

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

COMPARACIÓN DE PROCESOS CONTROLADORES DEL RELIEVE ACTUAL Y SENSIBILIDAD DE ESTOS MECANISMOS POR PARTE DE LOS MINERALES PESADOS: APLICACIONES A SUBCUENCAS QUE DRENAN EL RÍO ORINOCO Y EL LAGO DE MARACAIBO

Trabajo Especial de Grado presentado
ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela

Por el Br. Álvarez Espartaco

Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Caracas. Abril, 2017.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

COMPARACIÓN DE PROCESOS CONTROLADORES DEL RELIEVE ACTUAL Y SENSIBILIDAD DE ESTOS MECANISMOS POR PARTE DE LOS MINERALES PESADOS: APLICACIONES A SUBCUENCAS QUE DRENAN EL RÍO ORINOCO Y EL LAGO DE MARACAIBO

Tutor:

Prof: Xavier Bustos

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Álvarez Espartaco
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo


Caracas. Abril, 2017.

Caracas, Abril de 2017

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller, titulado:

**“COMPARACIÓN DE PROCESOS CONTROLADORES DEL
RELIEVE ACTUAL Y SENSIBILIDAD DE ESTOS
MECANISMOS POR PARTE DE LOS MINERALES PESADOS:
APLICACIONES A SUBCUENCAS QUE DRENAN EL RÍO
ORINOCO Y EL LAGO DE MARACAIBO”**


Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos con el plan de estudio 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. Enzo Caraballo

Jurado


Prof. Renier Mederos

Jurado


Prof. Xavier Bustos

Tutor

DEDICATORIA

A mi madre Celeste Galluzzo por su amor y apoyo sin condiciones.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su guía y protección.

A mi casa de estudio, la Universidad Central de Venezuela por brindarme todas las herramientas para lograr esta meta de ser Ingeniero Geólogo.

A todos los profesores y preparadores con los que tuve la oportunidad de ver clases, quienes con sus conocimientos me dieron las bases para formarme como profesional.

A los profesores Mauricio Bermúdez y Xavier Bustos, por darme la oportunidad de realizar este trabajo especial de grado y por siempre apoyarme durante todo el proceso de elaboración de dicha investigación, bajo cualquier circunstancia. Muchas gracias profesores!

Al profesor Rafael Baptista por su gran ayuda y colaboración para el desarrollo de esta tesis.

Al profesor Ricardo Alezones por su buena disposición y ser mi guía en cuanto a todos los trámites a realizar para elaborar y defender la tesis.

Al grupo del Laboratorio de Termocronología de la UCV, profesores, ingenieros y tesistas que me recibieron en dicho laboratorio y me apoyaron con la tesis: Marlene, Rosa, Hely, Massiel, Michelle y Michelle M., Milagros, Indira, Tatiana, Guaji, Juan Carlos, Mariam, Charles y Suri.

A la señora Morella por su colaboración en la biblioteca, al pana Yisus, a mis compañeros de clase y amigos por su apoyo durante mi paso por la escuela.

A mi mamá y hermanos por siempre darme un motivo para seguir adelante, los quiero!!!

Álvarez G., Espartaco A.

**Comparación de procesos controladores del relieve actual y
sensibilidad de estos mecanismos por parte de los minerales pesados:
Aplicaciones a subcuencas que drenan el río Orinoco y el Lago de
Maracaibo**

**Tutor Académico: Prof: Xavier Bustos. Tesis. Caracas, UCV. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2017, n° pág. 295.**

**Palabras Claves: Geomorfología Cuantitativa, Erosión, Integral
Hipsométrica, Dimensión Fractal, Variabilidad Mineralógica, Cuencas
Hidrográficas.**

RESUMEN

El presente Trabajo Especial de Grado se fundamenta en los principios de geomorfología cuantitativa, a través del análisis digital del terreno, cálculo de índices de erosión, humedad, transporte de sedimentos, dimensión fractal e integral hipsométrica, incluyendo el análisis de rasgos característicos como el porcentaje mineral, esfericidad y redondez de muestras previamente estudiadas por antiguos tesis de la escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la UCV, de la mano del profesor Bermúdez y el Laboratorio de Termocronología de la UCV, cuyos autores son: Arcía y Viana (2013), Flores (2013), Carmona y González (2014), Figueira y Romero (2014), López y Uzcátegui (2014), Albornoz y Lezama (2014) y Calderón (2015). Este enfoque multidisciplinario es empleado con la finalidad de discriminar los agentes controladores del relieve actual (clima y tectónica) para un conjunto de sectores que comprenden gran parte del territorio venezolano y una extensa porción de los llanos colombianos.

