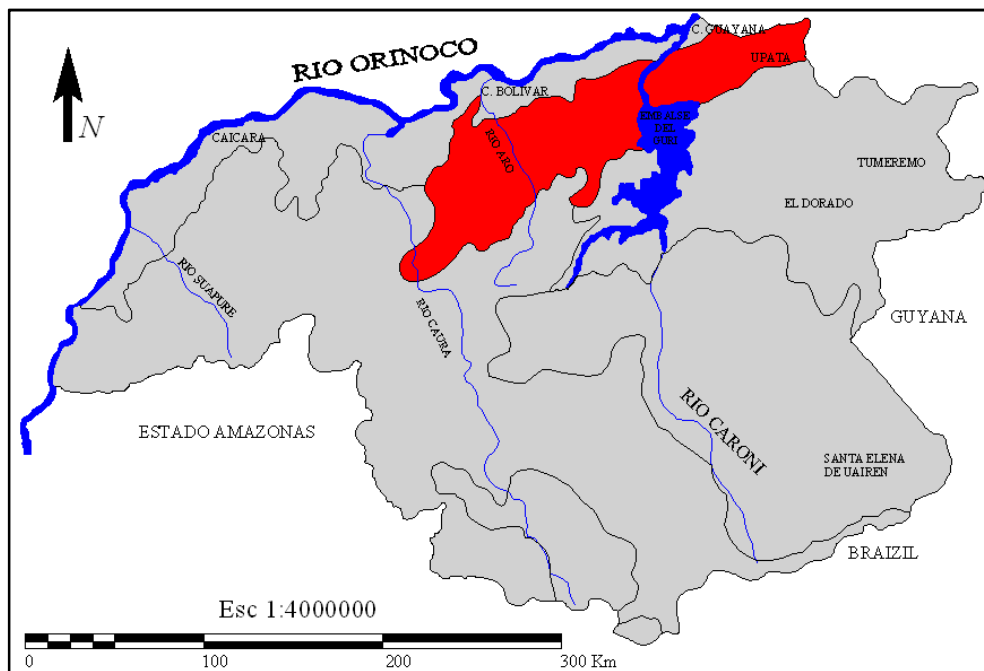


Fig. N° 4-3 Ubicación Relativa de la Provincia de Imataca  
(Tomado y Modificado de Mendoza 2005)

En líneas generales la Provincia de Imataca está caracterizada por filas alargadas de cuarcitas ferruginosas y gneises cuarzo-feldespáticos anfibolíticos y granulíticos, migmatitas, charnockitas y algunos mármoles dolomíticos, que ocupan zonas montañosas con alturas superiores a los 400 m.s.n.m (MENDOZA, 2005).

La Provincia Imataca registra seis o más dominios tectónicos, separados entre sí por grandes fallas tipo corrimientos. Internamente el plegamiento es isoclinal con repliegamiento más abierto. En la parte norte, los pliegues tienen rumbo NO mientras que en la parte sur la tendencia dominante de los pliegues es N 60°-70° E que es la que predomina regionalmente, es decir aproximadamente paralelas a la falla de Gurí.

ASCANIO (1,975) postuló que parte del Complejo de Imataca está formado por varias fajas tectónicas que representan microcontinentes que por deriva chocaron unos con otros con obducción, quedando separados entre sí por grandes corrimientos de ángulo bajo, este bloque se encuentra constituido por rocas cuarzo-feldespáticas dentro de las cuales se intercalan secuencias de formaciones de hierro, anfibolitas y gneises granodioríticos blancos, este autor denominó a estas fajas como Faja La Encrucijada, Faja Ciudad Bolívar, Faja Santa Rosa, Faja La Naranjita, Faja La Ceiba, Faja Laja Negra y Faja Cerro Bolívar (ver Fig. N° 4-4) (MENDOZA, 2005).

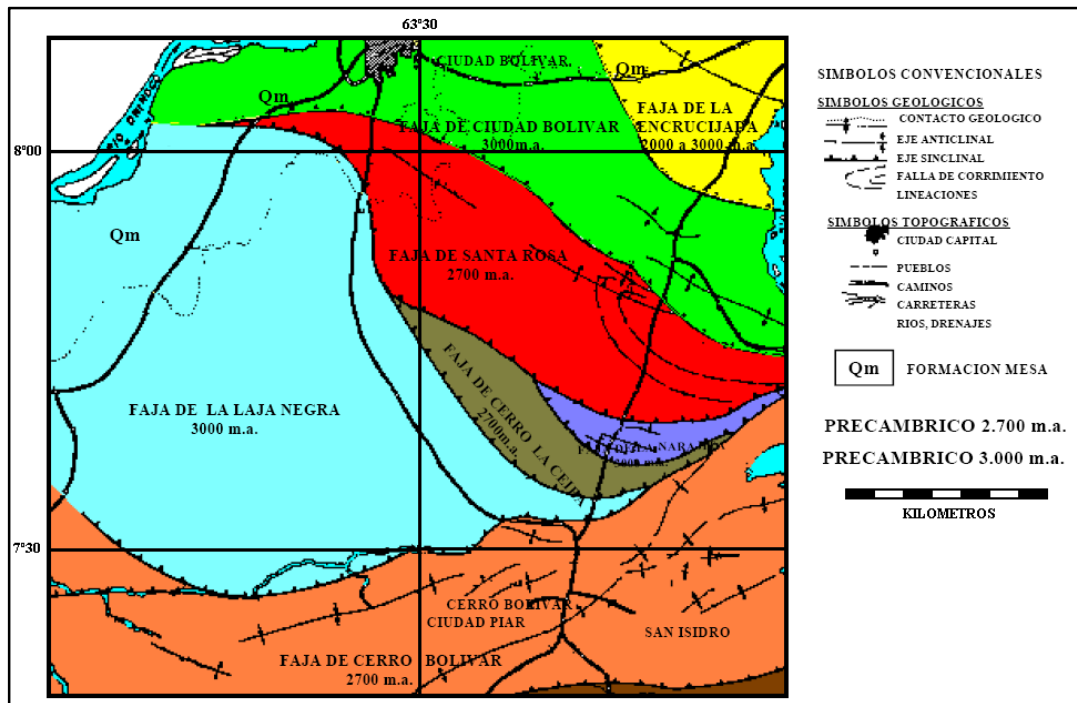
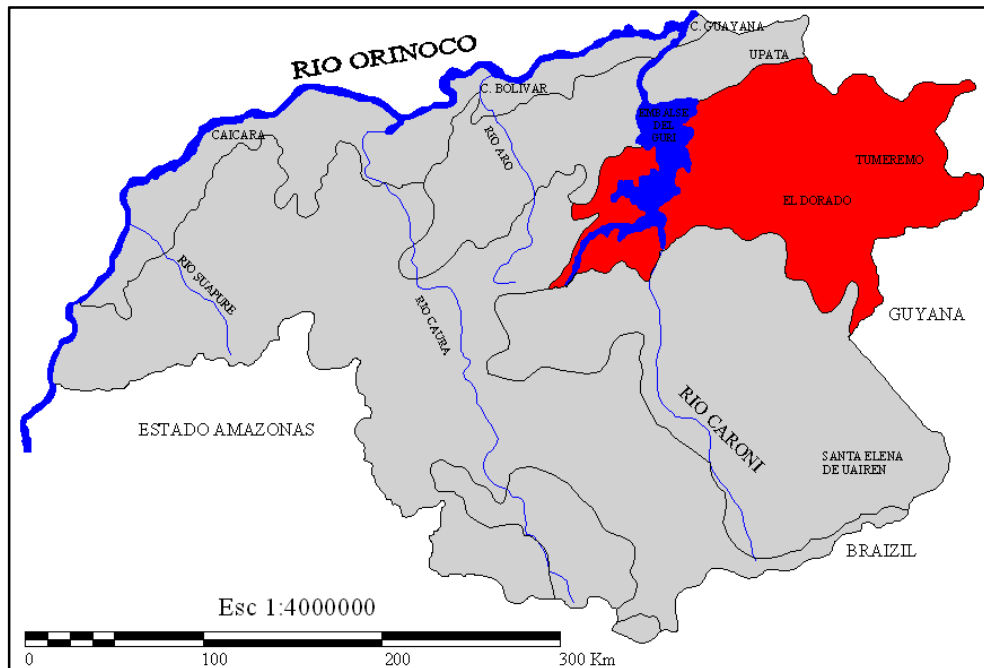


Fig. N° 4-4 Fajas Tectónicas de la Provincia de Imataca (Tomado de Mendoza 2005)

#### 4.3.2. Provincia De Pastora

La Provincia de Pastora se encuentra ubicada al sur de la Provincia Imataca, separada de esta en su parte oriental por la falla de Gurí y en la parte occidental por la falla de Santa Bárbara, al sur está limitada por la Provincia Roraima, (ver Fig. N° 4-5) (MENENDEZ, 1968).



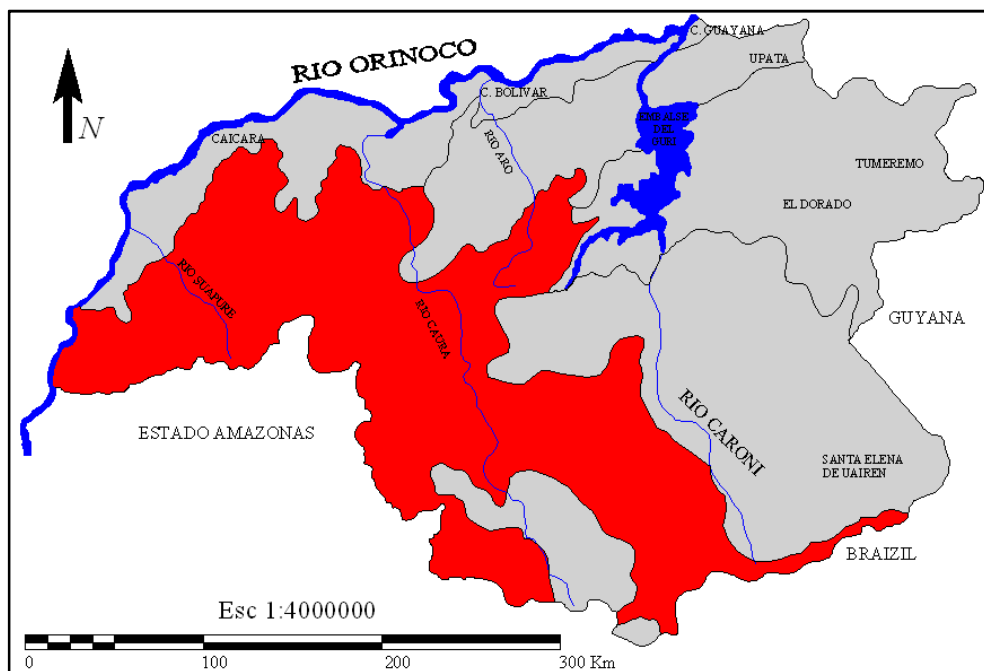
**Fig. N° 4-5 Ubicación Relativa de la Provincia Pastora  
(Tomado y Modificado de Mendoza 2005)**

Los basaltos komatíticos, komatítico-toleíticos y toleíticos espilitizados con estructuras de almohadillas predominan en la parte basal o inferior de los cinturones de rocas verdes de Guayana, seguidos en la parte intermedia por mayor predominio de rocas andesíticas y dacíticas (pórfidos andesíticos, dacitas, ríodacitas y volcanoclásticas y piroclásticas equivalentes) sobre basálticas intercaladas con sedimentos mayormente pelíticos volcanogénicos y la parte superior está dominada por rocas turbidíticas (grauvacas, limolitas y lodolitas volcanogénicas), pelitas, tobas, cherts y volcanoclásticas, cerrando con areniscas cuarcíticas, filitas y conglomerados polimicticos, transicionales entre piriticos de color verdoso a no piriticos de colores rojizos. La secuencia total supera los 11.000 m. de espesor. Rocas máficas-ultramáficas aparecen como intrusivas en la secuencia de los cinturones de rocas verdes y generalmente son complejos estratificados, que incluyen cúmulos de piroxenos y peridotitas asociadas a rocas gabroides con menores a ausentes anortositas, dioritas y cuarzo-dioritas. Estos complejos suelen estar tectonizados, metamorfizados y son pre-Transamazónicos, pero otros no muestran casi tectonismo

ni metamorfismo y son post-Transamazónicos de la Asociación Avanavero. (MENDOZA, 2005)

### 4.3.3. Provincia de Cuchivero

La Provincia de Cuchivero o Amazonas ocupa la parte occidental del escudo venezolano y se extiende al sureste de Guayana, Surinam y la Guayana Francesa (ver Fig. N° 4-7) (GONZALEZ DE JUANA et al, 1980).



**Fig. N° 4-6 Ubicación relativa de La Provincia de Cuchivero (Tomado y Modificado de Mendoza 2005)**

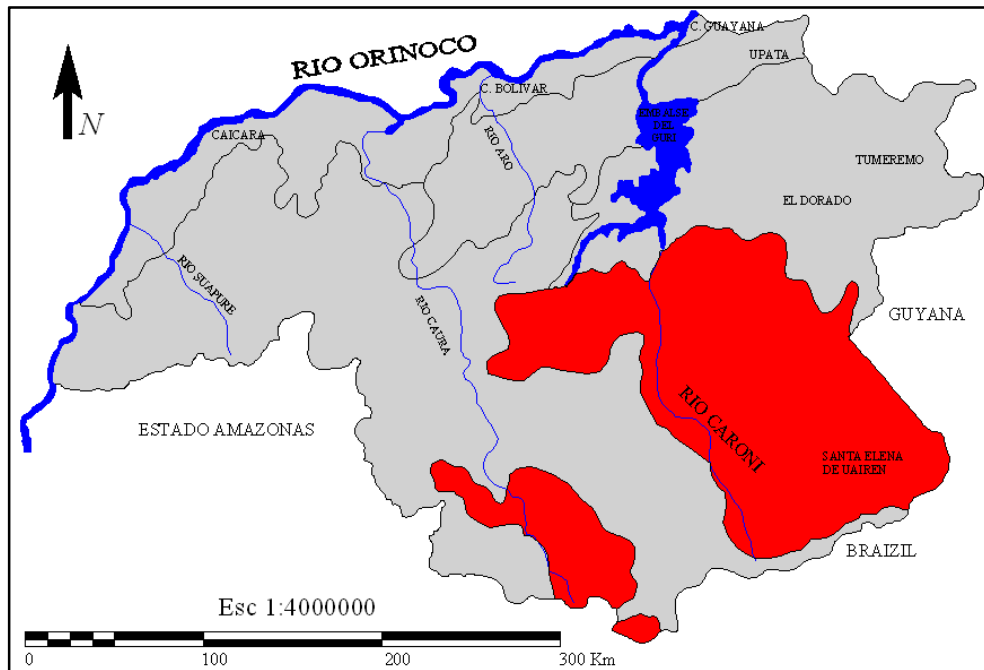
Litológicamente, la provincia está compuesta por grandes extensiones de rocas plutónicas de emplazamiento epizonal y epimesozonal, y rocas metavolcánicas y metasedimentarias, en menor proporción. Dentro de las rocas plutónicas predominan los granitos alcalinos, granitos y cuarzo-monzonitas con granodioritas y tonalitas menos frecuentes y escasas dioritas. En las volcánicas dominan los tipos ácidos representados por extensos depósitos de flujos de cenizas y proporciones menores de tobas de cenizas y lavas, con composición de ríolita alcalina, ríolita, ríodacita, dacita y latita cuarcífera. (GONZALEZ DE JUANA et al, 1980).

De acuerdo a TALUKDAR y COLVEE (1974-1975) la provincia de Cuchivero representa un período de tiempo entre 1900 M.a. y 1400 M.a. y parece haberse desarrollado sobre una corteza continental pre-existente-. Comprende una historia de sedimentación clástica de fuente cratonica, volcanismo acido, deformación y metamorfismo regional a la facies de esquistos verdes y facies de intrusiones graníticas. Las características petrológicas de las rocas volcánicas y plutónicas y presencia de clásticos de origen continental, así como la ausencia de asociaciones volcánico-sedimentarias oceánicas, implican que la provincia es un arco complejo volcánico-plutonico considerado como equivalente antiguo de un arco andino (HAMILTON, 1969; BURCHFIELD y DAVIS, 1972), sin embargo, la relación de rocas plutónicas con respecto al conjunto de volcánicas y sedimentarias en comparación con la de un arco andino, refleja una exposición a profundidades estratigráficas y estructurales mayores. (GONZALEZ DE JUANA et al, 1980).

BRICEÑO y otros (1.989) proponen el modelo de cámara magmática zonada para las rocas volcánicas de Caicara, implicando cristalización fraccionada, presentando del tope hacia la base un enriquecimiento en Fe, Ti, Al, Mg, Ca, Sr y P y un empobrecimiento en Si, K, Na, Rb y Zr, es decir más básica hacia el fondo y más félsica y explosiva hacia el tope o cuello volcánico de la cámara magmática.

#### **4.3.4. Provincia de Roraima**

La Provincia de Roraima cubre un área de afloramiento de aproximadamente 450000 Km<sup>2</sup> desde Tafelberg, Surinam hasta la Sierra de la Macarena, Colombia. También se extiende hacia el sur-sureste del Escudo de Guayana hasta el área de río Branco, Brasil (Ver Fig. N° 4-8).



**Fig. N° 4-7 Ubicación relativa de la Provincia de Roraima (Tomado y Modificado de Mendoza 2005)**

REID (1.974) dividió el Grupo Roraima en el área de Santa Elena del Uairén en cuatro formaciones, que de más antigua a más joven, son: Uairén, Kukenan, Uaimapué y Mataui. Roraima, en Amazonas, Brasil y Guyana, se divide en tres miembros, inferior (equivalente a la Formación Uairén), medio (corresponde a parte de las formaciones Kukenan y Uaimapué) y superior (se correlaciona con la formación Mataui) que es la más espesa y representa gran parte de la sección de los tepuis (GIBBS y BARRON, 1,993; GHOSH, 1,985).

Las rocas de Roraima fueron depositadas en ambientes mayormente fluviales, deltaicos, a localmente marino costeros, lacustrinos, en canales de ríos de baja sinuosidad y llanuras aluviales, distributarios deltaicos encima de lagos interdelticos, lagunas costaneras a bahías interdelticas, playas sin barras y llanuras intramareas (SIDDER y MENDOZA, 1,995). Estratificación cruzada, rizaduras y orientación de guijarros de los conglomerados indican que los sedimentos para la Roraima de la Gran Sabana fueron transportados desde fuentes localizadas al NE, E y SE. Las cuencas de sedimentación fueron varias, limitadas por fallas con basamentos

emergentes entre ellas (GHOSH, 1,985) simultáneas y también separadas en el tiempo.

#### **4.4. SUBPROVINCIAS PETROTECTONICAS DEL ESTADO AMAZONAS**

MENDOZA et al. (1977) indican que esta parte del escudo Guayano-Brasileño está constituida por varias unidades litoestratigráficas, de caracteres petrotectónicos muy complejos, que comprenden desde rocas sedimentarias del Grupo Roraima hasta tonalitas y migmatitas del tipo Complejo Supamo. Las rocas más abundantes son granitos y volcánicas ácidas del tipo Grupo Cuchivero y granitos post-tectónicos de Parguaza y Atabapo. Dichos autores estiman que el basamento de estas unidades es un complejo arqueozoico que fue removilizado durante varios eventos tectono-termales en el proterozoico, los cuales están registrados en rocas graníticas sinorogénicas, anorogénicas tardías (Grupo Cuchivero y equivalentes) del Transamazónico, 1700 – 1200 M.a., en rocas graníticas no tectonizadas (granito del Parguaza) de 1500 – 1600 M.a. y en pelitas y pegmatitas ácidas de 1100 – 1300 M.a. y de menos de 600 M.a. (GONZALEZ DE JUANA, 1980).

En el estado Amazonas afloran en orden de mayor a menor tectonodeformación y metamorfismo, los siguientes conjuntos de rocas:

- 1) Gneises y migmatitas tipo Minicia, Macabana, Maroa, etc.
- 2) Metasedimentos de medio grado metamórfico del Siapa.
- 3) Rocas graníticas y relacionadas, foliadas y levemente metamorfozadas: granitos > volcánicas ácidas > andesitas > basaltos.
- 4) Metasedimentos pre-Roraima tipo formaciones Unturán, La Esmeralada, etc.
- 5) Granitos anorogénicos, postectónicos tipo Atabapo, Inirida, San Carlos, Cucuy, Parima, etc.
- 6) Complejos alcalinos y relacionados tales como La Churuata.
- 7) Sedimentos grupos pre-Roraima y Roraima.
- 8) Carbonatitas de Seis Lagos y equivalentes del lado venezolano y kimberlitas

Estos conjuntos de rocas están agrupados en cinco subprovincias petrotectónicas, las cuales han sido definidas en cuanto a su similitud litológica y mineralógica y serán descritas con detalle más adelante puntualizando en su localización, extensión,

fisiografía, estratigrafía, tectónica y metamorfismo, edad y contactos, comenzando por la más antigua, estas subprovincias llevan por nombre, su ubicación relativa en el estado Amazonas los mismos pueden verse en la Fig. N° 4-9:

- Subprovincia Petrotectónica del Manapiare
- Subprovincia Petrotectónica del Casiquiare
- Subprovincia Petrotectónica del Alto Orinoco
- Subprovincia Petrotectónica del Siapa
- Subprovincia Petrotectónica del Ayacucho

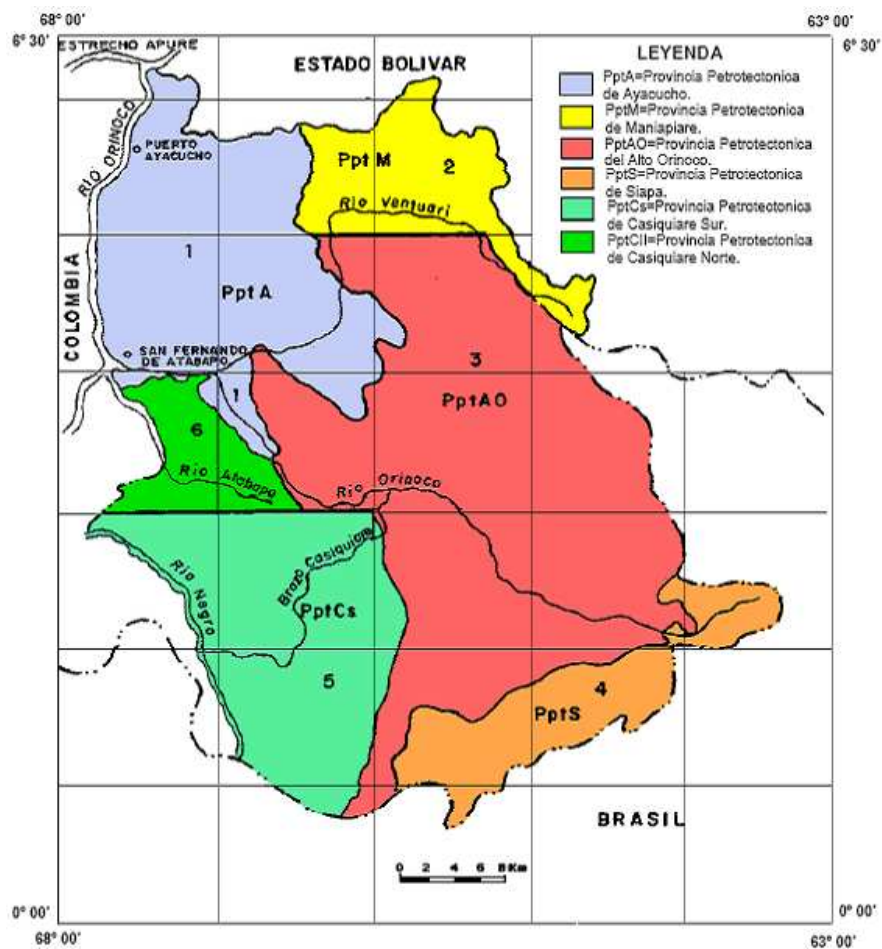
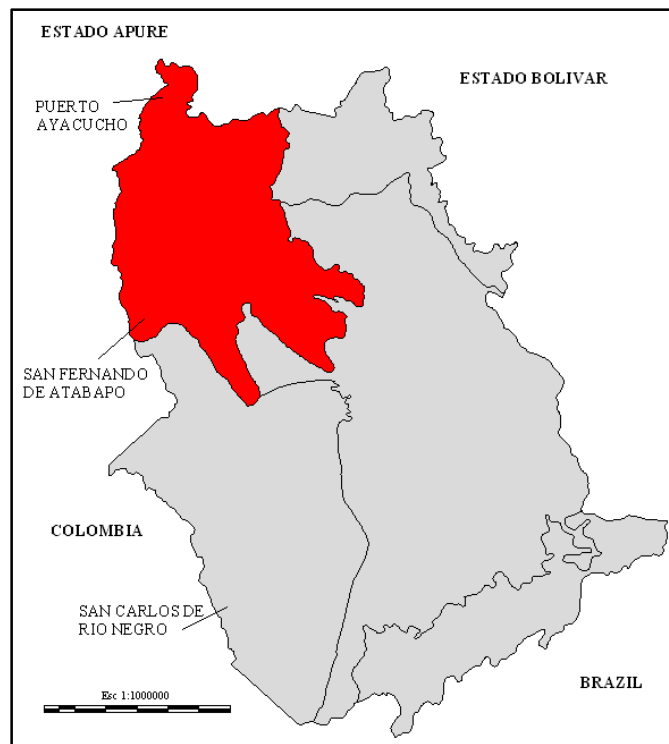


Fig. N° 4-8 Ubicación relativa de las provincias petrotectónicas del estado Amazonas (Tomado de Mendoza 2005)

#### 4.4.1. Subprovincia Petrotectónica Ayacucho

La Subprovincia Petrotectónica de Ayacucho se encuentra ubicada al nor-oeste del estado Amazonas (ver Fig. N° 4-10), incluye granitos anorogénicos más jóvenes y anteriores a 1,550 M.a, tipo Granito Rapakivi del Parguaza, Atabapo (1,696 M.a por Rb/Sr, roca total), Cuao, Granito del Marieta y facies de éstos como la Granodiorita del Sipapo y las Ríodacitas Porfídicas del Guayapo (1,340 ± 10 M.a) , el Granito de Guapuchí, etc., todos ellos intrusivos en un basamento formado por rocas volcánicas tipo volcánicas de Caicara y granitos biotíticos tipo Santa Rosalía de la Asociación Cuchivero. Las foliaciones del basamento y fracturas de todas las rocas son N 10°-30° O, estando cortadas por fracturas N 30°-50° E.



**Fig. N° 4-9 Ubicación Relativa de la Subprovincia Petrotectónica de Ayacucho (Tomado y modificado de Mendoza 2005)**

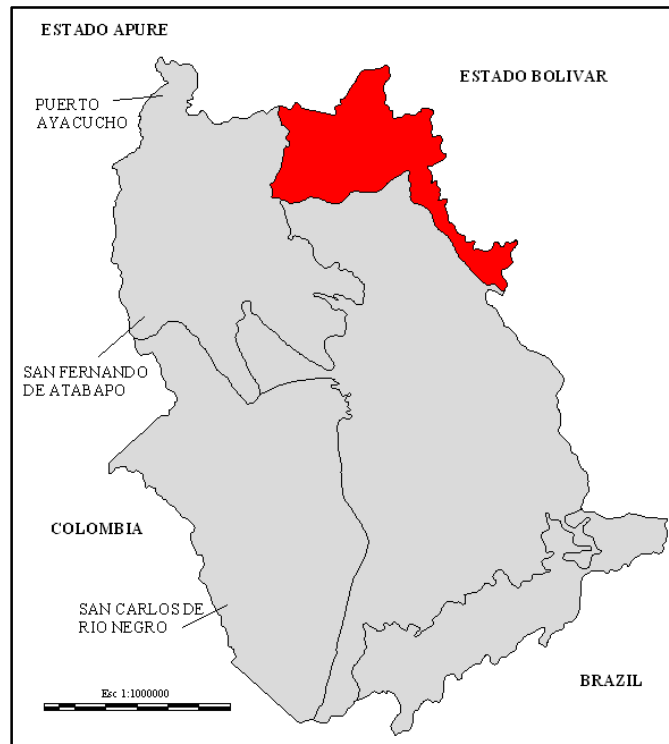
Toda la subprovincia sufrió reactivaciones tectono-termales durante la Orogénesis Nickeriana, con milonitización y reajustes de fallas y cruces de fallas, emplazamientos de pegmatitas heterogéneas mineralizadas con estaño, columbita-

tantalit y otros recursos minerales, de complejos alcalinos, aplitas y granitos especializados ricos en estaño. Los granitos intrusivos son epizonales, mientras que los de Cuchivero son mesozonales y las volcánicas son explosivas ríolíticas. Geomorfológicamente, la subprovincia presenta planaltos, como el de Pijiguaos, Chivapure, Cataniapo, etc., que por lixiviación tropical lluviosa dió origen a gigantescos depósitos de lateritas alúminicas o lateritas bauxíticas.

Discordante encima de toda la secuencia desde los 6° 30' hasta los 4° de latitud norte, aparecen tepuis de rocas del Grupo Roraima, diferentes estratigráficamente unos con otros (GHOSH, 1.977) pero que corresponden a la parte superior de Roraima con edad cercana a los 1.500 Ma., ya que descansan discordantes sobre el Granito Rapakivi de El Parguaza, como pudo observarse y muestrearse tal contacto en el tepuy del río Cuao en su curso medio-superior (Mendoza y otros, 1977).

#### **4.4.2. Subprovincia Piroclástica de Manapiare**

La subprovincia piroclástica de Manapiare se encuentra ubicada al nor-este del estado Amazonas, en el límite con el estado Bolívar, (ver Fig. N° 4-11), esta subprovincia se compone de intrusiones de rocas volcánicas de los ríos Asita y Parucito tipo rocas volcánicas de Caicara y de granitos biotíticos, como los de Kakuri y Parí, tipo Granito de Santa Rosalía de la Asociación Cuchivero, en un basamento bien expuesto en el Alto Ventuari, en las cercanías de Cerro Impacto y otras localizaciones, de gneises y migmatitas tonalítico-trondjemíticas granodioríticas (TTG) similares a las del Complejo de Supamo, con intrusiones gabroides y ultramáficas estratificadas, remanentes de un complejo máfico-ultramáfico estratificado con alguna mineralización por sulfuros (pirita, calcopirita y pirrotita) como los meta-gabros de Manapiare y de Asita, que representan un objetivo o “target” para prospectar depósitos de Ni – Cu ± PGEs.



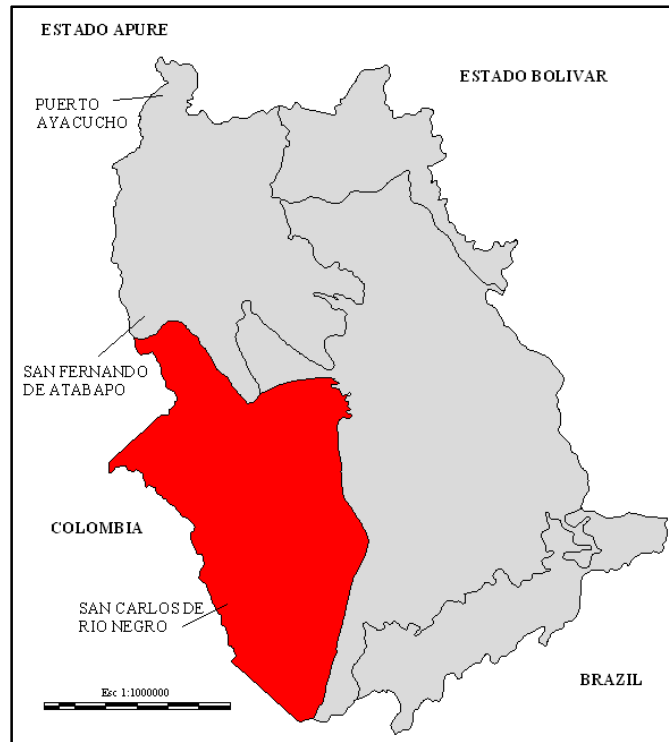
**Fig. N° 4-10 Ubicación relativa de la Subprovincia Petrotectónica de Manapiare (Tomado y Modificado de Mendoza 2005)**

Algunas rocas metasedimentarias pre-Roraima se observan en contacto e intercaladas con las rocas volcánicas ríolíticas de Caicara. Las tendencias o “trends” en las volcánicas siguen fracturas tipo NS como también ocurrió con la Carbonatita de Cerro Impacto. Fracturas más antiguas en la zona son de tendencia NE y NO. Un cuerpo de forma elipsoidal alargado y orientado aproximadamente NS conocido como Carbonatita de Cerro Impacto intrusionó toda la secuencia en tiempos post Nickerian y posiblemente post kimberlitas de Guaniamo, más bien relacionados con la disrupción de la Pangea y la formación del Atlántico durante el Mesozoico. La subprovincia muestra relieve elevado y accidentado, pero menos prominente que el de la Subprovincia Ayacucho.

#### **4.4.3. Subprovincia Petrotectónica del Casiquiare**

La Subprovincia Petrotectónica del Casiquiare se encuentra ubicada al sur-oeste del estado Amazonas (ver Fig. N° 4-12). Esta subprovincia se caracteriza por su

plano y bajo relieve por lo tanta es conocida como “Penillanura del Casiquiare” y por su complejidad lito-tectonometamórfica.



**Fig. N° 4-11 Ubicación Relativa de la Subprovincia Petrotectónica del Casiquiare (Tomado y Modificado de Mendoza 2005)**

Las rocas aflorantes entre Atabapo y Santa Cruz cerca de Maroa, RIVAS (1,985) las denominó Complejo Casiquiare que corresponde en buena parte a lo que se cita más abajo como Asociación Atabapo-Maróa. En orden de mayor grado metamórfico a menor grado metamórfico se distinguen las siguientes asociaciones:

Asociación Atabapo-Maróa: compuesta por gneises y migmatitas tonalíticas y trondjemíticas con intrusiones cuarzo-gabroides a tonalíticas, tipo Complejo de Supamo y gneises félsicos y máficos, metamorfizados a la facies anfíbolita, en cierto modo, algo parecidos a los gneises de Imataca en la zona de Gurí, o los del Complejo de El Tinaco en Cojedes, pero que en Amazonas dan edades desde 1.630 M.a. a 1.842 ± 44 M.a).

Asociación Caño Casiquiare: compuestos de complejos gabroides intrusivos en rocas graníticas gneisicas tonalíticas, migmatíticas, escasamente trondjemíticas o cuarzo mozoníticas con poco o nada de sedimentos asociados, una especie de Complejo de Supamo con mayores componentes máficos.

Asociación San Carlos-Cucuy: gneises, augeneises cuarzo feldespático anfibólicos con migmatitas y al parecer escasos metasedimentos son intrusionados por una serie de granitos anorogénicos pero que no desarrollan una bien definida textura rapakivi, como son los granitos de Solano, San Carlos de Río Negro y San Simón del Cucuy. Esta asociación forma parte de la Provincia Río Negro-Juruena. En los ríos Pasimoni, Yatúa y Baria afloran rocas del Complejo Casiquiare (rocas entremezcladas de granitos, gneises, tonalitas, meta-areniscas, meta-volcánicas y rocas básicas, según RINCÓN y ZERPA, 1.992), granitos porfídicos de San Carlos. Las edades Rb-Sr en roca total del Complejo Casiquiare son de 1.650 M.a. del evento tectónico Río Negro-Juruena. Edades de 1.300 a 1.360 M.a. fueron obtenidas por K/Ar en biotitas de rocas del río Casiquiare.

En el río Yatúa afloran lajas bajas de granitos de grano medio a grueso, masivos a semi-foliados, de color gris rosáceo. En la parte baja del río Pasimoni aflora un verdadero complejo formado por granitos, gneises máficos anfibólicos, migmatitas y rocas gabroides. Desde Maroa hasta la Piedra del Cocuy, a través de los ríos Guainía y Negro afloran los siguientes tipos de rocas: granito biotítico microporfirítico, granito anfibólico, microporfirítico, granito piroxénico microporfirítico, granito biotítico gnéisico de grano grueso, granito biotítico clorítico de grano grueso, granito pegmatítico, gneis granítico, gneis granodiorítico, augen gneis y monzodiorita (Yanez y otros, 1.992).

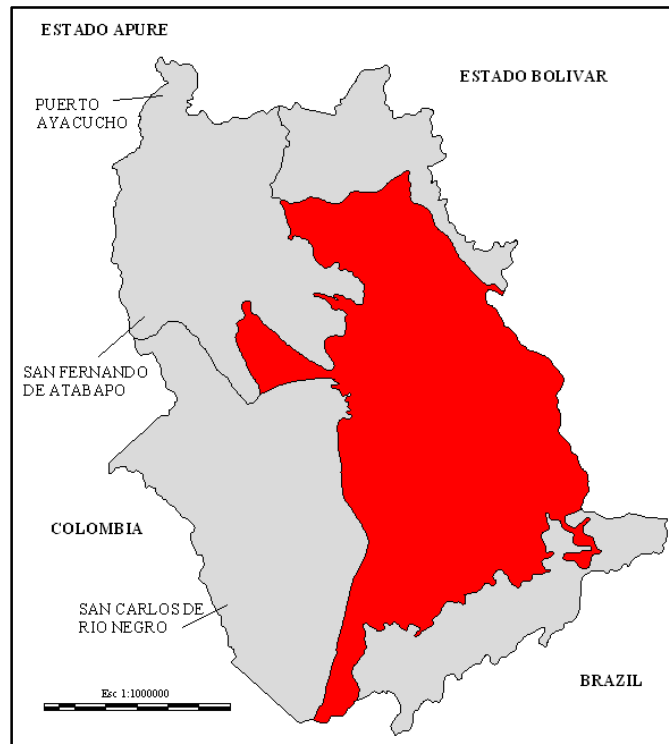
Esta subprovincia se caracteriza por la ausencia total de rocas volcánicas y plutónicas tipo Asociación Cuchivero, por la escasez de metasedimentos y de sedimentos tipo Roraima. Tiene el aspecto de una provincia Pastora, plana y baja, donde los equivalentes del Complejo de Supamo han sido más tectonizados y los

cinturones de rocas verdes han sido parcial a totalmente erosionados. Al norte del caño San Miguel, que sigue una gran falla o zona de cizalla de rumbo cercano a EO, las tendencias estructurales en rocas con mayor deformación y metamorfismo son N 50°-60°O y N 10°-30° E. Al sur del mismo caño, las tendencias son más irregulares, destacando las NS, EO y N 20°-30° E. Esta ha sido hasta el presente una pobre subprovincia minera si excluimos de la misma el oro encontrado en y próximo a Yapacana pero muy provechosa para la explotación del caucho natural, sobre todo en el primer tercio del siglo XX.

#### **4.4.4. Subprovincia Petrotectónica del Alto Orinoco**

Esta subprovincia se extiende desde la confluencia del río Ventuari en el río Orinoco hasta las nacientes del gran río y se continúa por Parima y Surucucú en Brasil (ver Fig. N° 4-13), y representa una subprovincia intermedia en composición litológica, metamorfismo y tectonismo entre las subprovincias Manapiare y Casiquiare. De allí que resulte bastante compleja. Litológicamente está formada por cuarzo-monzonitas semimasivas o atectónicas como las de los ríos Parú, Yureba y Marueta, intrusivas en gneises tonalíticos y augengneises como los de Macabana, gneises cuarzo-plagioclásicos-epidótico-biotíticos, granitos trondjemíticos, tonalitas y rocas gabroides, es decir del tipo Complejo de Supamo.

Rocas volcánicas ríolíticas tipo Caicara y granitos tipo Santa Rosalía de la Asociación Cuchivero, como los granitos de Padamo, Ocamo (MENDOZA y otros, 1,977) y otros que arrojan edades Rb-Sr roca total próximas a 1,86 Ga intrusieron a todas las rocas anteriores (GAUDETTE y OLSZEOSKI, 1,985).



**Fig. N° 4-12 Ubicación relativa de la Subprovincia Petrotectónica del Alto Orinoco (Tomado y Modificado de Mendoza 2005)**

Otras rocas como los granitos recristalizados del Río Cunucunuma, de Kiratare y la granodiorita de Jaricheta afloran como cuerpos aparentemente aislados aunque parecen ser en edad post-gneises y migmatias tonalíticas tipo Minicia o Supamo-Bártica. Los granitos rapakivi tipo Parguaza abundan hacia el extremo S-SE de la subprovincia y se conocen como Granito de Parima, Granito de Surucucú, explotados sus aluviones para Sn por la compañía minera brasilera VRD en la década de los años 70.

En el área del Río Cunucunuma-Tepuys Duida-Marahuaca, MARTINEZ y MARTINEZ (1.992) identificaron rocas de las subprovincias petrotectónicas del Casiquiare, Alto Orinoco y de la Provincia Roraima. Las rocas pertenecientes a la Subporvincia Petrotectonica del Alto Orinoco son dos tipos de granitos: 1) granitos tectonizados del Alto Río Cunucunuma y 2) Granitos rapakivi tipo Parguaza . Los granitos del Alto Río Cunucunuma, de grano grueso, con epidoto y vetillas de

epidoto, inequigranulares, color gris a rosado, aflorantes aguas arriba de la comunidad makiritare de Culebra, bordeando y como basamento del tepuy Huachamacare hasta el salto Takudi Shado, donde el granito cataclástico contiene grandes xenolitos de rocas graníticas de grano fino. Esta zona está cruzada por una gran falla regional de rumbo NO-SE, asociada a la cual los granitos han sufrido fuerte cataclasis y cizallamiento. A unos 3 Km aguas arriba de este salto Takudi Shado se observan en el Granito de Cunucunuma intrusiones aplíticas y de granitos tipo rapakivi. Los granitos rapakivi son de grano muy grueso en el área Belén-Culebra con feldespatos rapakivis de hasta 2,5 cm, con cuarzo azulado local (como en la comunidad indígena de Mapaco), con magnetita y alteración hidrotermal (clorita-epidoto) por la cercanía de la gran falla.

En la comunidad indígena de Akanaña los granitos rapakivis afloran en inmensos y espectaculares domos. A unos 7 Km aguas arriba de la desembocadura del río Cunucuma en el Orinoco pasa el contacto entre las sub-provincias Alto Orinoco al NNE y Casiquiare al S-SO.

Por encima de esta secuencia afloran discordantemente rocas meta-sedimentarias clásticas que ocupan filas alargadas desde la boca del río Mavaca pasando por Platanal y Guaharibos, equivalentes a la Formación Unturan de ASCANIO y otros (1,989). Esta provincia registra un marcado tectonismo de dirección NE, con fuerte cizallamiento, que ha originado un graben a lo largo del río Ocamo y un horst entre los ríos Ocamo y Matacuni. Estos bloques están limitados por un extenso cizallamiento de dirección NO que controla los cursos de los ríos Alto Orinoco y Putaco.

A 10 Km aguas arriba desde la desembocadura del río Ocamo afloran rocas volcánicas tipo andesita de color gris verdoso, afanítica, con algunos fenocristales de plagioclasa. Estas rocas se encuentran en contacto con bloques rectangulares graníticas del tipo Granito de Santa Rosalía. Entre Platanal y arriba del Salto de Guaharibos en el Alto Orinoco, afloran también lavas andesíticas de color gris

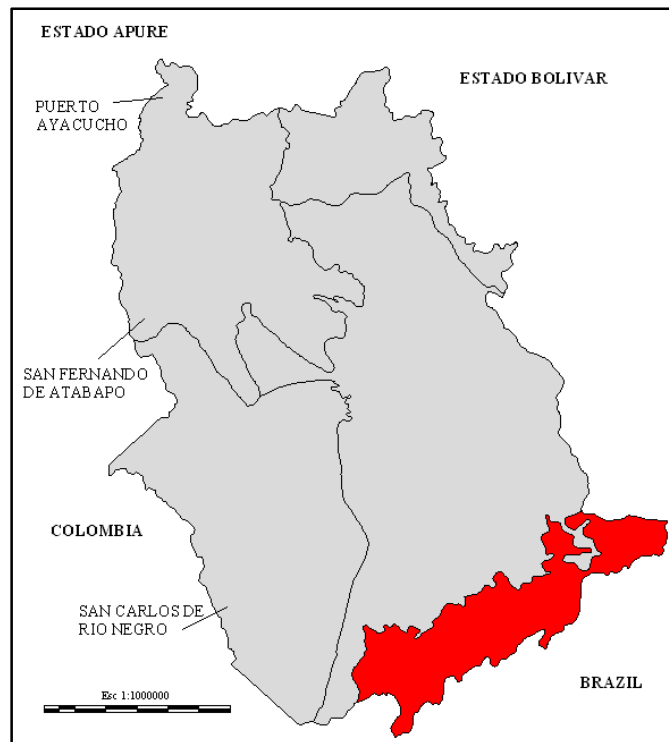
verdoso de grano fino, algo piritizadas, conteniendo vetas y vetillas de cuarzo. Igualmente afloran tobas y lavas félsicas del tipo ríolítico de la Asociación tipo Cuchivero. MARTINEZ y otros (1992) identificaron cuarcitas conglomeráticas con clastos de cuarcitas macizas, recristalizadas, que SÉLLIER (1966) denominó “Facies Guaharibos” y que están cubiertos por unos 300 m de areniscas macizas, silicificadas del tipo Formación Unturàn, que están tectonizadas y contienen moscovita. Hacia Parima y Alto Orinoco afloran domos graníticos tipo Surucucù y granitos rapakivi tipo El Parguaza.

Todas las rocas mencionadas fueron intrusionadas por los citados granitos rapakivis del tipo Parguaza cuyos stocks redondeados, pequeños, de granitos “especializados” han sido, algunos pocos, explotados, en sus derivados aluviones, por casiterita y minerales asociados a ella. A lo largo de grandes fracturas de tendencia N 20° – 40° O, truncadas por fracturas NE y en la intersección de tales sistemas se emplazaron complejos alcalinos con contenidos relativamente altos de U, Th y otros elementos como ya se refirió anteriormente.

#### **4.4.5. Subprovincia Petroitónica Del Siapa**

La subprovincia petroitónica del Siapa (ver Fig. N° 4-14) se extiende desde la divisoria de aguas del Alto Orinoco y las de su afluente Mavaca con las del río Siapa. Tiene la misma tendencia estructural que las provincia Imataca y Kanukú (N 60-70 E) y el trend del Grupo Botanamo, se continúa en Brasil (Cachorro) y Guyana. Litológicamente se compone de metasedimentos tectonizados, cizallados de esquistos cuarzo-micáceos- estaurolíticos granatíferos y gneises cuarzo-feldespáticos-epidótico-anfibolíticos y anfibolitas o remantes de cinturones de rocas verdes, similares a las del Grupo Vila Nova de Brasil, de edad Paleoproterozoico pero de trend opuesto en 90° (Vila Nova de tendencia N 30°-50° O, Siapa de tendencia N 60°-70° E), sobre un basamento de gneises tonalíticos y trondjemíticos y migmatitas equivalentes. Toda la secuencia infra y supracortical ha sido intrusionada por granitos y granodioritas anorogénicas o postectónicas (< 1.700 M.a.). Una cubierta metasedimentaria

intercalada con metapiroclásticas ríolíticas pre-Roraima, denominada Formación Unturán (ASCANIO y SCHERER, 1.997) se localiza debajo del Grupo Roraima y se extiende hasta Neblina en el límite de Brasil con Venezuela. El basamento de Neblina lo constituyen remanentes de los cinturones de rocas verdes-tonalíticos trondjemíticos granodioríticos metamorfizados en la fase de esquistos verdes y anfibolita.