Finalmente los valores de correlación obtenidos de todas las cuencas estudiadas, indican que para el flanco norandino el factor modelador del relieve predominante es la tectónica basado principalmente en la anticorrelacion entre el relieve y la precipitación y tomando en cuenta que en esta zona existen importantes fallas estructurales como lo son la falla de la Sierra de la Cualata y el bloque tectónico de Sierra Nevada, para el flanco surandino, se considera un acoplamiento entre clima y tectónica, sin embargo el factor principal es el climático, fundamentado por la fuerte correlación existente entre el relieve y la precipitación, sin embargo se estima un aporte importante de la tectónica basado en la presencia de sistemas de falla como Boconó y Caparo. Para el ramal interior de la Cordillera de la Costa, se establece que el clima no es el principal factor modelador del relieve, ya que no hay correlación principalmente entre el clima y el relieve, así como los parámetros que estudian los efectos de precipitación sobre el relieve (índices de erosión con precipitación). Para Apure y Arauca se establece en términos generales predominancia del factor climático, puesto que la zona en su mayoría no posee grandes altitudes tendiendo a aplanarse de oeste a este lo que indica poca actividad tectónica en la zona y alta concentración de humedad proporcionada por los sistemas de drenaje que conforman las cuencas. Para el sector de la Fm. Mesa y el sector al suroeste del río Orinoco, la alta correlación entre relieve vs precipitación y los índices de erosión vs relieve, indican que el clima es el factor modelador principal, mientras que para el sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán, aunque no se haya realizado correlación de los resultados, igualmente se infiere al clima como factor predominante, puesto que estas cuencas se encuentran ubicadas en el Cratón de Guayana, considerado una zona tectónicamente estable.

ÍNDICE

	Pag
AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN.....	5
CAPÍTULO I.....	23
1. GENERALIDADES.....	23
1.1 INTRODUCCIÓN.....	23
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	26
1.4 ALCANCE.....	27
1.5 OBJETIVOS.....	27
1.5.1 Objetivo General.....	27
1.5.2 Objetivos Específicos.....	28
1.6 ANTECEDENTES.....	28
1.7 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	30
CAPÍTULO II.....	33
2. FISIOGRAFÍA Y GEOLOGÍA REGIONAL.....	33
2.1 INTRODUCCIÓN.....	33
2.2 CORDILLERA DE LOS ANDES (CORDILLERA DE MÉRIDA).....	33
2.2.1 FLANCO NORANDINO.....	34
2.2.1.1 Relieve.....	34
2.2.1.2 Clima.....	35
2.2.1.3 Hidrografía.....	35
2.2.1.4 Vegetación.....	36
2.3.1 FLANCO SURANDINO.....	37
2.3.1.1 Relieve.....	37
2.3.1.2 Clima.....	38
2.4 RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	38
2.4.1 Relieve.....	38
2.4.2 Hidrografía.....	39
2.4.3 Clima.....	41
2.4.4 Precipitación.....	43
2.4.5 Vegetación.....	44
2.5 FORMACIÓN MESA.....	45
2.5.1 Relieve.....	45
2.5.2 Clima.....	45
2.5.3 Precipitación.....	46
2.5.4 Hidrografía.....	47
2.6 ZONA AL SUROESTE DEL RÍO ORINOCO.....	50
2.6.1 Relieve.....	50
2.6.2 Clima.....	51
2.6.3 Hidrografía.....	52

2.7 SECTOR CIRCUNDANTE A LOS RÍOS AKANÁN Y APARAMÁN...	53
2.7.1 Clima.....	53
2.7.2 Precipitación.....	53
2.8 GEOLOGÍA REGIONAL.....	53
2.8.1 Unidades litológicas presentes en cada cuenca.....	53
2.9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	55
CAPÍTULO III.....	65
3.1 INTRODUCCIÓN.....	65
3.2 MARCO CONCEPTUAL.....	65
3.2.1 GEOMORFOLOGÍA CUANTITATIVA.....	65
3.2.2 ANÁLISIS DIGITAL DEL TERRENO.....	66
3.2.3 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (MDE).....	67
3.2.4 LA EROSIÓN Y TIPOS DE EROSIÓN.....	68
3.2.5 ATRIBUTOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS DEL TERRENO.....	70
3.2.6 ÍNDICES DE HUMEDAD (Wetness Index, WI).....	73
3.2.7 ÍNDICES DE EROSIÓN (Stream Power Index- SPI).....	73
3.2.8 PODER DE FLUJO TOTAL (Total Stream Power-TSP).....	75
3.2.9 PODER DE FLUJO UNITARIO (Unit Stream Power-USP).....	75
3.2.10 PODER DE FLUJO DE CIZALLA (Shear Stress Power-SSP).....	76
3.2.11 ÍNDICE DE CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS (STI).....	77
3.2.12 CURVA HIPSOMÉTRICA.....	77
3.2.13 DIMENSIÓN FRACTAL.....	79
3.2.14 MINERALES PESADOS.....	80
3.2.15 CAPACIDAD DE MIGRACIÓN DE LOS MINERALES PESADOS.....	81
3.2.16 ESTABILIDAD QUÍMICA DE LOS MINERALES PESADOS.....	82
3.2.17 CARACTERÍSTICAS TEXTURALES DE LOS MINERALES PESADOS.....	85
3.2.17.1 ESFERICIDAD.....	85
3.2.17.2 REDONDEZ.....	85
3.2.17.3 RASGOS SUPERFICIALES.....	87
3.3 METODOLOGÍA.....	88
3.3.1 RECOPIACIÓN DEL MATERIAL DE TRABAJO.....	89
3.3.2 TRABAJO DE OFICINA.....	89
3.3.3 METODOLOGÍA USADA PARA EL CÁLCULO DE ALGUNOS PARÁMETROS UTILIZANDO ARCMAP 10.0, MODEL BUILDER Y MATLAB R2012a.....	89
3.3.3.1 Preprocesamiento del Modelo Digital de Elevación.....	90
3.3.3.2 Proyección del MDE y coberturas vectoriales.....	90
3.3.3.3 Comando Fill (Relleno).....	90
3.3.3.4 Comando FLOW-DIRECTION (Dirección de Flujo).....	90
3.3.3.5 Comando FLOW-ACUMULATION (Acumulación de Flujo).....	91
3.3.3.6 Comando STREAM-ORDER (Determinación de la red de drenaje).....	92

3.3.3.7 Comando WATERSHED (Delimitación de cuencas hidrográficas).....	92
3.3.3.8 Análisis Morfométricos de las Cuencas.....	93
3.3.3.9 Análisis Hidrológico de Cuencas.....	94
3.3.3.10 Cálculo del Relieve.....	94
3.3.3.11 Determinación de índices de erosión empleando la herramienta Model Builder.....	94
3.3.3.12 Generando la red de drenaje y órdenes de los ríos.....	97
3.3.3.13 Cálculo de la Dimensión Fractal, Mediante una rutina en MATLAB R2012a.....	98
CAPÍTULO IV.....	100
4 RESULTADOS.....	100
4.1 INTRODUCCIÓN.....	100
4.2 FLANCO NORANDINO Y SURANDINO.....	100
4.2.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, ELEVACIÓN Y PENDIENTE FLANCO NORANDINO Y SURANDINO.....	100
4.2.2 RELIEVE FLANCO NORANDINO Y SURANDINO.....	103
4.2.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA FLANCO NORANDINO Y SURANDINO.....	107
4.2.4 ÍNDICES DE HUMEDAD E ÍNDICES DE TRANSPORTE FLANCO NORANDINO Y SURANDINO.....	109
4.2.5 DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA (Km²) QUE OCUPAN LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE ERODABILIDAD (K) EN EL FLANCO NORANDINO Y FLANCO SURANDINO.....	110
4.2.6 ÍNDICES DE EROSIÓN FLANCO NORANDINO Y SURANDINO.....	114
4.2.7 ESTUDIO DE LA DIMENSIÓN FRACTAL, FLANCO SURANDINO Y NORANDINO.....	119
4.2.8 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD MINERALÓGICA FLANCO SURANDINO.....	121
4.3 FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	132
4.3.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, ELEVACIÓN Y PENDIENTE.....	132
4.3.2 RELIEVE. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	134
4.3.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	138
4.3.4 ÍNDICES DE HUMEDAD E ÍNDICES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	139
4.3.5 DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA (KM²) QUE OCUPAN LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE ERODABILIDAD (K) EN EL FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	140
4.3.6 ÍNDICES DE EROSIÓN FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	141