**Fig. N° 4-13 Ubicación Relativa de la Subprovincia Petrotectónica del Siapa  
(Tomado y Modificado de Mendoza 2005)**

## **CAPITULO V**

### **5. GEOLOGÍA FISICA**

#### **5.1. GENERALIDADES**

En el Amazonas venezolano, los elementos climáticos son afectados por factores que producen cambios en lo que podría denominarse su modelo de comportamiento general. Esto, por supuesto, viene a servir de base para explicar la diversidad de tipos climáticos y, por ende, de los regímenes generales de fenómenos meteorológicos. Es casi un convenio aceptado por los naturalistas que la lluvia constituye el elemento climático más importante en el espacio intertropical. Se le reconoce una influencia determinante en la composición y fisonomía de la vegetación, como en lo relacionado con el régimen de las aguas. Así, la intensidad, la frecuencia y el volumen de las precipitaciones son considerados como los hechos más importantes a estudiar para el mejor conocimiento de la climatología del Amazonas venezolano (BOADAS, 1983).

En este capítulo se describirán las características climáticas, de relieve, la hidrografía, los tipos de suelo y los tipos de vegetación que predominan en el área de estudio, las descripciones de estos tópicos han sido tomadas del Proyecto del Plan de Ordenamiento Territorial del Estado Amazonas, este proyecto fue llevado a cabo por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, actualmente Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, en el mes de agosto de 2003.

#### **5.2. CLIMA**

La zona de convergencia intertropical, que en la circulación atmosférica general es reconocida como la zona hacia donde se dirigen los vientos alisios que soplan desde los centros de alta presión del océano Atlántico norte (Alta de las Azores) y del Atlántico sur, es el fenómeno atmosférico de mayor interés en el estudio de la

climatología regional. El estado Amazonas está localizado al sur del paralelo 6 N y por su latitud ecuatorial se considera que la pluviosidad del Amazonas venezolano se corresponde casi perfectamente con el comportamiento de la zona de convergencia intertropical americana (BOADAS, 1983).

En el área de estudio existe una variación climática caracterizada por altos valores de precipitación, temperatura y humedad, debido a la influencia ejercida por parte del núcleo de convergencia intertropical, aunque el relieve y la circulación atmosférica pueden modificar su comportamiento (MINAMB, Sistemas Ambientales Venezolanos, 1983).

Para realizar el análisis del clima del estado Amazonas, la información climática ha sido tomada de la Dirección de Hidrología y Meteorología, y del Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica (SINAIHME), del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN), para períodos que van desde el año 1958 hasta el 2002. También se consideró el análisis de la información bibliográfica secundaria realizada por CVG Técnica Minera, C. A.

El análisis cualitativo y cuantitativo fue realizado considerando las variables, precipitación media anual, temperatura media anual y evaporación media anual, de acuerdo los valores registrados en 31 estaciones hidrometeorológicas que abarcan distintas zonas del estado Amazonas, los datos de interés para este trabajo fueron tomados de las estaciones ubicadas en las localidades de Puerto Ayacucho, San Fernando de Atabapo, Santa Barbará del Orinoco, San Juan de Manapiare, Yekuana entre otros. Obteniéndose como producto final las isolíneas que correspondientes a isoyetas en la Fig. N° 5-1.

### **5.2.1. Precipitación**

El régimen de precipitación es de tipo unimodal, presentando los máximos de precipitación entre los meses de Mayo y Julio, siendo el mes más lluvioso el mes de Junio, alcanzando valores de más de 500 mm mensuales, el período de menor

precipitación se presenta entre los meses de Diciembre y Febrero, correspondiendo en general el mínimo al mes de Enero, con precipitaciones por debajo de los 50 mm mensuales, por el cual pueden considerarse meses secos.

En un estudio más detallado de la zona se pudo determinar tres grandes sectores de precipitación: uno con valores de precipitación que oscilan entre los 2200 mm y 2600 mm, ubicados en la sección donde se encuentra distribuida la población, dominado por los paisajes con alturas menores a los 400 msnm, el segundo constituido por la sección con precipitaciones que van desde los 2600 mm a 2700 mm, caracterizado por presentar uniformidad durante el período de lluvia y se corresponde con los paisajes con alturas comprendidas entre 400 msnm y 720 msnm y el tercer sector con valores de precipitación que varían entre 2700 mm y 2900 mm ubicados en la parte alta del río Cuao al este del área, localizado en los paisajes más elevados con alturas mayores a 720 msnm.

En resumen la precipitación media anual a lo largo del área de estudio varía entre los 2200 mm y los 2900 mm, caracterizándose por presentar un aumento en dirección oeste-este, a grandes rasgos se podría decir que las mayores precipitaciones se concentran al oriente del área estudiada, experimentando una disminución en la medida en que desciende hacia las zonas más planas correspondiente con las riberas del río Orinoco.

### **5.2.2. Temperatura**

Para el análisis de esta variable, se consideraron los registros de la temperatura media, temperatura mínima media y temperatura máxima media de las estaciones Puerto Ayacucho y San Fernando de Atabapo. La temperatura media presenta ligeras variaciones en el transcurso del año, presentando valores máximos en los meses de Febrero (28,5 °C) y Marzo (28,6°C). La temperatura mínima media igualmente presenta bastante uniformidad a lo largo del año, abarcando principalmente los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre. En cuanto a la temperatura máxima media, ésta guarda una relación inversamente proporcional a la precipitación,

donde las más bajas temperaturas se presentan en los meses de Junio y Julio, y las máximas en los meses de Noviembre a Marzo, en este sentido se puede decir que las temperaturas medias mensuales oscilaron entre los 25,2 °C para el mes de Julio y los 28,6 °C en el mes de Marzo.

### **5.2.3. Evaporación**

Tomando en consideración los registros presentados por las estaciones San Fernando de Atabapo, Santa Bárbara del Orinoco y Puerto Ayacucho, puede decirse que existe una relación inversamente proporcional de esta variable con respecto a la precipitación, es decir, que en el período comprendido entre Mayo y Julio que es cuando se presentan las mayores precipitaciones, los valores de evaporación son los más bajos, por debajo de los 150 mm mensual, correspondiente al mes de Junio. Por otra parte, los meses de mayor evaporación corresponden al período de Diciembre a Marzo con valores de hasta 230 mm mensuales.

INTERPRETACION GEOLOGICA MEDIANTE EL USO DE SENSORES REMOTOS DE UNA ZONA UBICADA AL SUR DE LA CIUDAD DE PUERTO AYACUCHO, EDO AMAZONAS

CAPITULO V – GEOLOGIA FISICA

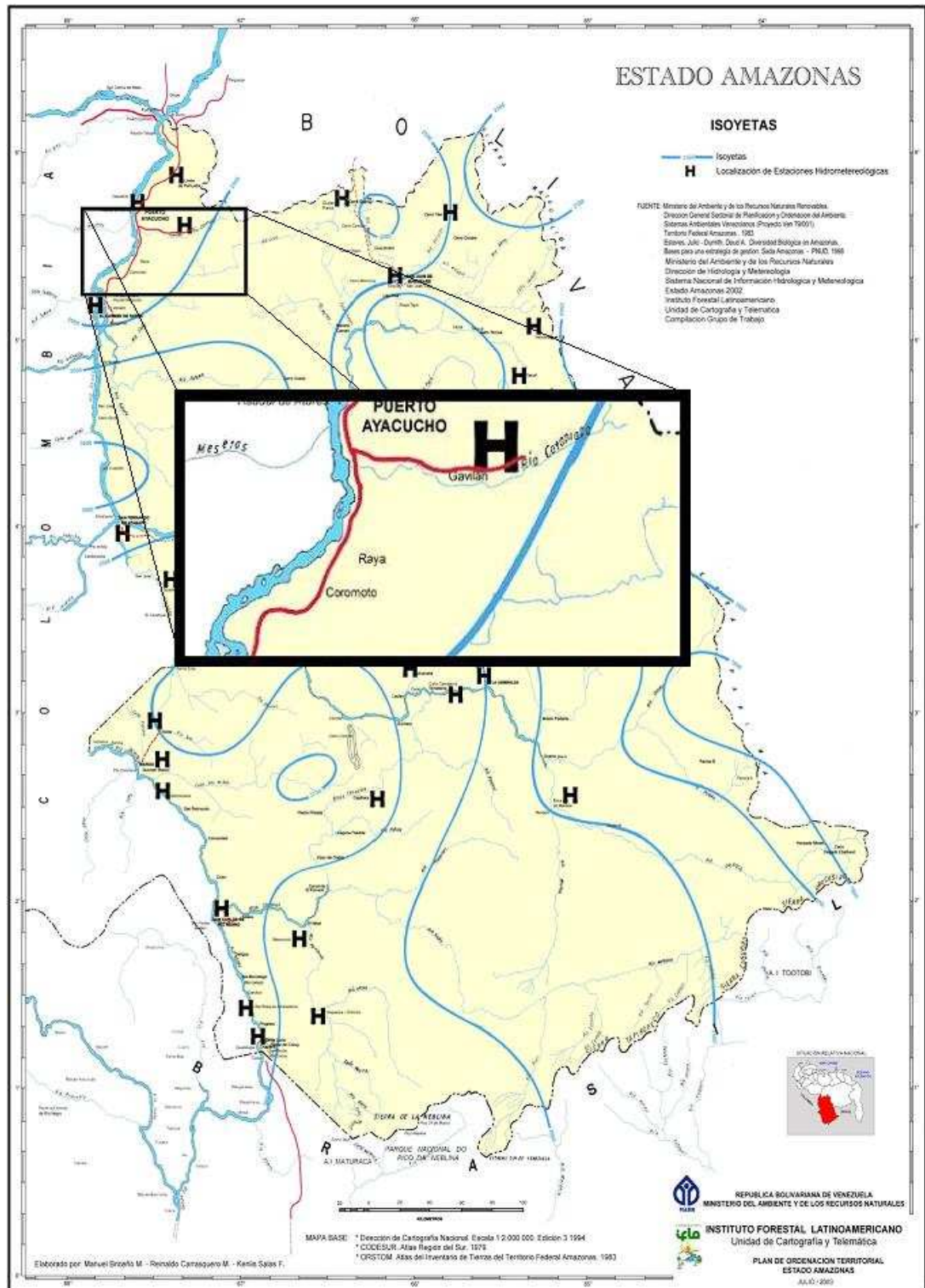


Fig. N° 5-1 Mapa de Isoyetas del Estado Amazonas, en el recuadro negro se muestra un detalle de la zona de estudio. (Tomado y Modificado de MINAMB 2003)

### 5.3. HIDROGRAFÍA

Las altas precipitaciones que caracterizan la región amazónica, permiten la disponibilidad de agua durante todo el año y generan una densa y extendida red de drenaje que discurre sobre un manto de rocas duras, resistentes a la erosión, que dan origen a numerosos saltos y raudales, llegando a interrumpir la navegación, particularmente durante la época de aguas bajas. Esta abundante disponibilidad del recurso hídrico conforma un potencial muy promisorio para la generación de energía hidráulica para satisfacer las demandas locales, y aún, parte de la demanda nacional. Por otra parte, la red hidrográfica del estado Amazonas, ha sido la principal vía de comunicación y transporte, de allí que el patrón tradicional de asentamientos humanos, sigue las márgenes de los principales ríos navegables, lo cual a su vez representa una ventaja comparativa para la integración con los países vecinos.

Generalmente, las corrientes de agua serpentean y discurren por los bordes de los afloramientos rocosos más resistentes o cruzan entre rocas muy duras, a lo largo de fallas estructurales de desplazamiento horizontal. Particularmente los ríos de menor caudal, siguen las alineaciones estructurales de cada conjunto y se corresponden con los diferentes eventos tectónicos y volcánicos que tuvieron lugar en la región. El patrón dominante de drenaje es una especie de enrejado, que denota el control absoluto de las estructuras sobre las líneas de escurrimiento. La lluvia es la principal fuente de alimentación de los cursos de agua, de allí que los caudales guardan una estrecha relación con el régimen de las precipitaciones.

La red hidrográfica regional está organizada y orientada hacia dos grandes cuencas: los ríos Orinoco y Amazonas. La parte de la red que alimenta al Orinoco cubre una superficie aproximada de 114.936 km<sup>2</sup>, mientras que la que alimenta al Amazonas cubre unos 52.055 km<sup>2</sup>. El área de estudio se caracteriza por presentar una densa y extensa red hidrográfica, cuyos cauces por lo general son permanentes durante todo el año, organizándose fundamentalmente sobre la cuenca del río Orinoco

en primer lugar, y sobre las cuencas de los ríos Cataniapo, Samariapo y Cuao en segundo lugar.

La red hidrográfica está conformada por un complejo sistema fluvial integrada por grandes ríos, donde el eje principal es el Orinoco, el cual, desde su nacimiento en la Sierra Parima hasta la confluencia con el Meta, tiene una longitud de 940 Km. En su recorrido dentro del estado Amazonas, el curso del Orinoco cambia de rumbo en varios tramos, ajustándose de esta manera al rumbo que la geología le ha impuesto y a las presiones laterales ejercidas por afluentes caudalosos. En términos generales, desde su nacimiento hasta Santa Bárbara del Orinoco (lugar de confluencia con el río Ventuari), el río discurre en sentido ESE - ONO; de allí hasta San Fernando de Atabapo (donde confluyen los ríos Atabapo y Guaviare) se desplaza en sentido E-O; tomando un rumbo norte y noreste hasta su salida de la región.

Los raudales de Atures constituyen el punto de ruptura de la navegación por el Orinoco, hasta su desembocadura en el océano Atlántico. Estos raudales, conjuntamente con los de Maipures, situados aguas arriba, ejercen un control sobre el escurrimiento del río y marcan una separación en el perfil longitudinal del mismo. Se ha calculado un desnivel medio de 31 m en las cotas del río Orinoco inmediatamente antes y después de los raudales de Maipures y de Atures respectivamente.

La cuenca del río Cataniapo constituye la red hidrográfica de mayor importancia para el área de estudio con una superficie aproximada de 153.800 ha, sobre la cual convergen gran cantidad de afluentes que tienen su nacimiento en los paisajes de meseta y montaña. Además de presentar una diversidad de flora y fauna, también sirve como principal abastecedor de agua potable a la ciudad de Puerto Ayacucho y sus adyacencias.

#### **5.4. RELIEVE**

El relieve del estado Amazonas constituye una parte apreciable del Escudo Guayano-Brasileño aunque no formando una cadena ininterrumpida de elevaciones, sino macizos aislados entre sí. Debido a la antigüedad de su geología y a la diferente resistencia de los distintos materiales que lo componen, el relieve se puede clasificar en una primera aproximación como plano y bajo, cubierto por sabanas y selvas interrumpidas por macizos (ver Fig. N° 5-2).

Entre las tierras planas se tienen miles de kilómetros cuadrados en los valles de Manapiare y la gran sabana del Ventuari, entre las tierras bajas se tienen las que bordean el río Casiquiare, la gran franja que se extiende del Orinoco, subiendo casi hasta el raudal de Guajaribos, escurriendo sus aguas hacia el norte, en la cuenca del Orinoco y al sur de río Negro, con apenas una pendiente del 2%.

Una definición más precisa del relieve del estado Amazonas, está asociada con la existencia de macizos graníticos, altiplanicies y tepuyes, los cuales ocupan extensos sectores que se inician en el extremo noroccidental y se dirigen en dos direcciones, Este y Sur, configurando de esta manera los límites con el Estado Bolívar.

Las mesetas llamadas tepuyes, cuya apariencia desde lejos se asemeja a la de enormes mesas cilíndrico-cónicas irregulares y truncadas y que por su continua resistencia a los procesos erosivos han subsistido como verdaderas reliquias geológicas. Destacan, la sierra de Parima que define el límite con Brasil. Desde las cabeceras del Orinoco se extiende hacia el suroeste las serranías de La Neblina, Urucusito, Tapirapécó y Unturán, cuyas divisorias de agua sirven para delimitar las fronteras entre Venezuela y Brasil.

Al sur se encuentra La Piedra del Cocuy, en el extremo sur, elevación aislada de 400 m. la serranía de La Neblina, con 2940 m que se extiende hasta Brasil. En esta serranía están los picos Zuloaga de 2800 m y Cardona con 2.650 m; la sierra Imeri que es continuación por el este de la serranía de La Neblina y al norte de la serranía

La Neblina, el cerro Avispa con 1.800 m, y la sierra de Aracamuní. En la serranía La Neblina se encuentra la maravilla natural de Cañón Grande, gran valle interior, uno de los más grandes y espectaculares del mundo, que drena la mayoría de sus aguas hacia el Casiquiare.

Al este se encuentran las sierras Tapirapécó y Curupira, iniciándose al este, poco elevadas. En ellas se encuentra el cerro Delgado Chalbaud con 1.047 m, origen de las fuentes del río Orinoco y el vertiente orográfico, que tuerce al norte a través de la Sierra Pairma, de alturas modestas entre los 500 y 1.500 m. el cerro Kamakoni-Jidi se encuentra el final de la sierra Parima y representa la frontera entre Brasil y Venezuela y el estado Amazonas con el estado Bolívar.

En el centro del estado se encuentran la doble formación de Duida: extensa meseta a 2.400 msnm y Marahuaca a 2.508 msnm. Al oeste el cerro Yapacana a 1.345 msnm aislado en la llanura, además de los picos KayMayojo 1.500 m, Kaymaychui con 725m y Uripikay 500m. al norte los cerros Autana y Sipapo ambos con 1.800 m. sobre una plataforma elevada entre los 500 y 1.000 m donde destacan estos cerros testigos de una orografía casi desaparecida.

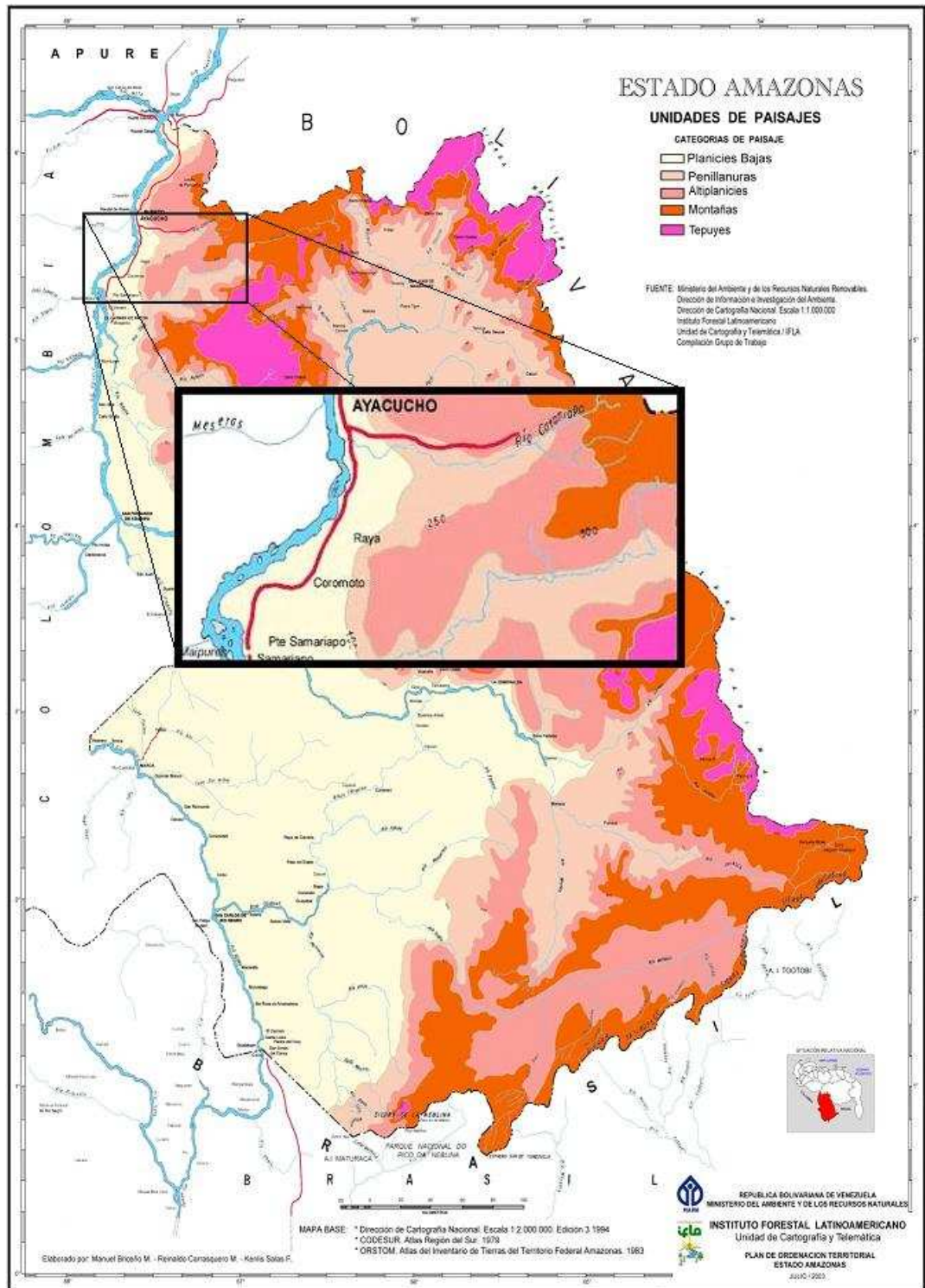


Fig. N° 5-2 Mapa de Relieve del Estado Amazonas, en el recuadro negro se muestra en detalle la zona de estudio. (Tomado y Modificado de MINAMB 2003)

## 5.5. SUELOS

El suelo, la flora y la fauna son elementos del ambiente natural amazónico venezolano que reúnen características muy particulares; los elementos bióticos guardan estrecha relación y están íntimamente relacionados con factores geológicos, climáticos e hidrográficos. Para muchos estudiosos de los espacios tropicales húmedos del Amazonas venezolano, la relación entre los elementos bióticos es tan estrecha y de tal magnitud, que pequeños cambios de ellos repercute significativamente en la estructura y comportamiento de los otros, esto explica la gran fragilidad de los sistemas ecológicos amazónicos.

Para la caracterización de los suelos se considero el orden de los suelos propuesto por el *Soil Taxonomy*, con base tomada por el proyecto C.V.G TECNICA MINERA. Esta clasificación fue desarrollada y coordinada internacionalmente por el Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos, dando una clasificación de suelos basada en aquellas propiedades de los suelos que no eran susceptibles de cambiar con facilidad, como la textura, el grado de lixiviado y la capacidad de cambio catiónico, el esquema desarrollado usa la presencia de horizontes superficiales y subsuperficiales específicos y criterios de diagnóstico para clasificar y cartografiar los suelos, se desarrolla en niveles: Orden (reflejan el tipo de proceso formador del suelo dominante), Suborden (propiedades que afectan a la edafogénesis), Gran Grupo (distinguidos por el régimen de humedad y de temperatura), Subgrupo (concepto central de cada suelo), Familia (propiedades físicas y químicas), y Serie (nombres locales). En el mapa presentado en la Fig. N° 5-3 se presentan los tipos de suelos presentes en el estado Amazonas, las descripción de estos corresponden a la zona general de estudio, resaltada en el recuadro negro.

### 5.5.1. Entisoles

Constituyen el primer orden de suelos de mayor importancia y presencia en la zona de estudio, se caracterizan por mostrar un escaso desarrollo evolutivo, debido a que son suelos cuyo origen es reciente. Esto se observa en aquellos formados a partir

de materiales coluvio-aluviales y aluviales, así como en los localizados en posiciones geomorfológicas sometidos a continuas remociones de material (MINABM, 2003).

Litológicamente este tipo de suelo se ha originado a partir de rocas de la provincias geológicas de Cuchivero y Roraima, así como también de sedimentos de origen coluvio-aluviales y aluviales; presentando texturas livianas y ocasionalmente pesadas que en términos generales no indican un desarrollo en cuanto a su estructura, pudiéndose observar algunas veces estructuras blocosas subangulares con muy poco desarrollo pedogenético, lo cual se manifiesta en la poca fertilidad natural del suelo (MINABM, 2003).

Según el estudio de la C.V.G en orden se suelos, los grandes grupos presentes en el área son: Tropaquents, ubicados hacia las llanuras de inundación y de erosión muy profundos (>100 cm) mientras que los localizados en la vegas son superficiales o moderadamente profundos (5-40 cm), desenvolviéndose en un bioclima ombrófilo macrotérmico de temperatura anual entre 18 – 24 °C. Troprthents, desarrollados a partir de rocas volcánicas son de textura franca y franco arcillo-arenosa, a diferencia de los originados de granitos y areniscas con textura arenosa y franco arenosa, Quartzipsamments muy profundos (>150 cm), presentado además una textura arenosa y areno francosa. Y Ustorthents, desarrollados a partir de rocas graníticas.

### **5.5.2. Ultisoles**

Constituye el segundo orden de mayor presencia en el área de estudio, está caracterizado por suelos con un avanzado desarrollo debido a intensos procesos de meteorización de la roca. (MINABM, 2003).

Litológicamente se han formado a partir de las rocas pertenecientes a las provincias geológicas de Cuchivero y Roraima, así como de sedimentos de origen coluvio-aluvial del Cuaternario. Es de acotar que son suelos que pueden ser moderadamente profundos a muy profundos y que en ocasiones excepcionales

pueden llegar a ser superficiales, de texturas livianas a pesadas y estructura blocosa subangular (MINABM, 2003).

Cabe destacar que este orden se suelos exhibe una baja a muy baja fertilidad natural, baja a muy baja capacidad de intercambio catiónico y saturación se base, sumándose también el buen drenaje presente en el área de montaña, lomerío y meseta, que se empobrece al llegar a las áreas de mayor depresión (MINABM, 2003).

Dentro de los grandes grupos de suelos reportados para este orden por la C.G.V. se destacan los siguientes: Kandiuults, mostrando horizontes A de mayor espesor (10-40 cm) y en las vegas con horizontes A de espesores menores (8-15 cm). Kandiuults, mostrando en sus perfiles desde pocos hasta abundantes fragmentos de roca. Kanhapludults, desarrollados a partir de rocas volcánicas, más oscuros que los suelos formados en granito. Kandihumults, con horizontes A de 6-11 cm y 12-40 cm. Y los Kandiuults de textura fina, franco arenosa a franco arcilloso, areno francosa a franco arcillo arenosa.

### **5.5.3. Oxisoles**

Son suelos caracterizados por presentar texturas bastante pesadas, de baja a muy baja fertilidad natural, con drenaje bajo a algo excesivo y drenaje pobre hacia las áreas depresionales. Ocupa el tercer orden en importancia en el área, caracterizándose por ser suelos altamente evolucionados de moderadamente profundos (50-100 cm) a muy profundos (>150 cm), producto de los intensos procesos de intemperización y largos períodos de tiempo bajo condiciones climáticas, caracterizadas por fuertes precipitaciones y altas temperaturas. Litológicamente se encuentran ubicados en la provincia geológica de Cuchivero sobre rocas graníticas perteneciente al granito de Parguaza.

Dentro de los grandes grupos se distinguen: Haplagox, Kandiuox y Kandiuox, los cuales no presentan distribución espacial diferencial, se caracterizan por

encontrarse dentro del bioclima ombrófilo macro térmico y tropófilo macro térmico con temperaturas de 18-24 °C y >24 °C, sobre el relieve de llanura de erosión.

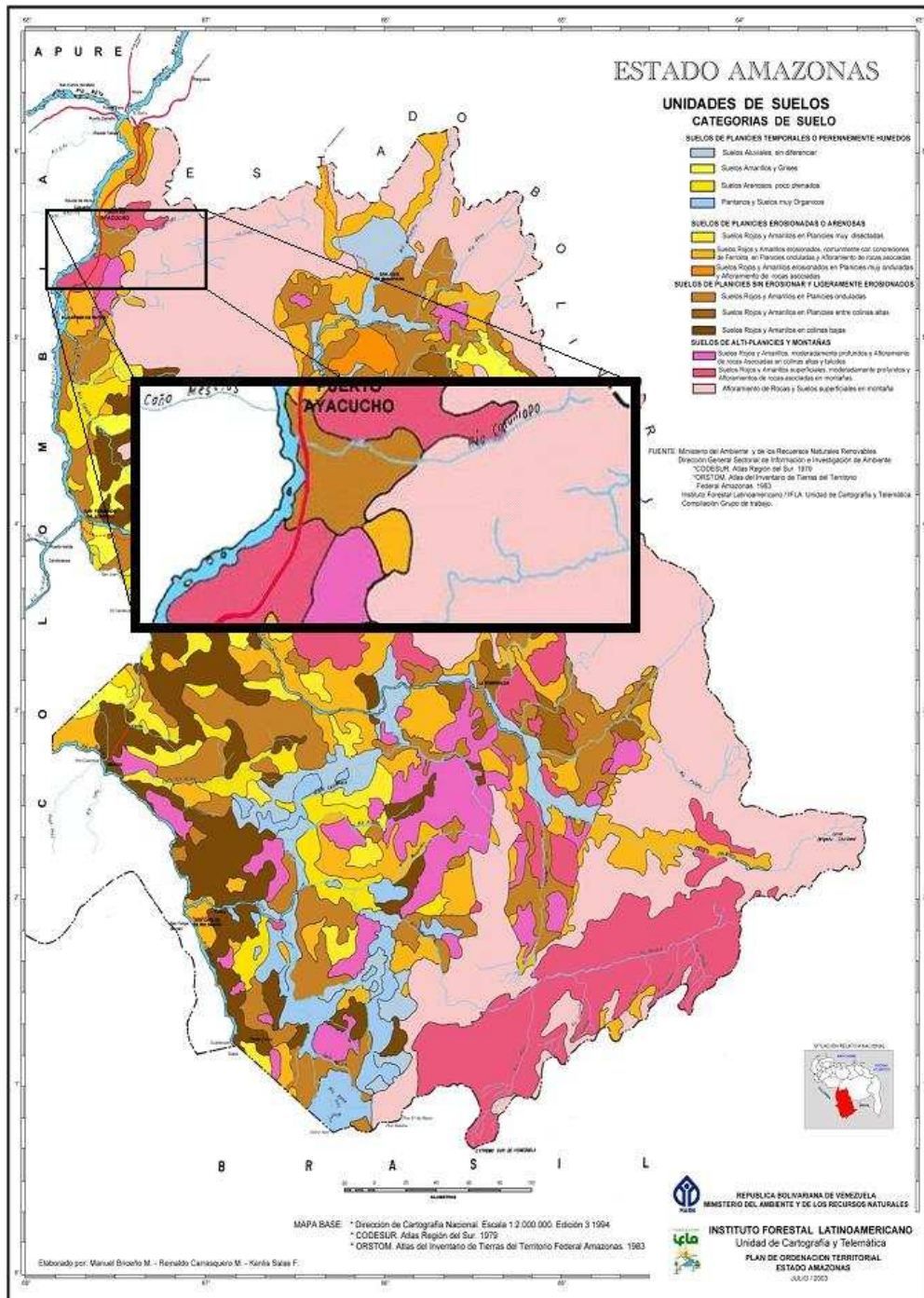


Fig. N° 5-3 Mapa de Suelos del Estado Amazonas, en el recuadro negro se muestra en detalle la zona de estudio. (Tomado y Modificado de MINAMB 2003)

## **5.6. VEGETACION DEL ESTADO AMAZONAS**

La mayor diversidad de vegetación existente en el territorio venezolano se encuentra representada en el estado Amazonas. El mapa de vegetación indica las distintas formaciones vegetales existentes donde se pueden identificar cuatro provincias fitogeográficas que contienen cuatro formaciones vegetales y 56 tipos de vegetación, de los cuales, las formaciones boscosas ocupan el 93,2% de la superficie de la entidad (ver Fig. N° 5-4). La fitodiversidad en Venezuela podría alcanzar unas 16.000 especies, 5.000 de las cuales se encuentran en Amazonas y de ellas, unas 1.000 representadas por 20 géneros y 100 familias, son endémicas.

La zona de estudio por encontrarse al norte del estado Amazonas evidencia una franja de contacto entre los llanos Apureños, Colombiano y el Escudo de Guayana; condición que le permite distinguir tres zonas bioclimáticas: Tropófilo Macrotérmico, Ombrófilo Macrotérmico y Ombrófilo Submesotérmico, sobre las cuales se desarrollan formaciones vegetales adaptadas a las condiciones de temperatura, humedad, suelo y fisiografía, reinantes en el área de influencia de cada uno de ellos, donde se hacen presentes comunidades vegetales, cuyo individuos son de carácter semideciduo, deciduo y siempre verde fundamentalmente.

El estudio de la diversidad de la vegetación se baso en el trabajo elaborado por C.V.G. TECNICA MINERA, Proyecto de los Recursos Naturales Región Guayana (1994) con hojas cartográficas 1:250.000, complementado y ajustado con el proyecto del MINABM, SADA-AMAZONAS. Caracterización Ecológica del Eje Vial Norte-Sur de Puerto Ayacucho (1997) y ORSTOM. Atlas de Inventario de Tierras del Territorio Federal Amazonas (1983).

### **5.6.1. BOSQUES**

Esta formación vegetal se corresponde con zonas bioclimáticas Tropófilo Macrotérmico y Ombrófilo Macrotérmico, desarrollándose principalmente en las planicies aledañas al río Orinoco y en las márgenes del mismo, así como también en

las riberas de los ríos Cataniapo y Samariapo. Se trata de bosque de cobertura media y altura variable de carácter siempre verde, lo cual viene dada por el régimen de inundación de los suelos, pudiendo alcanzar alturas de 8 y 16 m para áreas sujetas a inundación de períodos largos, y alturas de 20 y 26 m en áreas de buen drenaje como las márgenes del río Orinoco. Se caracteriza por presentar una alta composición florística, fisionómica y estructural. Dentro de este grupo también se pueden encontrar formaciones boscosas de características bajo denso a bajo ralo, con incrustaciones se sabanas, arbustales y morichales.

En lo que respecta a las unidades de vegetación desarrolladas en las partes más elevadas del área de estudio localizados en dirección NE y este, se caracterizan por presentar una asociación de bosques bajo denso y medios denso con arbustales, que pueden alcanzar alturas comprendidas entre 18 y 25 m, además de contar con la presencia de algunos individuos emergentes que alcanzan hasta los 30 m, intercalados con sectores de vegetación siempre verde y bosques deciduos con una alta composición florística, fisionómica y estructural.

Los bosques localizados oeste, SE, NO y parte central del área presentan una composición de bosques medio denso de cobertura variable (densa a rala) y asociaciones de bosques bajo denso y bajo ralo, que en algunos casos llegan a relacionarse con sabanas gramíneas arbustivas y arbustales, que presentan una alta riqueza florística, fisionómica y estructural. Este tipo de bosque presenta una altura media de 16 y 25 m y pueden alcanzar hasta los 28 y 40 m.

#### **5.6.2. SABANAS GRAMINOSAS ARBUSTIVAS**

Este tipo de formación vegetal se desarrolla en las zonas bioclimáticas Tropófilo Macrotérmico y Ombrófilo Submesotérmico que conforman la planicie extendida a lo largo del margen derecho del río Orinoco, específicamente en dirección oeste del área de estudio, ocupando una superficie de 63.730 ha.

Se caracteriza por presentar una cobertura que varía de densa a rala, con una altura inferior a 1.5 m dominado principalmente por gramíneas y en donde también es frecuente encontrar numerosas especies efímeras. Localmente, dentro de estas sabanas, hacia los sectores con mal drenaje se presentan pequeños bosquetes o franjas, conocidos en el área como saladillas, así como numerosas especies autóctonas y típicas de las sabanas pertenecientes a la región del Orinoco medio.

Esta formación herbácea es interrumpida en su continuidad por pequeñas áreas de bosque remanentes producto de las fuertes intervenciones y por individuos arbustivos aislados de porte bajo y fisionomía tortuosa.

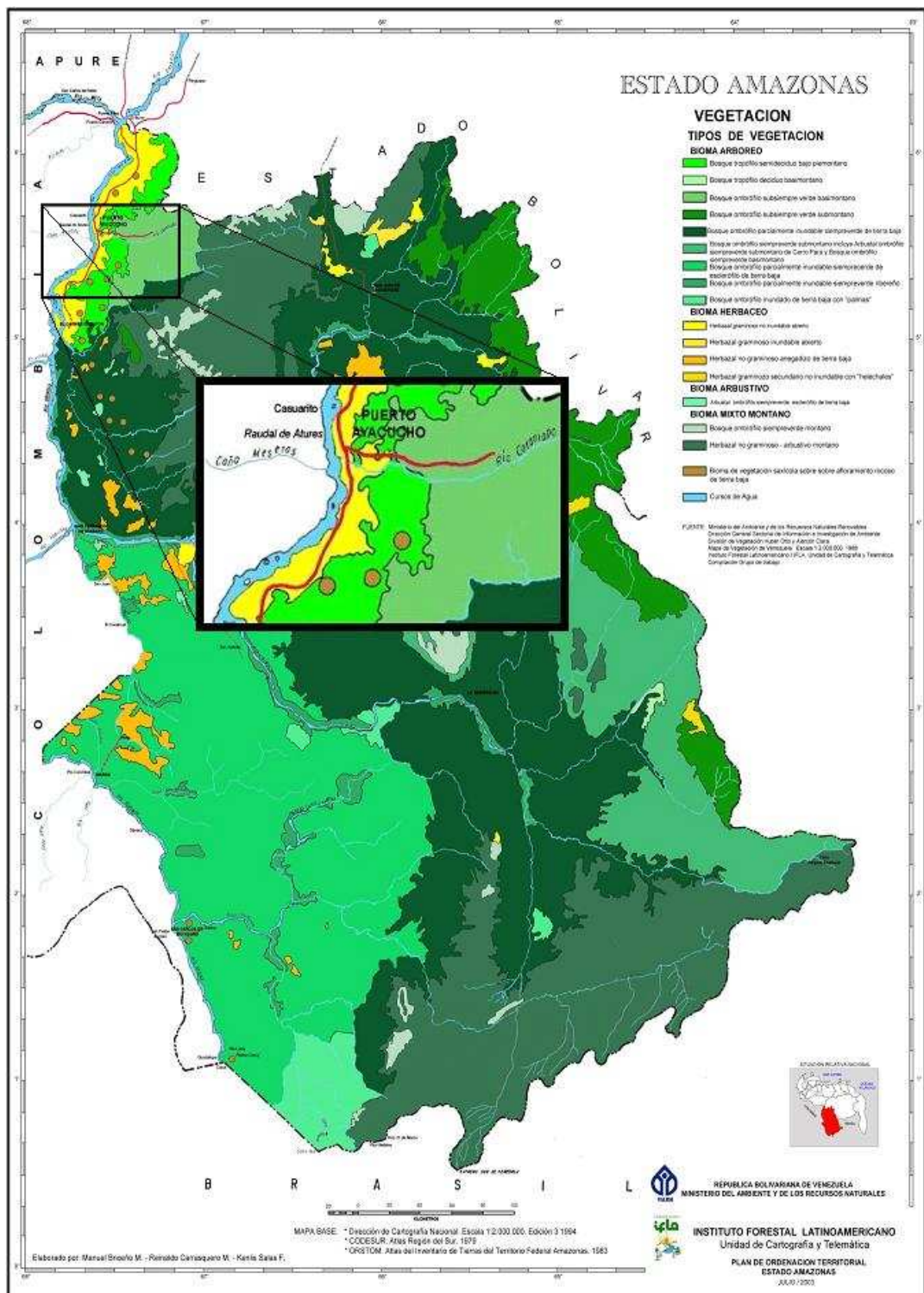
### **5.6.3. VEGETACION EN ROCAS (LAJAS)**

Este término está referido a los afloramientos rocosos de granitos con forma de inselberg que ocurren a lo largo de toda el área y en donde se han desarrollado cierta vegetación herbácea - arbustivo adaptada a las condiciones mínimas de disponibilidad de nutrientes, cuya diversidad, densidad de cobertura y altura depende del tamaño de las grietas y depresiones existentes en dichos afloramientos. En tal sentido, las coberturas varían desde pequeñas manchas de vegetación pionera hasta bosquecillos, semejantes a arbustales más o menos densos, con características deciduas.

La vegetación, asociada a las áreas descubiertas ocupa pequeñas depresiones o grietas, en donde el estrato herbáceo alcanza alturas de hasta 40 cm, el estrato arbustivo o arbóreo presenta alturas que oscilan entre 0,8 m y 3 m.

INTERPRETACION GEOLOGICA MEDIANTE EL USO DE SENSORES REMOTOS DE UNA ZONA UBICADA AL SUR DE LA CIUDAD DE PUERTO AYACUCHO, EDO AMAZONAS

CAPITULO V – GEOLOGIA FISICA

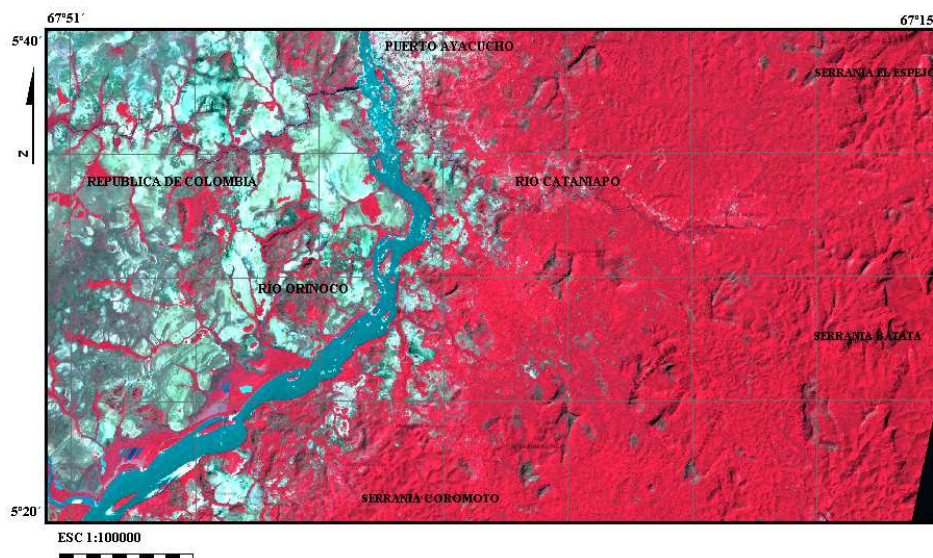


## CAPITULO VI

### 6. RESULTADOS

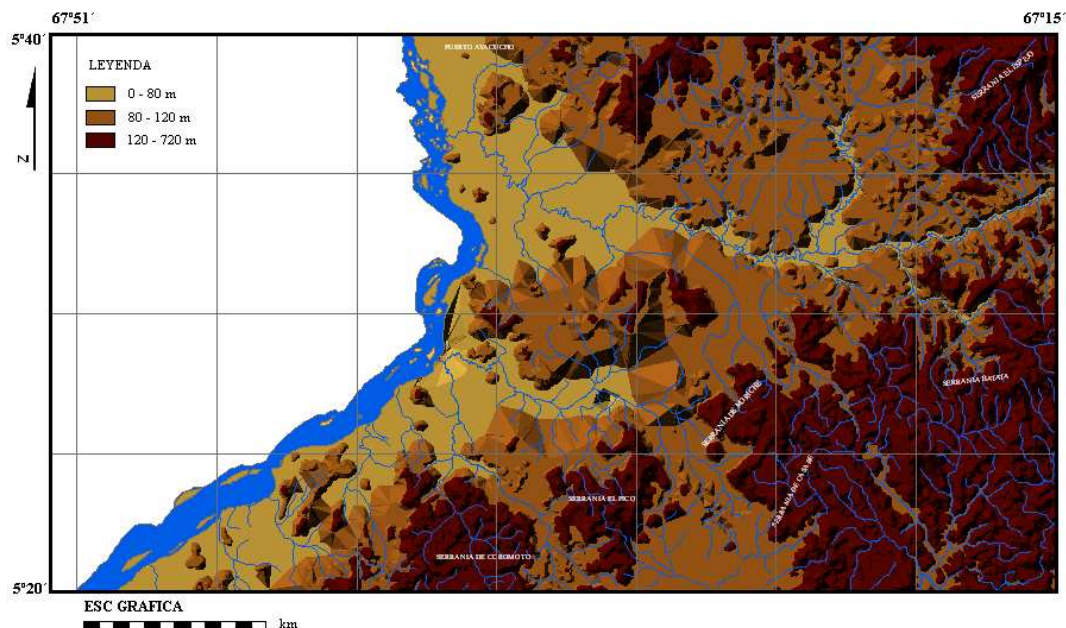
#### 6.1. GENERALIDADES

En este capítulo se describirán las características de hidrología, topografía y de estructuras que fueron observados en la zona de estudio, la misma fue dividida en sectores de características similares, con el fin de facilitar su visualización y se baso en la observación de la Imagen Landsat P004R056 con diversas combinaciones de bandas (ver Fig. N° 6-1), del modelo de elevación generado a partir de las curvas del nivel presentes en los mapas topográficos contenidos en la zona de estudio, en la clasificación supervisada realizada a la imagen Landsat P004R056, asi como también en el estudio de los mapas de valoraciones territoriales y opciones de desarrollo del municipio Atures desarrollados por el Instituto Forestal Latinoamericana (IFLA) para el Ministerio del Ambiente en 2003, y los mapas topográficos 6632 Cataniapo y 6732 Gavilán a Esc. 1:100000 facilitados por el Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar (IGVSB).



**Fig. N° 6-1 Imagen Landsat P004R056 con la combinación de bandas RGB 432 de la zona de estudio.**

En la Fig. N° 6-2 puede apreciarse en modelo de elevación de la zona de estudio, en el se distinguen superficies topográficas contrastantes, las cuales definen la unidades topográficas que representan el área de estudio. Estas unidades son: Unidad de Mesetas, Unidad de Planicies y Unidad de Llanura. Estas unidades serán descritas tomando en cuenta su ubicación y distribución áreal, así como también se hará una descripción detallada de los elementos que la componen.



**Fig. N° 6-2 Modelo de elevación (TIM) de la zona de estudio, en tonos ocre se observan las zonas comprendidas entre 0 - 80 m, en marrón las comprendidas entre 80 - 120 m y en vino las comprendidas entre 120 - 720 m.**

## 6.2. UNIDAD DE MESETAS

La unidad de mesetas se encuentra al este de la zona de estudio (ver Fig. N° 6-3), se encuentra conformada por la serranías El Espejo al norte y Batata al sur y una serie de colinas aisladas que forman parte de las serranías de Moriche, Coromoto, El Pico y Casabe, esta unidad es la más representativa topográficamente ocupando un 33% del área de estudio.

Esta unidad puede dividirse en dos subunidades de características topográficas distintas, la primera de estas es la Subunidad de Montañas con Topes Amesetados, la cual estaría conformado por las serranías El Espejo y Batata y la Subunidad de Colinas con Topes Amesetados que se desarrolla en las laderas de la subunidad anterior.

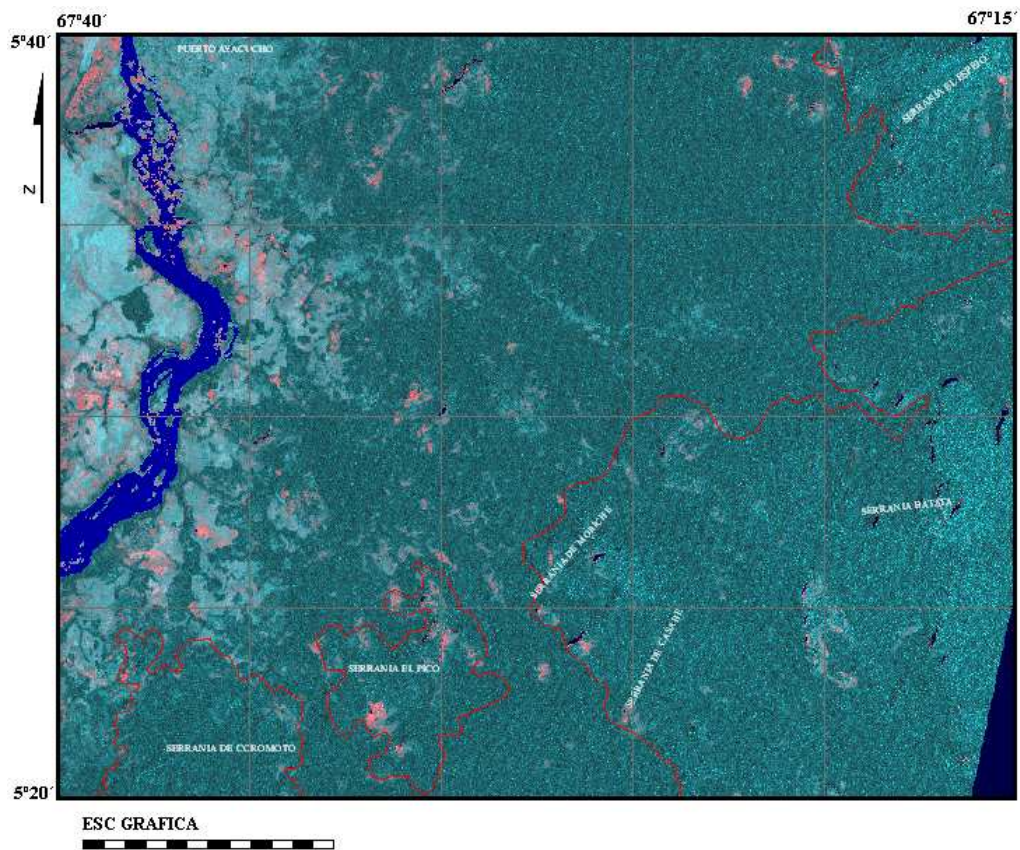


Fig. N° 6-3 Imagen con la combinación de bandas RGB (b5/b4) (b5/b7) (b3/b1) donde se delimita la Unidad de Mesetas en rojo.

### 6.2.1. Subunidad De Montañas Con Topes Amesetados

Esta subunidad representa las zonas más elevadas del área de estudio, alcanzando una altura máxima de 720 msnm, y está conformada por el extremo oeste de las serranías El Espejo y Batata (ver Fig. N° 6-4), topográficamente representan unas montañas con laderas muy escarpadas donde sus topes son ligeramente planos, lo que le da una apariencia de mesas o mesetas, por ello el nombre de la subunidad.

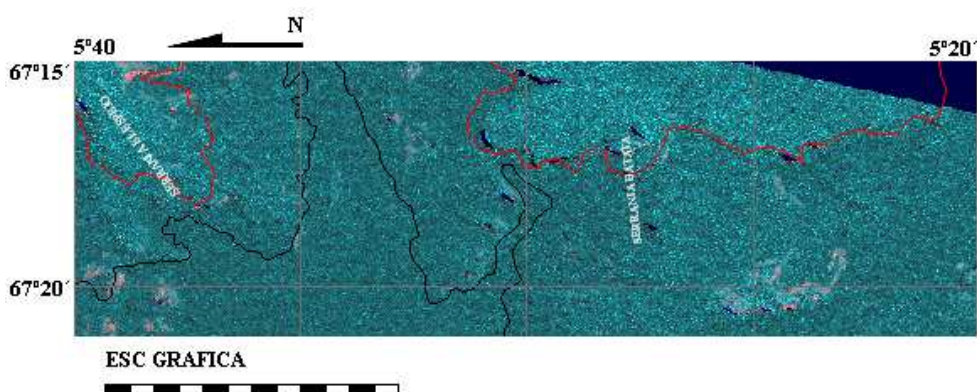


Fig. N° 6-4 Imagen con la combinación de bandas RGB (b5/b4) (b5/b7) (b3/b1) donde se delimita la Unidad de Mesetas en negro y la Subunidad de Montañas con topos amesetados en rojo.

La Serranía El Espejo al norte, posee una altura máxima de 720 msnm, y una dirección general N80E, y N45E en la zona de estudio, esta serranía ocupa el 5 % de la zona y se caracteriza por presentar 3 niveles escalonados que le dan una apariencia amesetada, estos niveles pueden observarse mejor en el perfil topográfico A-A' anexo (ver Fig. N° 6-3).

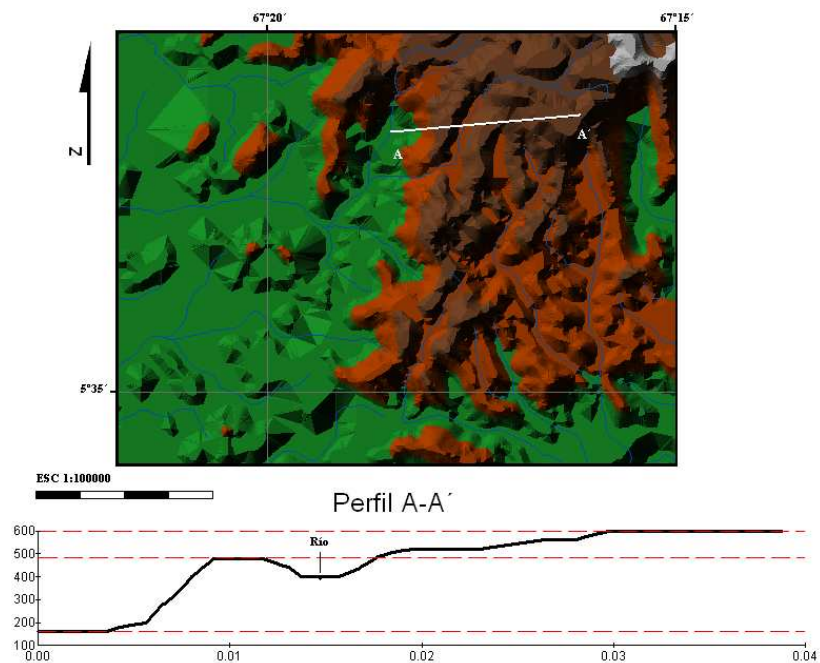


Fig. N° 6-5 En la figura se observa el modelo de elevación perteneciente a la serranía El Espejo. En el perfil A-A' se resaltan los niveles escalonados que caracterizan la serranía.

En la serranía el Espejo se observaron una serie de fracturas las cuales pueden observarse mejor en la Fig. N° 6-4 estas fracturas tienen una dirección general de N30E y poseen una longitud de no más de 2 km. Estas estructuras forman parte de una familia de fracturas generadas a nivel regional, las cuales son observadas en otras unidades de la zona y serán descritas más adelante, las líneas continuas son fracturas que han sido comprobadas en otros estudios y las líneas discontinuas representan fracturas que fueron inferidas a través de la imagen Landsat P004R056, con la combinación de bandas 421.

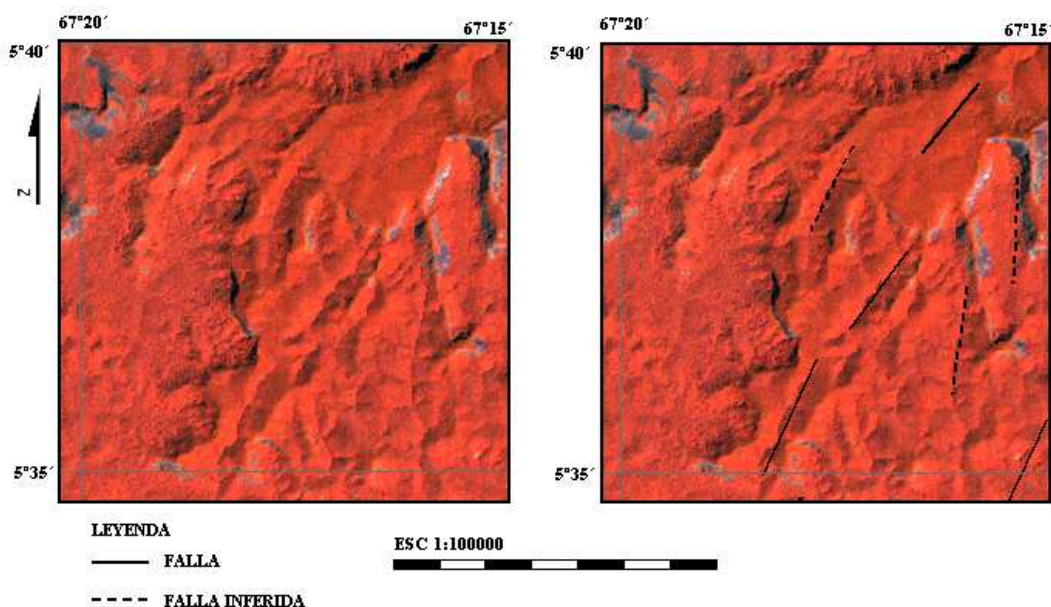


Fig. N° 6-6 Imagen P004R056 con la combinación de bandas 421, a la derecha se muestra la imagen en limpio, y a la izquierda se resaltan los lineamientos observados

La serranía Batata al sur, es la siguiente forma de relieve que conforma esta subunidad, presenta una altura máxima en el área de estudio de 640 msnm y con una dirección general N75E, esta serranía ocupa un 10 % del área y se caracteriza por presentar dos niveles escalonados lo que, al igual que la anterior, le dan una apariencia amesetada, estos niveles se pueden observar en el perfil topográfico B-B' anexo (ver Fig. N° 8-4).

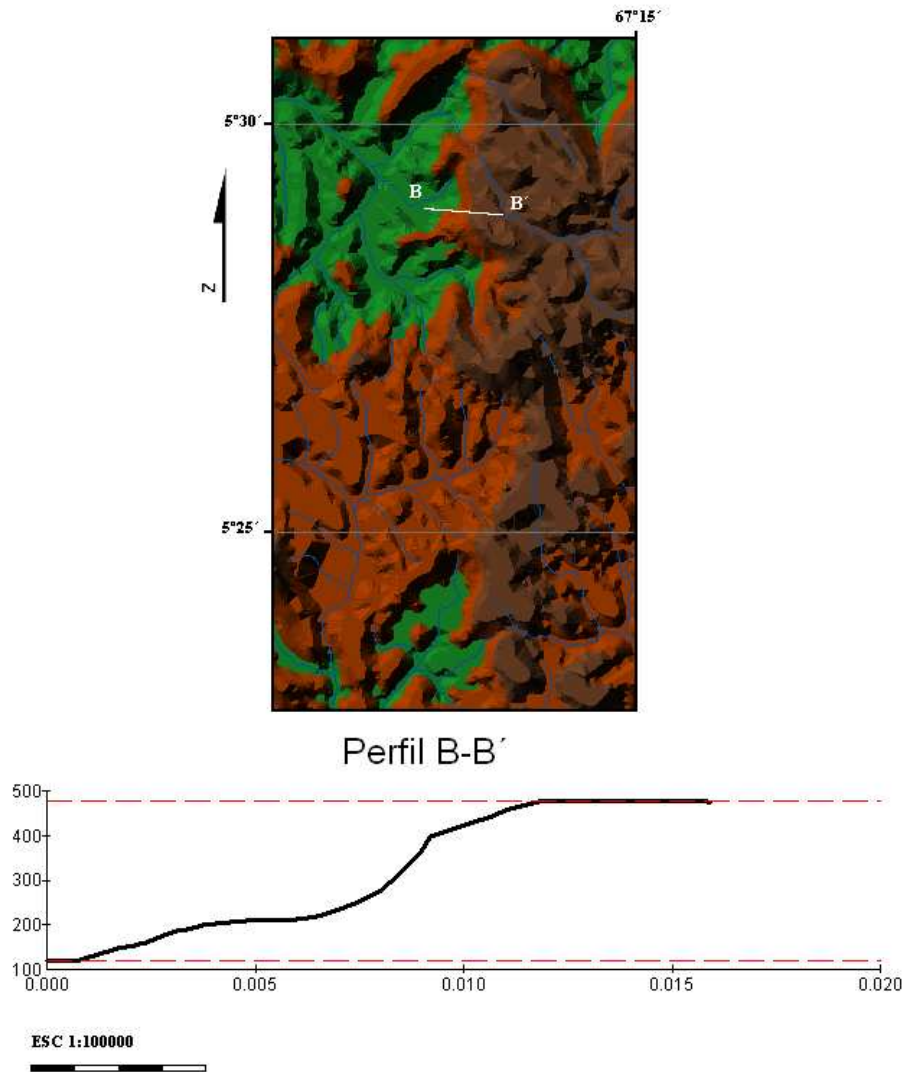


Fig. N° 6-7 En la figura se observa el modelo de elevación perteneciente a la Serranía Batata. En el perfil B-B' se resaltan los niveles escalonados que caracterizan la serranía.

Las estructuras presentes en la Serranía Batata pueden observarse en la Fig. N° 8-10 la cual es un acercamiento de la imagen P004R056 con la combinación de bandas 421, en esta figura se resaltan las estructuras presentes, la línea continua representa las fracturas comprobadas y en línea discontinua las fracturas inferidas por lineamientos observadas en la imagen.

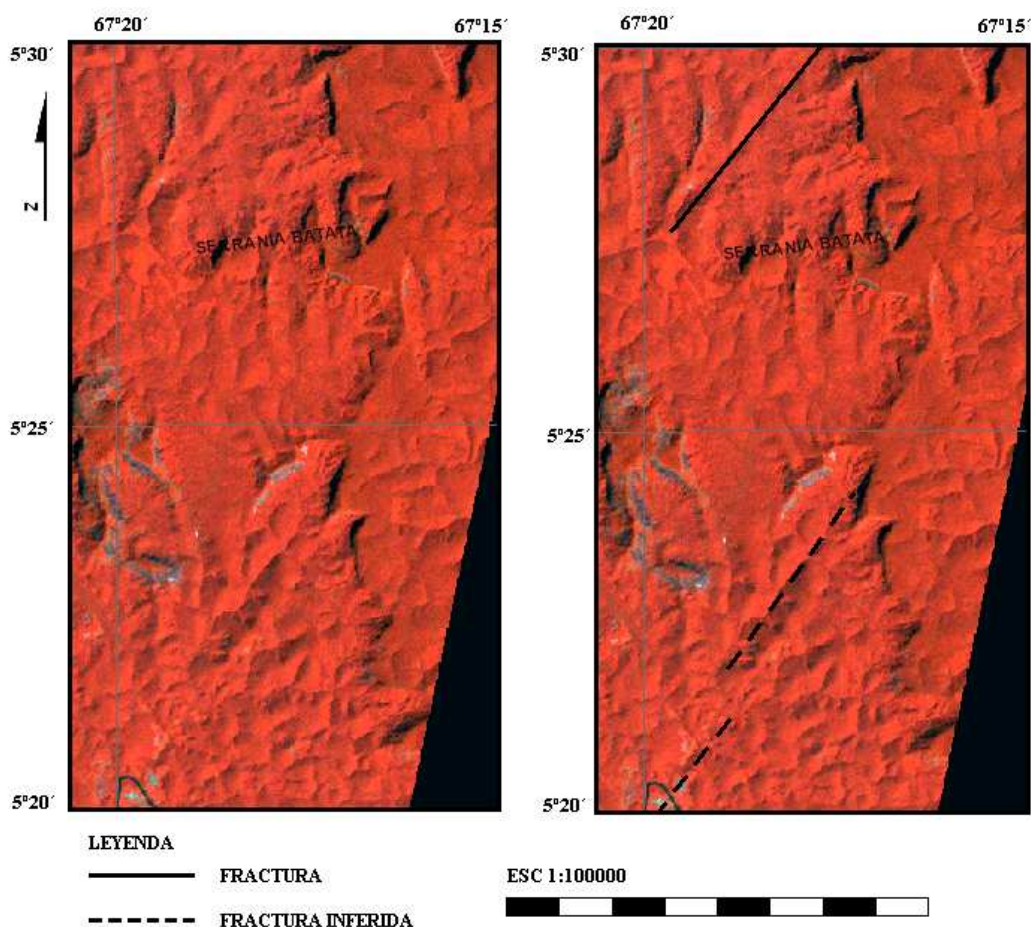
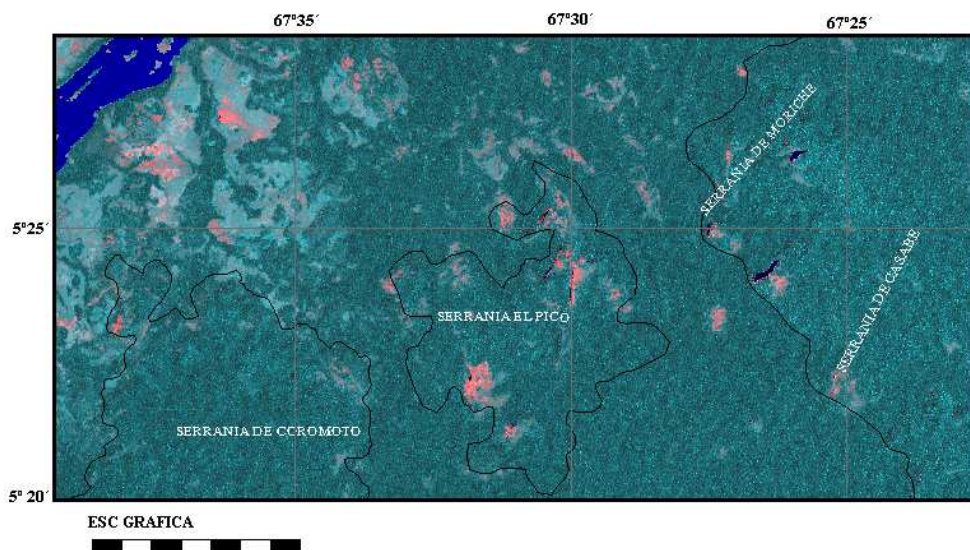


Fig. N° 6-10 Imagen P004R056 con la combinación de bandas 421, a la derecha se muestra la imagen en limpio, y a la izquierda se resaltan los lineamientos observados

### 6.2.2. Subunidad de Colinas

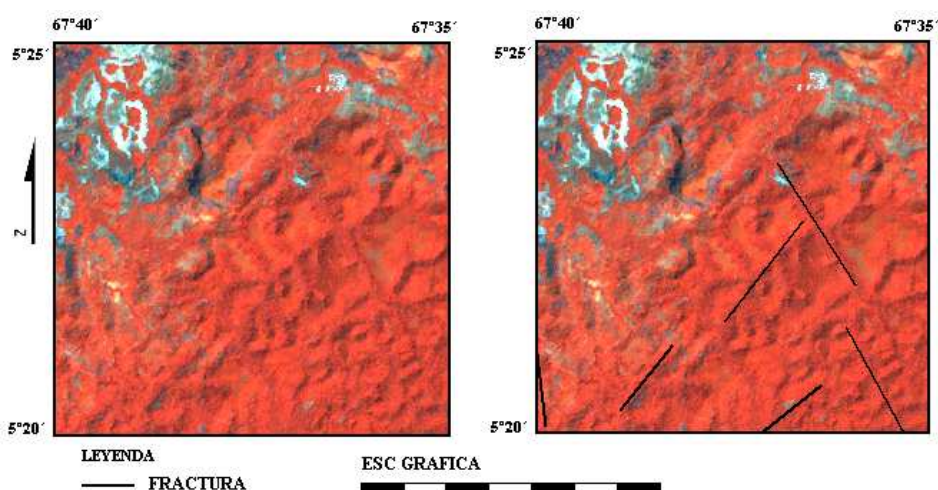
Esta subunidad se desarrolla sobre el piedemonte de la subunidad previamente descrita, está conformada por una serie de colinas individuales con alturas que oscilan entre los 160 y 440 msnm.

Entre las serranías presentes en esta unidad tenemos la serranía Coromoto, Moriche Casabe, y El Pico (ver Fig. N° 6-8), la cuales sirven, en algunos casos, como divisoria de aguas en la zona y define el curso de los ríos. Esta subunidad en su conjunto representa una zona de elevación constante la cual en sus extremos presentan escarpes poco profundos y de pendiente intermedia.



**Fig. N° 6-8 Imagen con la combinación de bandas RGB (b5/b4) (b5/b7) (b3/b1) donde se delimita la Subunidad de Colinas en negro.**

En la serranía Coromoto se observaron una serie de fracturas las cuales pueden observarse mejor en la Fig. N° 6-9, estas fracturas tienen una dirección general de N30E y poseen una longitud de no más de 2 km. Estas estructuras forman parte de la familia de fracturas observadas en la serranía El Espejo, las líneas continuas son fracturas que han sido comprobadas en otros estudios y las líneas discontinuas representan fracturas que fueron inferidas a través de la imagen Landsat P004R056, con la combinación de bandas 421.



**Fig. N° 6-9 Imagen P004R056 con la combinación de bandas 421, a la derecha se muestra la imagen en limpio, y a la izquierda se resaltan los lineamientos observados.**

En la serranía Casabe se observo un lineamiento persistente en el curso de los ríos lo que permitió determinar una serie de fracturas, las cuales pueden observarse mejor en la Fig. N° 6-10 estas fracturas tienen una dirección general N50O y N30E y poseen una longitud de no más de 5 km, las líneas continuas son fracturas que han sido comprobadas en otros estudios y las líneas discontinuas representan fracturas que fueron inferidas a través de la imagen Landsat P004R056, con la combinación de bandas 421.

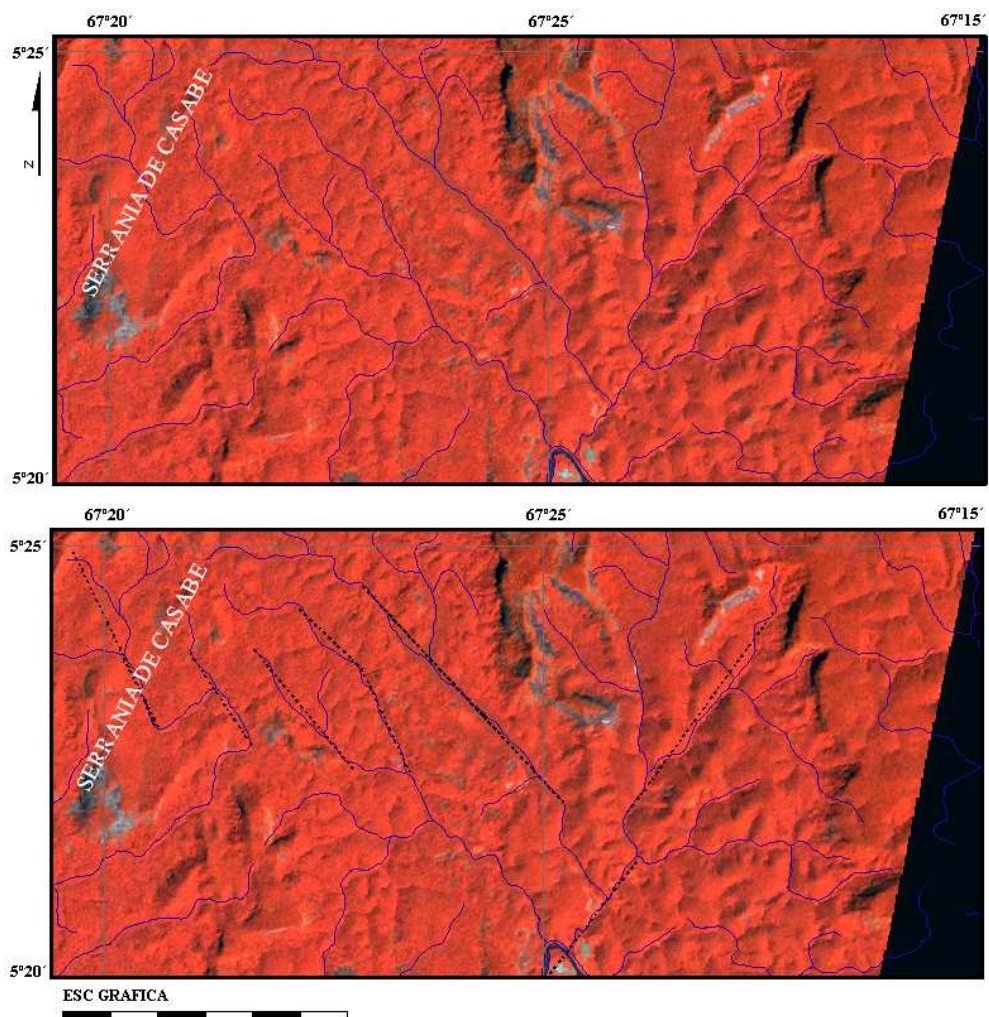


Fig. N° 6-10 Imagen P004R056 con la combinación de bandas 421, arriba se muestra la imagen en limpio, y abajo se resaltan los lineamientos observados.

El drenaje de esta unidad se caracteriza por presentar un patrón angular a subdendrítico el cual está condicionado por las estructuras presentes en el área, en la Fig. N° 6-11 se puede observar este patrón angular, al hacer la comparación visual con la Fig. N° 6-10 se confirma esta condición estructural que poseen los ríos tributarios de esta unidad.

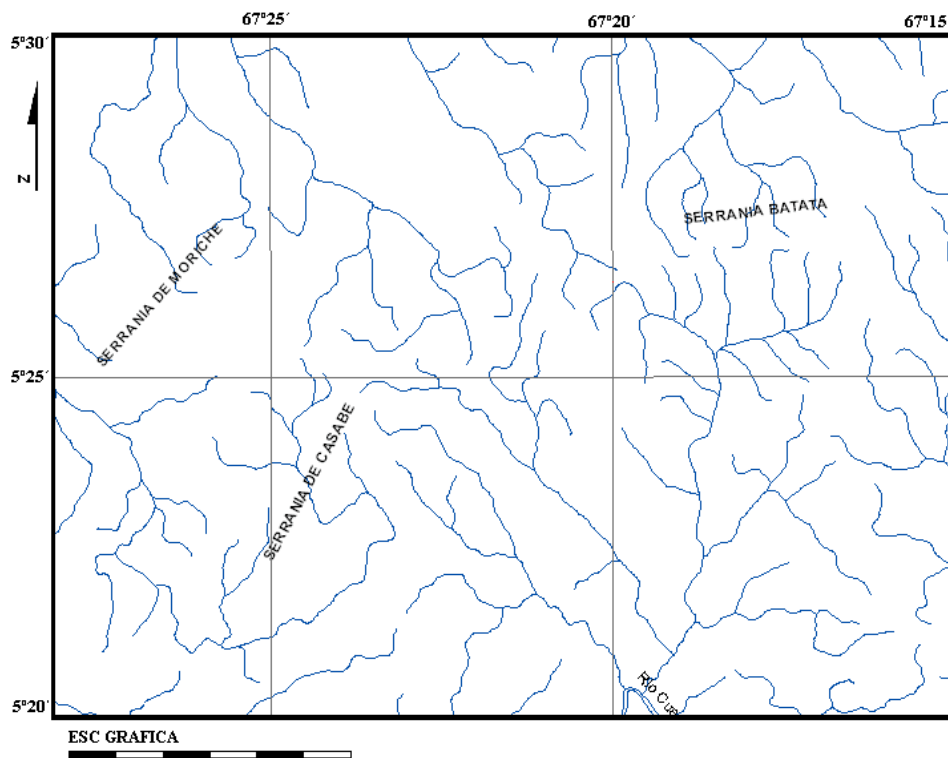


Fig. N° 6-11 En la figura se resalta el patrón angular de los ríos pertenecientes a la Unidad de Mesetas.

### 6.3. UNIDAD DE PLANICIES

La Unidad de Planicies es la más representativa de la zona de estudio, se encuentra ubicada al centro del área y ocupa un 48% del área total de estudio. En ella se desarrollan las poblaciones de Gavilán, Barranco Colorado, La Reforma al norte, y representa un típico pedimento desarrollado en los macizos antiguos del mundo, como los de las Montañas Rocosas en América del Norte, se encuentra al piedemonte de las serranías encontradas en la unidad anterior presenta una pendiente constante

entre el 8 y el 5 %, en el se desarrollan unos macizos aislados conocidos como *inselbergs* o monte-isla, estos macizos poseen alturas que oscilan entre los 120 msnm y los 440 msnm, son relieves residuales producto de la erosión diferencial a la que ha sido sometido el escudo desde el Precámbrico, generalmente tienen forma de montón de heno o pan de azúcar. En la Fig. N° 6-12 se observa la distribución espacial de esta unidad, los cúmulos de color vino representan los *inselberg*.

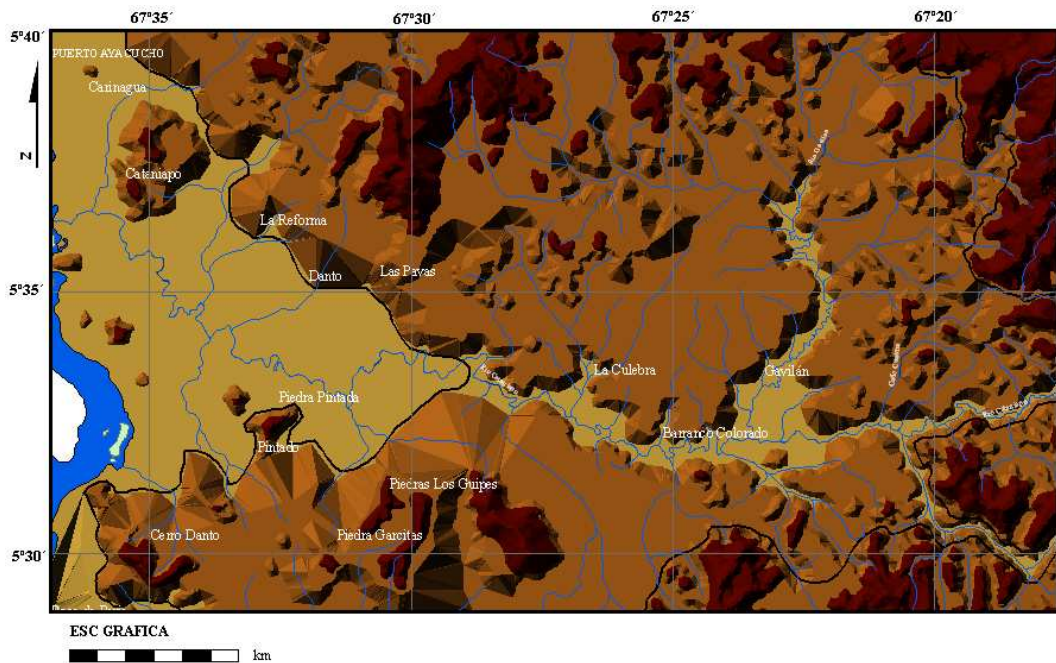
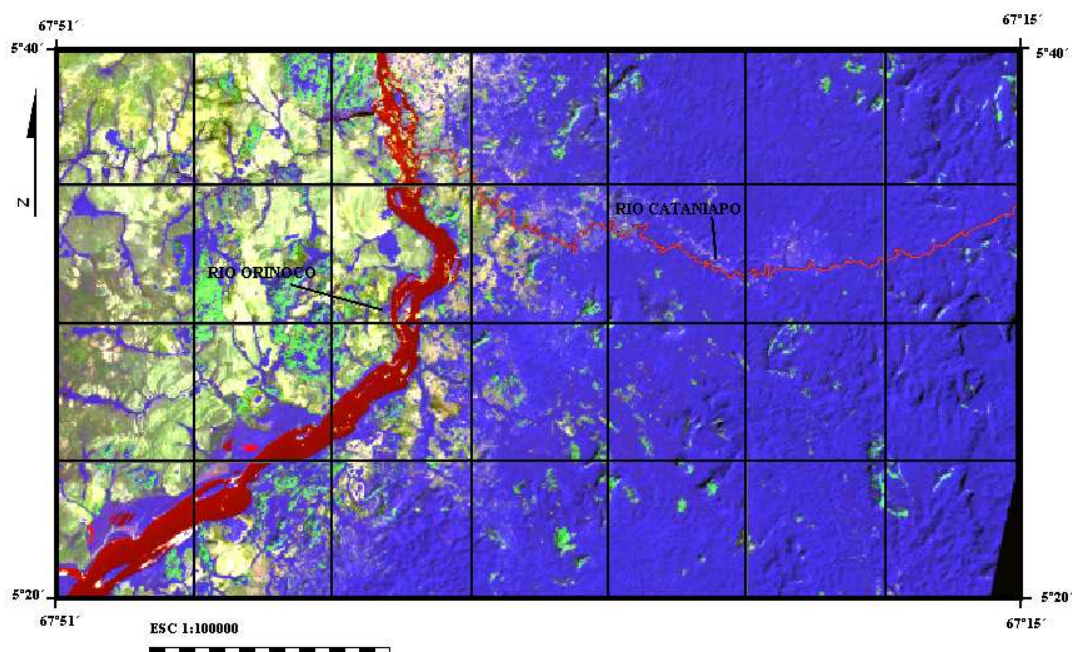


Fig. N° 6-12 Modelo de elevación de la Unidad de Llanuras en color marrón, en color vino se resaltan los *inselbergs* de la zona de estudio.

El drenaje perteneciente a esta unidad está caracterizado por una cuenca principal, la cuenca del río Cataniapo (ver Fig. N° 6-13), el cual constituye la red hidrográfica de mayor importancia para el área de estudio con un superficie aproximada de 153.800 ha, sobre la cual convergen gran cantidad de afluentes, este río posee una dirección general este-oeste, presentado cuatro quiebres en su cauce, descrito de aguas arriba hacia aguas abajo estos son: S 72 O desde su nacimiento hasta que se encuentra con el caño Cuaima, donde cambia su dirección a S 88 O, esta se mantiene por 9 km hasta llegar a Barranco Colorado, donde nuevamente cambia su dirección a N 80 O, permaneciendo constante por 10 km, en este punto existe un quiebre abrupto

en la dirección del cauce por un tramo muy corto, aproximadamente 2 km, la dirección de drenaje cambia a S 45 O, a partir de este punto y hasta su encuentro con el río Orinoco lleva una dirección N 55 O por aproximadamente 13 km, en todo su recorrido el río Cataniapo presenta una geometría irregular o meandrica adaptada y encajada a la topografía.



**Fig. N° 6-13 Imagen P004R056 donde se resaltan en color rojo los ríos principales de la zona de estudio, esta coloración se debe a la combinación de bandas RGB 264.**

Los drenajes tributarios pertenecientes a esta unidad presentan un patrón subdendrítico, en cual puede observarse en la Fig. N° 6-14. Estos drenajes vierten sus aguas al río Cataniapo en diferentes ángulos, generalmente 90 grados, es importante resaltar que los drenajes de segundo nivel de de esta unidad presentan una geometría irregular a dendrítica, esto es posible debido a la baja pendiente de la zona.

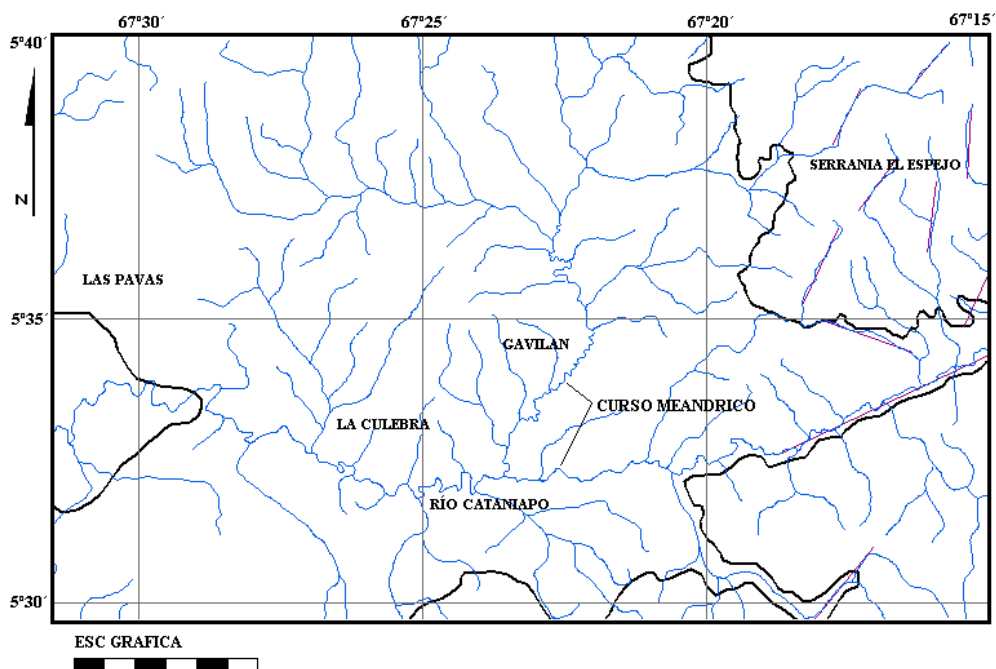


Fig. N° 6-14 En la Figura se resalta el patrón dendrítico de los drenajes secundarios de la unidad de llanuras, puede observarse la geometría meandrica del río Cataniapo y del río Gavilán

#### 6.4. UNIDAD DE LLANURA ALUVIAL

Es la última unidad encontrada en la zona, constituye el 19 % del área total de estudio y representa la llanura de inundación del río Orinoco. Se caracteriza por ser una franja variable entre 1 y 5 km en el margen derecho del río antes mencionado.

El río Orinoco es el más importante de la zona y se corresponde a la sección media baja del mismo, en donde cumple con la función de principal colector de las desembocaduras de caños, lagunas y ríos que se localizan en el área de estudio. Los aportes más importantes que recibe son los suministrados por el río Cataniapo, recorre la zona con una dirección N 50 E hasta llegar a las cercanías del Cerro Danto donde cambia a N 15 O, con una dirección de drenaje sur-oeste, nor-este, durante su recorrido en la zona, se puede apreciar que este se encuentra condicionado por la litología preponderante en la zona.

En la Fig. N° 6-15 se puede apreciar la imagen Landsat con la combinación de bandas 264 donde resalta en color rojo los drenajes principales de la zona de estudio. Puede verse con claridad el curso segmentado del río Orinoco y en colores verdosos y grises la llanura de inundación que representa la unidad.

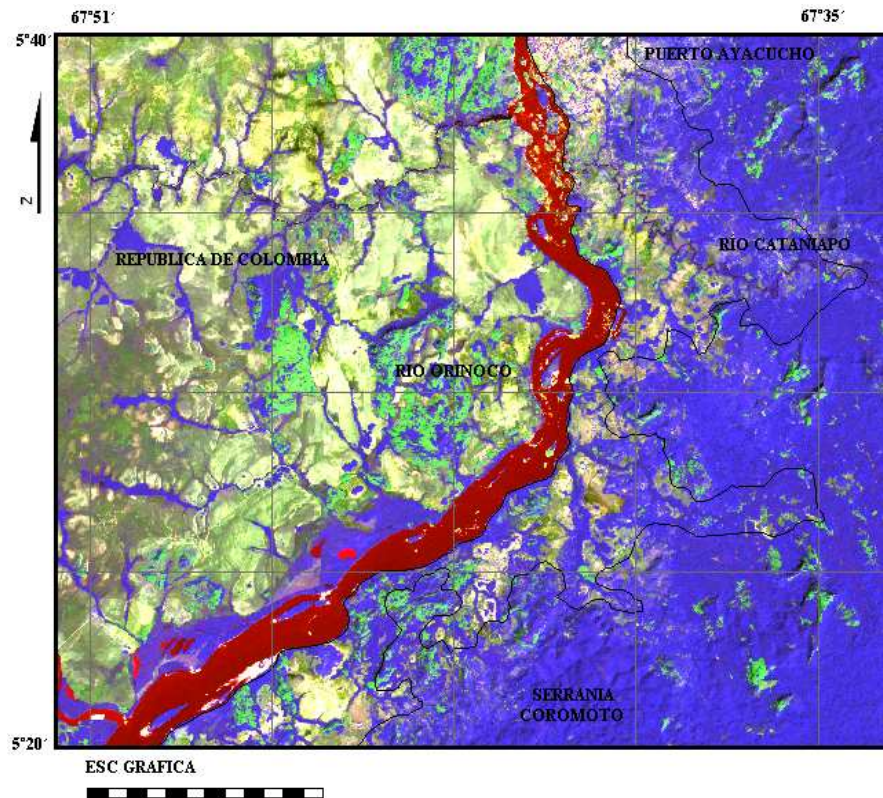


Fig. N° 6-15 Imagen Landsat P004R056 con la combinación de bandas 264 donde se resalta en color rojo el río Orinoco, la línea negra representa el límite de la unidad de llanura aluvial.

### 6.5. SUPERFICIES DE EROSION

Al realizar un estudio más detallado del modelo de elevación se puede observar que existen una serie de niveles escalonados, los cuales representan superficies de erosión provenientes de antiguos períodos aplanamiento (Ver Fig. N° 6-15).

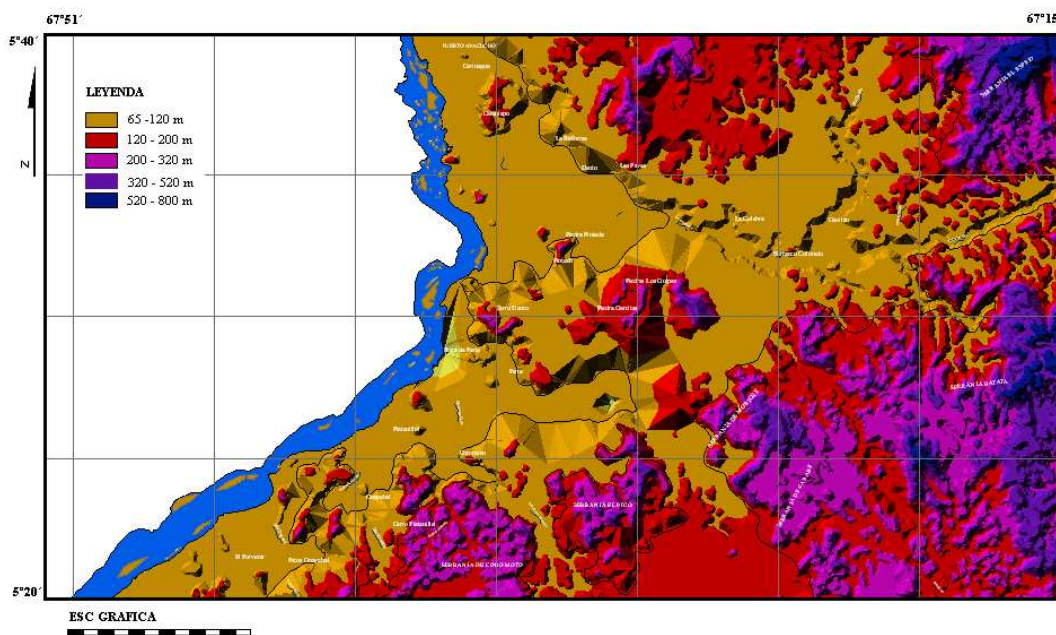


Fig. N° 6-16 Modelo de elevación (TIN) donde se destacan los distintos niveles de erosión existentes en el área de estudio

En la figura N° 6-16 se observa que existen por lo menos tres superficies de erosión bien definidas en la zona, la primera de estas es la resaltada en color ocre, la cual representa alturas que oscilan entre los 65 y 120 msnm, la segunda de estas es la resaltada en color rojo, que representa alturas entre 120 y 200 msnm y la última de estas es la resaltada en color violeta, la cual representa alturas entre 200 y 320 msnm, estas superficies son correspondientes con dos de las seis superficies descritas por BRICEÑO & SCHUBERT en 1989, estas superficies corresponderían a la Superficie Llanos que corresponde a elevaciones entre 80 – 120 msnm y a la Superficie Caroní-Aro que corresponde a elevaciones entre 200 -450 msnm.

La superficie Llanos, superficie de color ocre en la imagen, según lo descrito por BRICEÑO Y SCHUBERT en su informe, coincide con el tope de la formación mesa y representa una superficie de depositación que descansa sobre un basamento granítico, esta superficie fue correlacionada con los sedimentos de la Superficie LT-II o Terciario Tardío II (BERRANGE 1975), y en Guyana con la Superficie Rupununi (Mc CONNELL, 1968), el cual es un pedimento parcialmente cubierto con los

remanentes de las lateritas Nappi, las cuales son consideradas del Eoceno-Oligoceno, por lo tanto la superficie de los llanos es mucho más joven que el Terciario-cuaternario.

La superficie Caroní-Aroa, superficies en color rojo y violeta en la imagen, está formada sobre rocas del basamento del Escudo de Guayana (MENDOZA 1977), y son descritas por SHORT y STEENKEN (1962), los cuales señalan que existen dos superficies de erosión sucesivas a los 400-500 m y a los 200-350 m de altitud, pero que sugieren que esas pueden ser porciones de la misma pendiente, sin embargo según lo observado en la imagen, son dos superficies claramente diferenciables. La superficie Caroní-Aro es correlacionada con la superficie Kaieteur en Guyana (Mc CONNEL 1968) y Orinoque en Brasil, fue desarrollada después de la depositación del basamento Takuto, en el Terciario temprano (BERRANGE 1975). En Surinam es equivalente con la superficie LT-I o Terciario tardío I (KROOK 1979).

## CAPITULO IIV

### 7. INTERPRETACION DE LA IMAGEN LANDSAT EN BASE A LAS HERRAMIENTAS DE ANALISIS ESPECTRAL.

#### 7.1. GENERALIDADES

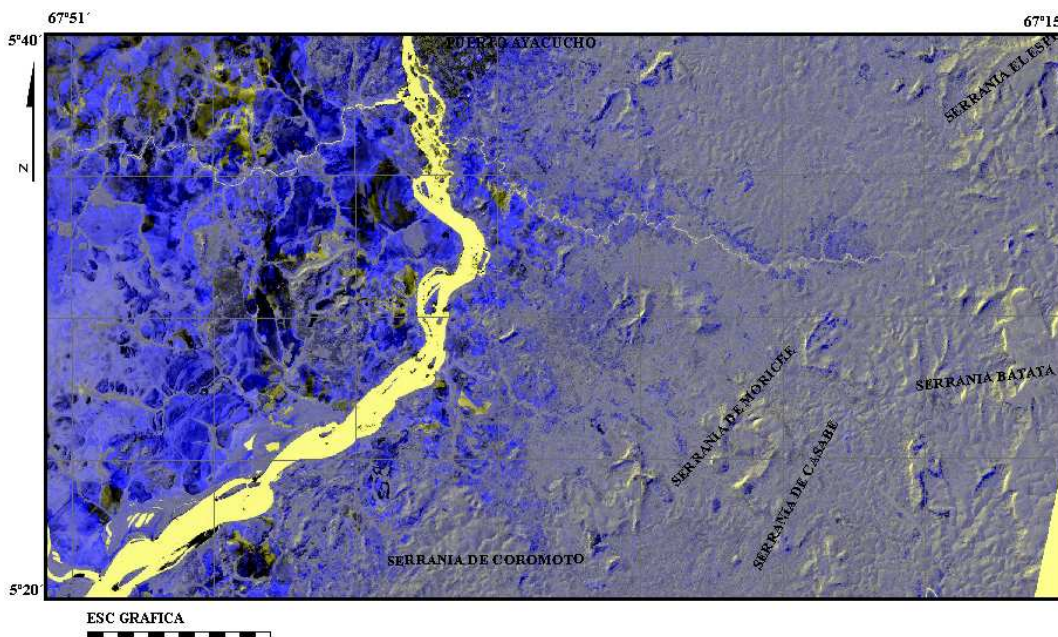
En este capítulo se hará el análisis de cada una de las imágenes resultado de la aplicación de las herramientas de análisis espectral a la imagen Landsat P004R056, estas herramientas proporcionan una ayuda visual que permite establecer lineamientos de contactos litológicos, de estructuras, etc.

Este análisis se realizó a las imágenes resultado de la Fracción Mínima de Ruido o MNF por sus siglas en inglés, a la imagen resultado de la realización del *Spectral Angle Mapper* o SAM, de las imágenes provenientes de las clasificaciones no supervisada y supervisada, a la vez se comparan los resultados con los reportados por otros autores en publicaciones, informes y tesis realizadas en zona de estudio.

Por último se describirá las génesis y evolución de la zona de estudio en base a lo propuesto por varios autores, haciendo énfasis en los eventos y resultados que pueden ser observados en la zona de estudio.

#### 7.2. IMAGEN PRODUCTO DEL MNF

Por medio de la imagen producto del MNF se puede apreciar, con la combinación de bandas 457, la topografía dominante de la zona de estudio, bajo esta combinación resaltan los rasgos topográficos como escarpes y elevaciones, también se resalta en color hueso los drenajes principales presentes en la zona (ver Fig. N° 7-1). Estas formas de relieve son correspondientes con las formas de relieve interpretadas a través del modelo de elevación realizado de la zona de estudio, así como también son correspondientes a las unidades descritas por el MINAMB (2003) en su Plan de Ordenamiento Territorial, a pesar de que las mismas están descritas con más detalle y fueron designadas con otros nombres en este trabajo.



**Fig. N° 7-1 Imagen P004R056 producto del MNF con la combinación de bandas 457 donde se resaltan las formas de relieve más elevadas de la zona de estudio.**

Al realizar la combinación de bandas 754 con la imagen producto del MNF se pueden observar con claridad la localización de los sedimentos encontrados en la zona de estudio (ver Fig. N° 7-2), estos sedimentos se encuentran principalmente en el margen este del río Orinoco, estos sedimentos se muestran en tonos naranjas y amarillos, también puede observarse tonos verdes que son interpretados como zonas de roca desnuda de vegetación ya que esta tonalidad también se localizan en los toques de los *inselbergs* que se encuentran en la zona por lo que no pueden ser sedimentos sueltos.

La imagen producto del MNF fue útil para determinar sedimentos y porciones de roca descubiertas de vegetación, sin embargo, en las zonas donde predomina la vegetación el producto MNF no arroja algún dato importante para la interpretación de la zona de estudio.

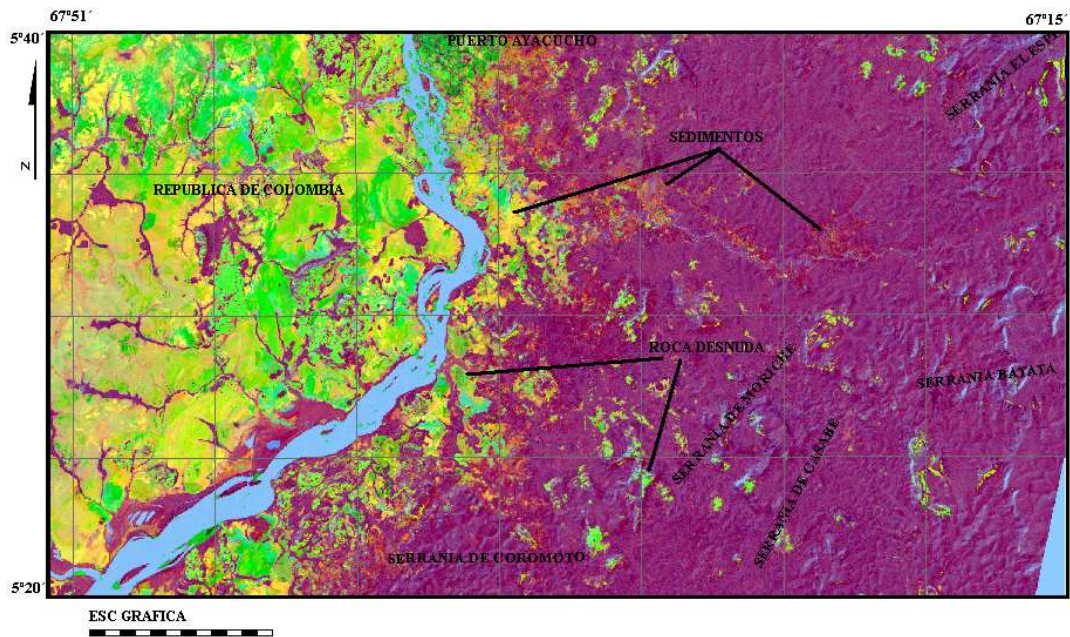
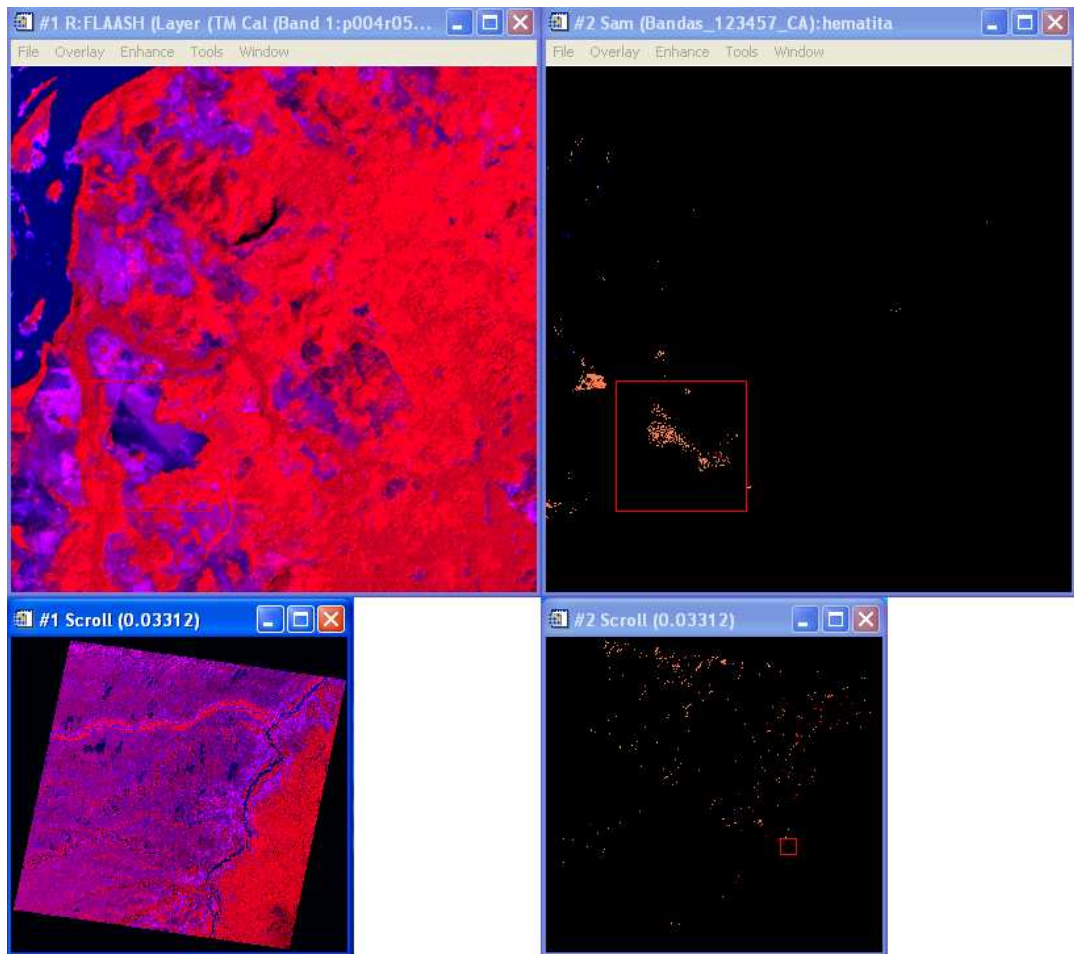


Fig. N° 7-2 Imagen Producto del MNF con la combinación de bandas 754 en la cual se resaltan los sedimentos localizado al margen del Río Orinoco tonos naranjas y amarillos y las roca desnuda en tonos verdes.

### 7.3. SPECTRAL ANGLE MAPPER O SAM

El Spectral Angle Mapper se utilizó para determinar el contenido mineralógico de la zona de estudio por medio de las firmas espectrales de minerales de los cuales se tenía conocimiento que se encontraban en la zona, sin embargo el mismo no arrojó ninguna respuesta positiva para la realización de la caracterización mineralógica de la zona debido a la gran cobertura de vegetación, en la figura. N° 7-3 se muestra el resultado del SAM para la firma espectral correspondiente a la hematita, puede observarse que la imagen de la derecha corresponde a la combinación de bandas 43SAN y la de la izquierda a la respuesta espectral de hematita en la zona.

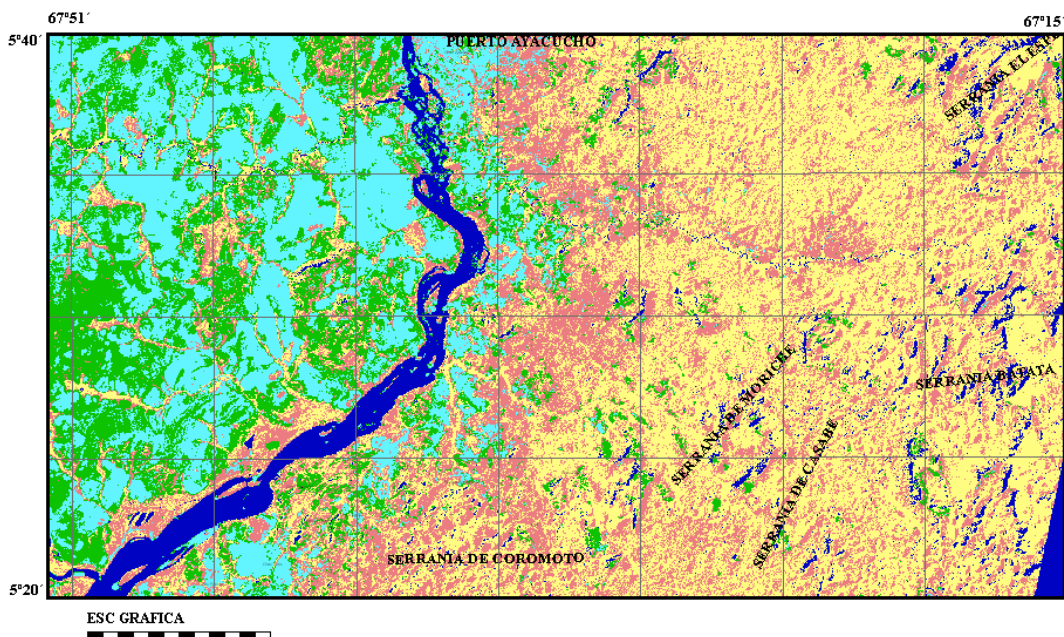
Esta respuesta espectral fue realizada para distintos ángulos de apertura sin obtenerse resultados significativos en cuanto a la composición de los suelos y rocas existentes en la zona.



**Fig. N° 7-3** Respuesta espectral de la hematita en la zona de estudio, a la derecha se observa la imagen con la combinación de bandas 43SAM y a la izquierda la respuesta espectral de la hematita

#### **7.4. CLASIFICACION SUPERVISADA Y NO SUPERVISADA**

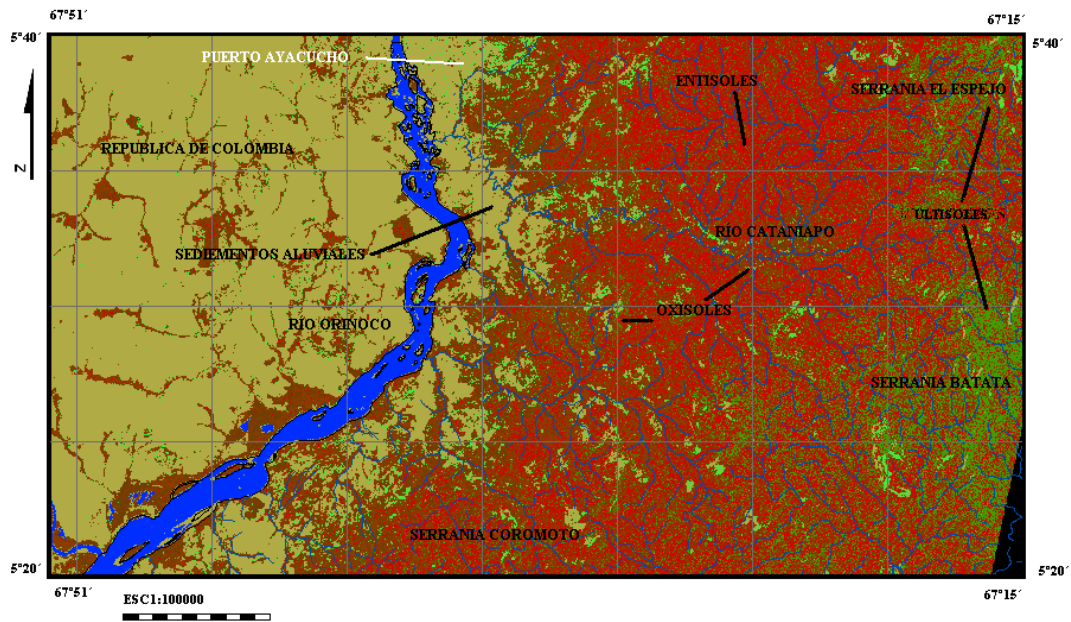
La imagen producto de la clasificación supervisada y no supervisada permitió observar con un poco mas de claridad los distintos tipos de suelos presentes en el área, estos suelos con correspondientes en la mayoría de los casos con los reportados MINAMB en su Plan de Ordenamiento Territorial, como puede observarse en la Fig. N° 7-4, se distinguen cuatro de los seis tipos de suelos descritos por el MINAMB (2003).



**Fig. N° 7-4 Imagen resultado de la clasificación no supervisada, en ella se observan acumulaciones de tonalidades rosa, verdes, azules y crema, los cuales representan a los distintos tipos de suelos presentes en la zona.**

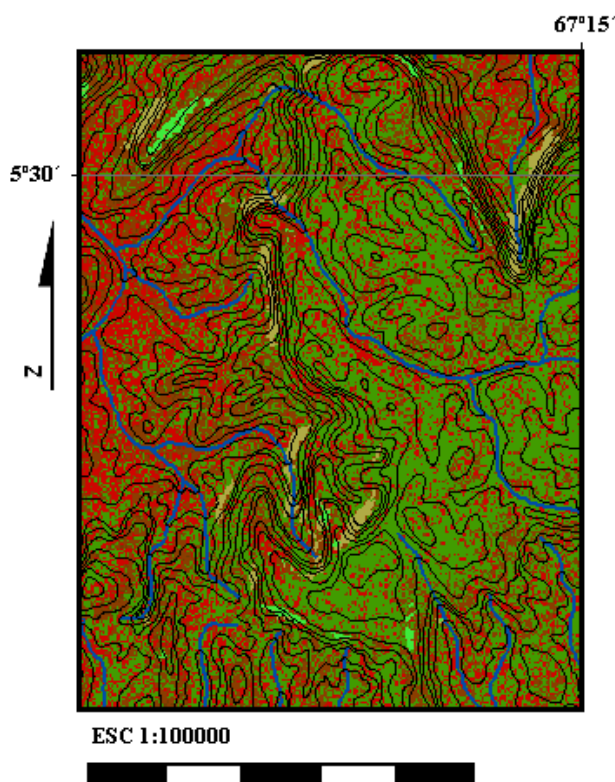
Los suelos encontrados en la zona de estudio son los correspondientes a los tipos, Ultisoles, Entisoles, Oxisoles y Sedimentos Aluviales, estos tipos de suelos serán descritos con detalle, enfatizando en su localización y distribución áreal así como también en su relación con las unidades determinadas en este trabajo.

Tanto la clasificación supervisada como no supervisada se realizaron en base a 25 clases, estas fueron agrupadas según su respuesta espectral, dando como resultado un mapa donde pueden apreciarse los distintos tipos de suelos presentes en la zona. Estos suelos se observan en la figura N° 7-5, esta imagen es el resultado de la clasificación supervisada de la zona en ella se pueden observar que los tonos verdes representan al grupo de Ultisoles, los tonos rojos al grupo de Entisoles, los tonos marrones al grupo de Oxisoles y por último los tonos ocre que son los pertenecientes al grupo de suelos aluviales y coluviales, estos grupos también pueden apreciarse en la imagen de la clasificación no supervisada, siendo distinguibles los grupos de Oxisoles y sedimentos aluviales en tonos rosas, verde y azules, respectivamente, sin embargo la diferenciación entre los Entisoles e Ultisoles no se encuentra clara.



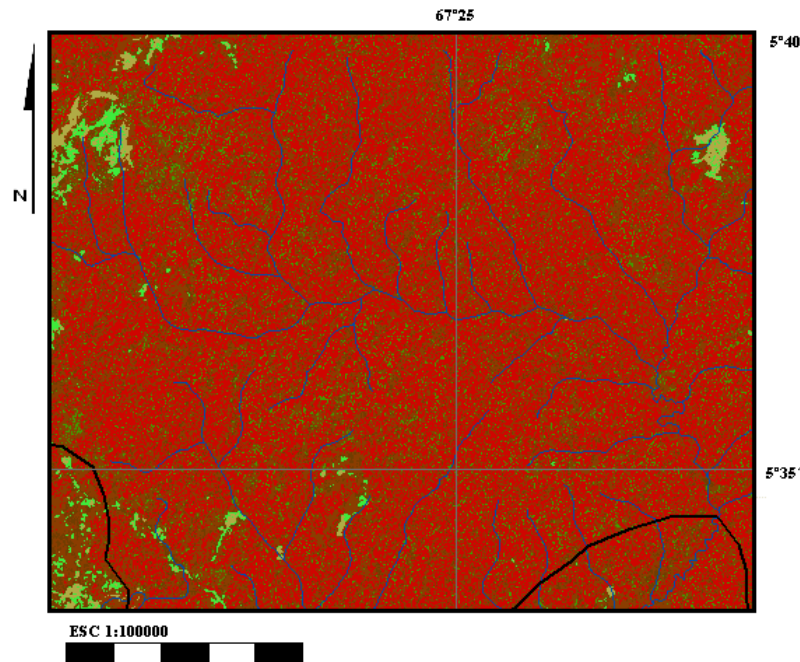
**Fig. N° 7-5 Imagen resultado de la clasificación supervisada de la imagen, en la imagen se puede observar en tonos verdes los Ultisoles, en tonos rojos los Entisoles, en marrones los Oxisoles, y en ocre los Sedimentos Aluviales.**

Según lo indicado en el informe de ordenamiento territorial los suelos pertenecientes al grupo Ultisol, el cual ocupa el 29% del área de estudio y se encuentra en el nivel topográfico más elevado, ocupando los topes de las montañas y colinas pertenecientes a la unidad de mesetas, según lo propuesto en el informe, estos suelos presentan un avanzado estado de desarrollo, siendo producto de los intensos procesos de intemperización por largos períodos de tiempo que se refleja en sus características morfológicas y químicas, mineralógicamente estos suelos son ricos en minerales secundarios como caolinita y óxidos de hierro y aluminio. En la Fig. N° 7-6 se muestra un acercamiento de la serranía Batata, donde se evidencia la relación entre la topografía y la ubicación de los suelos, descrita anteriormente.



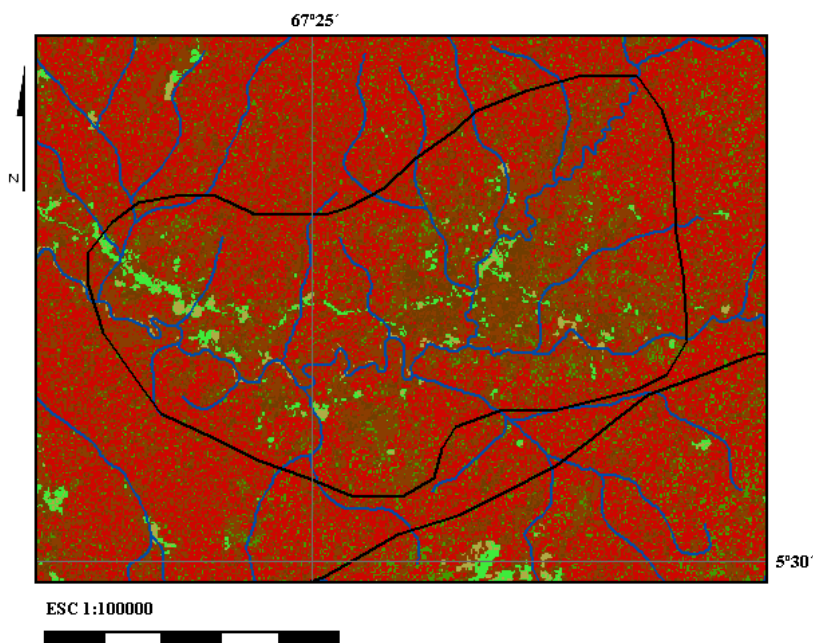
**Fig. N° 7-6 Acercamiento de la serranía Batata, donde se evidencia la relación entre la topografía y la ubicación de los suelos.**

Los suelos pertenecientes al grupo de Entisoles, se encuentran en las zonas llanas pertenecientes a la Unidad de Planicies, a un nivel topográfico de sobre los 120 msnm, ocupando el 40 % del área de estudio, según lo propuesto por el IFLA estos suelos presentan un escaso o nulo desarrollo y son formados a partir de materiales aluviales y coluvión aluviales encontrados en topografías escarpadas y quebradas, sometidos a procesos erosivos activo y a la intemperización. En la Fig. N° 7-7 se muestra un acercamiento de la zona donde se desarrollan estos suelos, puede apreciarse que las acumulaciones de color rojo se presentan en las márgenes de los ríos tributarios lo cual corrobora lo propuesto por el IFLA en su informe.



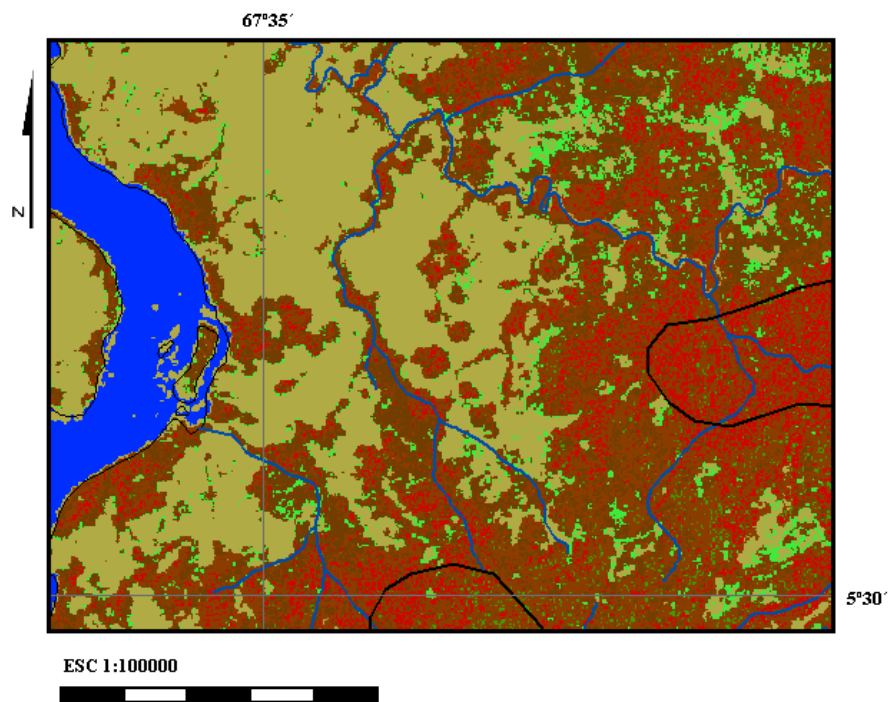
**Fig. N° 7-7 Acercamiento del grupo de Entisoles en tonalidades rojas.**

Los suelos pertenecientes al grupo de Oxisoles, se encuentran dispersos en el área de estudio ya que se desarrollan en terrenos llanos, abarcando en su totalidad 12 % del área de estudio, siendo los menos abundantes del área. Son suelos con alto nivel de desarrollo, producto de intensos procesos de intemperización y largos períodos de tiempo bajo condiciones climáticas, caracterizadas por fuertes precipitaciones y altas temperaturas, de textura arcillosa y arcillo arenosas, mineralógicamente la fracción fina de estos suelos predominan minerales secundarios como óxidos de hierro y caolinita. En la Fig. 7-8 se muestra una zona donde predomina este tipo de suelo, esta zona representa una parte del valle de inundación del río Cataniapo, donde confluyen un gran número de tributarios.



**Fig. N° 7-8 Acercamiento del grupo de Oxisoles (marrón). La zona representa el valle de inundación del Río Cataniapo donde convergen un gran número de tributarios.**

Por último tenemos los pertenecientes al grupo de suelos generados por sedimentos aluviales y coluviales, transportados principalmente por el río Orinoco y depositados en durante los períodos de máxima inundación, ocupan el 19 % del área de estudio y tienen su mayor expresión en las márgenes derecha e izquierda del río Orinoco, son suelos pertenecientes a la unidad de llanura aluvial. En el informe del IFLA describen estos suelos como formados sobre aluviones acumulados en franjas de ancho variable y ligeramente elevadas, estos suelos se encuentran afectados por inundaciones donde predomina la textura arcillosa, por lo que se forman pantanos y horizontes muy orgánicos. En la Fig. N° 7-9 se muestra un acercamiento de la zona donde predominan estos suelos, estos se muestran en color ocre, también puede observarse zonas donde se desarrollan otros de los suelos descritos anteriormente, esto ocurre en toda el área limitada para esta unidad y es correspondiente con zonas elevadas encontradas, conocidas como domos o *inselberg* aislados.



**Fig. N° 7-9 Acercamiento de la zona donde predominan estos suelos, estos se muestran en color ocre, también puede observarse zonas donde se desarrollan otros de los suelos descritos anteriormente, esto corresponden a lomas encontradas en la zona.**

## CAPITULO VII

### 8. INTERPRETACION GEOLOGICA Y GEOMORFOLOGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

#### 8.1. INTERPRETACION GEOLOGICA

Al revisar en conjunto los resultados obtenidos por medio del procesamiento de la imagen *Landsat*, y la información presentada por diversos autores de la zona de estudio, se puede decir que la misma se desarrolla sobre la provincia de Cuchivero, específicamente el granito rapakivi del Parguaza.

Los suelos encontrados en el área de estudio por medio de la clasificación supervisada son correspondientes a los reportados por IFLA (2003) en su informe y estos son producto directo o indirecto de la descomposición del granito del Parguaza, de igual manera existe correspondencia con lo reportado por CVG en su mapa geológico, sin embargo los contactos entre las unidades han sido modificados, esto debido al origen residual de los suelos encontrados en el área los cuales son descritos como suelos de bajo desarrollo, por lo que su origen es reciente, por lo tanto su edad no es correspondiente con la del granito, tal como lo reporta la CVG en su mapa geológico.

En cuanto al patrón estructural de fracturas encontradas en la zona se debe decir que existe correspondencia con las reportadas en otros informes, y que gracias a la utilización de las combinaciones de bandas 421 y 264 se pudieron determinar con mas precisión la localización de las fracturas reportadas y de nuevas fracturas, que no se encuentran cartografiadas en otros informes. Además de estas estructuras fue posible cartografiar la localización de diversas gargantas y escarpes que se encuentran en la zona, estas gargantas y escarpes son indicio de que el proceso de aplanamiento de la región continúa activo, tal como es reportado por Schubert (1990) en su informe.

## 8.2. INTERPRETACION GEOMORFOLOGICA

Para entender la génesis y evolución de las formas de relieve encontrado en la zona de estudio es necesario observar el paisaje a nivel regional, esto con la finalidad de ver el contexto general en el que se desarrolla.

La zona de estudio está compuesta por una serie de terrazas escalonadas de origen climático y representa una unidad testigo de un antiguo proceso de aplanamiento ocasionado por una intensa erosión motivada a la alternancia de clima seco-húmedo que se ha desarrollado en la región desde el precámbrico. Esta alternancia climática ha originado períodos de biostasia-rexistasia que favoreció la alteración o disgregación de las rocas cristalinas.

BLANCANEAUX y POUYLLAU (1976) desarrollaron un esquema del modelado actual en función de la evolución geoquímica de los paisajes y de las variaciones climáticas en la Amazonia y regiones vecinas, en este esquema ellos proponen cuatro etapas representativas en el modelado del relieve. La primera etapa dio origen a una coraza ferruginosa más o menos continua, la cual se desarrolla en un paisaje tropical húmedo con estaciones secas cortas. La segunda etapa se desarrolla en un clima más seco, donde se desarrolla un modelado geoquímico de los paisajes por redistribución de materia al interior de las formaciones superficiales, hay lixiviación en la parte superior y acumulación en la parte inferior, creando una zona de empalme donde las reacciones químicas generadas por los productos de alteración socaba el pie de los inselberg, endereza las vertientes y produce los glacis. La tercera etapa se desarrolla en un clima más húmedo esto origina un modelado más o menos ondulado debido a la infiltración de agua en zonas privilegiadas y a la destrucción de la coraza ferruginosa. La cuarta etapa corresponde a un clima seco muy árido, correspondiente al final de la última glaciación del Cuaternario Wurm, este clima seco origino una desaparición casi completa de la vegetación dejando los suelos descubiertos y sometidos a la erosión eólica, originando grandes campos desérticos con inselberg aislados. El

modelado actual del relieve se efectúa en un clima más húmedo, donde se produce el hundimiento de la red de drenaje y el retomado superficial de los productos concrecionados por parte de la vegetación, tomando un aspecto de peneplano ondulado con un relieve en media naranja, característico de estas zonas concrecionadas.

El modelo de evolución de geoquímica de los paisajes propuesto por BLANCANEAUX y POUYLLAU en 1976, puede ser explicado con más detalle con el modelo de erosión-superficie del escudo de Guayana propuesto por SCHUBERT en 1990, este modelo el establece siete fases evolutivas del relieve actual del escudo, tomado en cuenta que las edades son especulativas, a excepción de las dos últimas ya son las más recientes y se están desarrollando actualmente.

- La primera fase se desarrolla durante el Precámbrico tardío luego de la depositación del Grupo Roraima y otras rocas que se encontraban sobre este, la erosión y el transporte de material se encontraban actuando sobre los sedimentos del Roraima. Pudieron generarse varias superficies de erosión durante el Paleozoico, sin embargo no existen evidencias de esto ni del volumen de roca removido de esta.
- La segunda fase corresponde a la formación de la superficie Auyantepui (2000-2900 msnm), donde la superficie pre-Auyantepui fue erosionada y rebajada originando el retroceso de los escarpes.
- La tercera fase corresponde a la formación de la superficie Wonkén (900-1200 msnm), la superficie pre-Auyantepui y la superficie Auyantepui continúan siendo erosionadas y rebajadas.
- La cuarta fase corresponde a la formación de la superficie Imataca (600-700 msnm), durante la formación de esta superficie, aquellas que fueron generadas anteriormente continúan erosionándose y rebajándose.
- La quinta fase corresponde a la formación de la superficie Caroní-Aro (200-450 msnm), esta superficie solo está reconocida sobre el basamento ígneo-

metamórfico. Continúa la erosión y el rebajamiento de las superficies generadas anteriormente.

- La sexta fase corresponde a la formación de la superficie de los llanos (80-150 msnm), esta superficie corta a los sedimentos de la formación mesa del Pleistoceno y las formaciones equivalentes.
- La séptima fase corresponde a la formación de la superficie Orinoco (0-50 msnm), esta formación esta generada durante el Holoceno y está desarrollada por debajo del piedemonte generado por la erosión de las superficies anteriores.

GALÁN, HERRERA y CARRENO (2004) desarrollaron una hipótesis de la evolución geomorfológica del paisaje tepuyano, la cual engloba la tanto la teoría de SCHUBERT (1990) que la teoría de BLANCANEUX Y POUYLLAU (1977). Esta hipótesis se presenta en la Fig. N° 7-10. Ellos proponen: 1 depositación sobre el basamento ígneo-metamórfico, de sedimentos continentales deltaicos agrupados dentro del Grupo Roraima, de edad Precámbrico (Proterozoico). Los estadios 2-4 representan la remoción de extensos anticlinales desmantelados por la erosión en períodos alternantes de aridez y humedad, donde además se dieron procesos de deposición de aluviones. Más recientemente 5-6, durante el Cuaternario, la alternancias de climas secos y húmedos, asociados a las épocas glaciales e interglaciares respectivamente, han modelado la fisionomía de las cumbres y los escarpes constituyendo las formas que hoy en día conocemos.

En la zona de estudio pueden reconocerse tres de las seis superficies de aplanamiento descritas por SCHUBERT (1990), las cuales son correlacionables de acuerdo con la altura a la que están dispuestas con las superficies Llanos y Caroní-Aro, las cuales se encuentra entre 80-120 msnm y 200-450 msnm respectivamente, las cuales en la zona de estudio se encuentran entre 65-120, 120-200 y 200-320 msnm. Dividiéndose la superficie Caroní-aro en dos superficies claramente diferenciables tal como lo reportan SHORT y STEENKEN (1962).

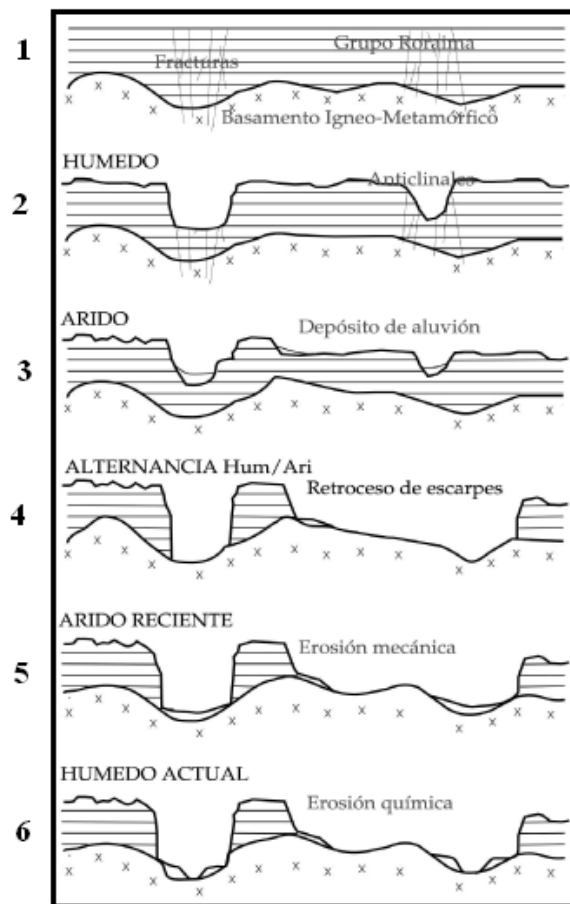


Fig. N° 8-1 Esquema de la evolución del Escudo según Galán Herrera y Carrero (Tomado de Bol. Soc. Venezolana Espel. 2004)

## **CAPITULO IX**

### **CONCLUSIONES**

La presencia de grandes masas de vegetación 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 informes desarrollados en el área.

El estudio geomorfológico arrojó tres unidades claramente diferenciables como lo son unidades mesetas, unidad de planicies y unidad de llanuras aluviales, presentándose la zona en forma de escalonada, lo cual es correspondiente a los niveles escalonados de erosión propuestos por Schubert 1990 para el Escudo Guayanés.

El modelo digital de elevación es una herramienta que facilitó el estudio de los rasgos distintivos del relieve ya que permitió tener una visión global de la zona en tres dimensiones.

La clasificación supervisada permitió definir claramente los suelos desarrollados en la región, los cuales son correspondientes a los suelos descritos por el IFLA en su informe para el MINABM.

Las combinaciones de resultados de las operaciones entre bandas dieron resultados favorables para corroborar la interpretación geomorfológica y de estructuras de la zona.

Los productos obtenidos a través de MNF, PPI y SAM no arrojaron información relevante para establecer contactos litológicos, estructural, etc, sin embargo aportaron una idea general del arreglo litológico de la zona.

El mapa geológico generado a partir de las imágenes procesadas tiene correspondencia con el mapa geológico presentado por TECMIN y el informe desarrollado por IFLA para la zona de estudio lo cual demuestra que la herramienta es confiable para la realización de un cartografiado geológico.

El uso de sensores remotos en los estudios de geología son de gran ayuda para el establecimiento de puntos claves de estudio, es importante contar con esta herramienta en las etapas anteriores a la salida de campo, sin embargo en casos de no ser posible la herramienta proporciona información confiable acerca del área de estudio.

## RECOMENDACIONES

Aplicar esta metodología de trabajo, como punto de partida, para realizar el estudio geológico de una zona determinada.

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 del las imágenes LANDSAT, incluyendo salidas de campo, en la manera de lo posible, que corrobore la información.

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.

Se recomienda el uso de otras imágenes satelitales como la ASTER e HYPERIÓN, 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, *Spot* y fotos aéreas, para estudios estructurales, ya que poseen una magnífica resolución espacial y disminuyen los efectos de la cobertura vegetal en el estudio mineralógico de la zona.

## BIBLIOGRAFÍA

ALZATE, B. (2001). *Imágenes Espaciales de la Superficie Terrestre*. Santa Fe de Bogota: Universidad Nacional de Colombia.

APONTE, E. (2005). *Geología y Evolución Geodinámica del Cinturón de Rocas Verdes Paleoproterozoico de Guasipati, en el Escudo de Guayana*. Ciudad Bolívar: Tesis de Grado, Universidad de Oriente .

ASCANIO, G. (1975). *El Complejo de Imataca en los Alrededores del Cerro Bolívar, Venezuela*. Brasil: Conferencia Geológica Interguiana.

ASCANIO, G. (1975). *Yacimientos de Mineral de Hierro del Precámbrico en Venezuela*. Caracas: 1º Simp. Amazonico.

AYMARD, G. (2001). *Estudio de la Vegetación (estructura, composición florística y diversidad) y su Relación con los Suelos, Drenaje y Geomorfología en Bosques no Inundables Situados al Sur del Estado Amazonas, Venezuela*. Guanare: UNELLEZ.

BARRIOS, F. C. (1985). *Caracterización Geocronológica del T.F. Amazonas*. Venezuela: VI Cong. Geol. Venezolano.

BERRAGE, E. (1975). *The Geomorphology of Southern Guyana with special reference to the development of planation surfaces*. Interguyana Geol. Conf.

BERRAGE, J. (1977). *The Geology of Southern Guyana, South America*. Londres: Inst. Geol. Sci London Overseas Men.

BLANCANEAUX, P. P. (1976). *Estudio Pedo-Geomorfológico sobre las Formaciones Graníticas de la Región de Puerto Ayacucho, Edo Amazonas*. Caracas: Ministerio de Obras Públicas, División de Edafología.

BOADAS, A. (1983). *Geografía del Amazonas Venezolano*. Caracas: Ariel-Seix Barral Venezolana.

BRICEÑO, H. (1982). *Applications of remote sensing to diamond placer exploration in a tropical jungle environment, Caroni river*. Colorado: Colorado School of Mines, Golden.

BRICEÑO, H. y. (1990). *Geomorphology of the Gran Sabana Shield southeastern Venezuela*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

BRICEÑO, M. (1995). *La Amazonia Venezolana: Opciones y Agenes de Desarrollo*. Merida: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Fac de Ciencias Forestales y Ambientales ULA.

CCRS, C. C. (2007). [www.ccrs.nrcan.gc.ca](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca). Recuperado el Octubre de 2008, de [www.ccrs.nrcan.gc.ca](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca)

CHUVIECO, E. (1990). *Fundamentos de la Teledeteccion Espacial*. Madrid: Rialp.

COLVEE, B. (1973). *Cueva en Cuarcitas del Cerro Autana*. Puerto Ayacucho: Bol. Soc. Ven. Espeleol.

CONDIE, K. S. (1998). *Origin and Evoluiton of Earth: Principles of Historical Geology*. New Jersey, USA: Prentice Hall.

DUMITH, D. (1997). *Bases para una Estrategia de Gestion de la Diversidad Biologica en Amazonas. SADA-AMAZONAS*. Puerto Ayacucho: PNUD.

E., R. S. (1997). *Ubicacion Tectonica de los Cuerpor de Kimberlitas de Bolivar occidental*. Venezuela: VII Cong. Geol. Venezolano.

ESTEVEVES, J., & DUMITH, D. (1997). *Diversidad Biologica en Amazonas. Bases para una Estrategia de Gestion*. Puerto Ayacucho.

GALAN, C. (1982). *Notas sobre la Morfologia de la Cueva Autana y algunos comentarios generales sobre las formas pseudocarsticas desarrolladas en cuarcitas del Grupo Roraima*. Guayana: BOL. Soc. Ven Espeloeol.

GARCIA, P. ((S/F)). *Caracteristicas Generales de Suelos del Amazonas*. Puerto Ayacucho: MINAMB Servicio Autonomo para el Desarrollo Ambiental del Estado Amazonas SADA-AMAZONAS.

GAUDETTE H, O. W. (1985). *Geochronology of the Basement Rock Amazon Territory, Venezuelan and Tectonic Evolution of tha Western Guiana Shield*. Geol in Mijnbouw.

GHOSH, S. (1977). *Geologia del Grupo Roraima en el Territorio Federal Amazonas* . Caracas: V Congreso Geologico Venezolano .

GONZALEZ DE JUANA, C. (1980). *Geologia de Venezuela y de sus Cuencas Petroliferas*. Caracas: Ediciones Foninves.

GOYO, Z. (2008). *Curso de Introduccion a la Teledeteccion*. Caracas: Instituto Geografico de Venezuela Simon Bolivar.

HUBER, O. (1995). *Mapa de Vegetacion del Estado Amazonas* . Fundacion Instituto Botánico de Venezuela.

KROOK, L. (1979). *Sediment Petrographical studies en Northern Suriname* . Amsterdam: Free University.

Mc CANDLESS, G. (1961). *Reconocimiento Geologico de la Region Noroccidental del Estado Bolivar* . Caracas: Asoc. Venezolana Geol. Min. Petrol.

McConnell, R. *Planation Surfaces in Guyana*,. 1968.

MENDOZA, V. (1975). *Estudios geoquimicos del no-tectonizado Granito Rapakivi de El Parguaza noroeste de la Guayana Venezolana*. Brasil: Conf. Geol. Interguayanas .

MENDOZA, V. (1973). *Evolucion Tectonica del Escudo de Guayana*. Caracas: Cong. Latinoamericano de Geol. Vol II.

Mendoza, V. (1977). *Evolucion Tectonica del Escudo de Guayana*. Bol. Geol. Venez. .

MENDOZA, V. (1977). *Evolucion Tectonica del Escudo de Guayana*. Caracas: Cong. Latinoamericano Geol. Caracas.

MENDOZA, V. (2005). *Geologia de Venezuela. Escudo de Guayana, Andes Venezolanos y Sistema Montañoso del Caribe, Tomo I*. Ciudad Bolivar: Universidad de Oriente.

MENDOZA, V. (1972). *Geologia del Area del rio Suapure, parte noroccidental del Escudo de Guayana* . Men. Bol. Geol. Pub. Esp. N° 6.

MINABM. (1984). *Atlas del Inventario de Tierras del Territorio Federal Amazonas* . Caracas: Direccion General Sectorial de Investigacion e Informacion del Ambiente.

MINABM. (2003). *Proyecto del Plan de Ordenamiento Territorial del Estado Amazonas*. Caracas: MINAMB.

MINABM. (2003). *Proyecto del Plan de Ordenamiento Territorial del Estado Amazonas, Municipio Atures*. Puerto Ayacucho: Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales.

MINAMB. (1984). *Estudio de Suelos Semidetallado del Valle del Rio Cataniapo. Sector Culebra-Gavilan. T.F.A.* Caracas: Direccion General Sectorial de Investigacion e Informacion del Ambiente.

MINAMB. (1983). *Sistemas Ambientales Venezolanos*. Caracas, Venezuela.

MONTGOMERY, C. (1976). *Uranium Lead Geochronology the Archen Imataca Series. Venezuelan Guayana Shield Vol 69*. Cont. to Min. and Pet.

PASCUALI, J. L. (1972). *Meteorizacion de Rocas del Escudo de Guayana en Ambiente Tropical Tomo IV*. Cong. Geol. Venezolano .

REID, A. (1974). *A Stratigraphy of the Type Area of the Roaima Group, Venezuela*. Conf. Geol. Interguayanas.

RIOS, J. H. (1972). *Geologia de la Region de Caicara, estado Bolivar*. IV Congraso Geologico Venezolano.

ROGERS, J. J. (1996). *A Hlstory of teh Continents in the Past Three Billions Years*. Jour Geology.

SIDDER, G. B. (1995). *Geology of the Venezuela Guayana Shield* . U.S. Geol. Survey.

SZCZERBAN, E. (1974). *Geologia y Petrologia de la Region de Puerto Ayacucho, T.F.A.* Caracas: UCV.

URBANI, F. (1997). *Metamorfismo de las Rocas del Grupo Roraima, estado Bolivar y T.F.A.* Caracas: Cong. Geol. Venezolano.

VIERS, G. (1974). *Geomorfología*. París: oikos-tau, s.a.

Yanez, G. A. (1972). *Provincia Geologica de Roraima: Geologia Estructural y Geomorofologia de su parte septentrional entre los rios Parguaza y Caroní*. Caracas: IV Cong. Geol. Venezolano

Paginas Web Consultadas

[www.huh.harvard.edu](http://www.huh.harvard.edu)

[www.ciat.cgiar.org](http://www.ciat.cgiar.org)

[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)