4.3.7 ESTUDIO DE LA DIMENSIÓN FRACTAL. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	145
4.3.8 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD MINERALÓGICA. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	146
4.4 APURE Y ARAUCA	155
4.4.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, ELEVACIÓN Y PENDIENTE. APURE Y ARAUCA.....	135
4.4.2 RELIEVE. APURE Y ARAUCA.....	156
4.4.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA. APURE Y ARAUCA.....	158
4.4.4 ÍNDICE DE HUMEDAD, ÍNDICE DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. APURE Y ARAUCA.....	158
4.4.5 DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA (KM²) QUE OCUPAN LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE ERODABILIDAD (K) PARA LAS CUENCAS APURE Y ARAUCA.....	161
4.4.6 ÍNDICES DE EROSIÓN. APURE Y ARAUCA.....	161
4.4.7 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD MINERALÓGICA. APURE.....	164
4.5 MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	167
4.5.1 PRECIPITACION, ÁREA, ELEVACIÓN Y PENDIENTE. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	167
4.5.2 RELIEVE. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	170
4.5.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	173
4.5.4 ÍNDICES DE HUMEDAD E ÍNDICES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	176
4.5.6 ÍNDICES DE EROSIÓN. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	181
4.5.7 ESTUDIO DE LA DIMENSIÓN FRACTAL. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO	189
4.5.8 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD MINERALÓGICA. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	189
CAPÍTULO V	203
5 ANÁLISIS E INTEGRACIÓN DE RESULTADOS.....	203
5.1 INTRODUCCIÓN	203
5.2 ANÁLISIS DIGITAL DEL TERRENO PARA EL FLANCO NORANDINO Y SURANDINO.....	203
5.2.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, PENDIENTE Y ELEVACIÓN. FLANCO NORANDINO Y SURANDINO.....	203
5.2.2 RELIEVE. FLANCO NORANDINO Y SURANDINO.....	204
5.2.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA. FLANCO NORANDINO Y SURANDINO.....	205
5.2.4 ÍNDICES DE HUMEDAD Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. FLANCO NORANDINO Y SURANDINO.....	206
5.2.5 ÁREA QUE OCUPA EL COEFICIENTE DE ERODABILIDAD.	208

FLANCO NORANDINO Y SURANDINO.....	
5.2.6 ÍNDICES DE EROSIÓN, FLANCO NORANDINO Y SURANDINO.	208
5.2.7 DIMENSIÓN FRACTAL. FLANCO NORANDINO Y SURANDINO	209
5.2.8 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD	210
MINERALÓGICA. FLANCO SURANDINO.....	
5.2.9 CORRELACIONES PEARSON. FLANCO NORANDINO Y	214
SURANDINO....	
5.3 ANÁLISIS DIGITAL DEL TERRENO PARA EL FLANCO RAMAL	224
INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	
5.3.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, PENDIENTE Y ELEVACIÓN RAMAL	225
INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	
5.3.2 RELIEVE. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA	225
DE LA COSTA.....	
5.3.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA. FLANCO RAMAL INTERIOR DE	226
LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	
5.3.4 ÍNDICES DE HUMEDAD Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.	227
FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA	
COSTA.....	
5.3.5 ÁREA QUE OCUPA EL COEFICIENTE DE ERODABILIDAD.	228
FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA	
COSTA.....	
5.3.6 ÍNDICES DE EROSIÓN. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA	202
CORDILLERA DE LA COSTA.....	
5.3.7 DIMENSIÓN FRACTAL. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA	202
CORDILLERA DE LA COSTA.....	
5.3.8 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD	203
MINERALÓGICA. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA	
CORDILLERA DE LA COSTA.....	
5.3.9 CORRELACIÓN PEARSON. FLANCO RAMAL INTERIOR DE	231
LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	
5.4 ANÁLISIS DIGITAL DEL TERRENO PARA LAS CUENCAS	234
APURE Y ARAUCA.....	
5.4.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, PENDIENTE Y ELEVACIÓN. APURE	234
Y ARAUCA.....	
5.4.2 RELIEVE. APURE Y ARAUCA.....	234
5.4.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA. APURE Y ARAUCA.....	234
5.4.4 ÍNDICES DE HUMEDAD Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.	235
APURE Y ARAUCA.....	
5.4.5 ÁREA QUE OCUPA EL COEFICIENTE DE ERODABILIDAD.	235
APURE Y ARAUCA.....	
5.4.6 ÍNDICES DE EROSIÓN. APURE Y ARAUCA.....	236
5.4.7 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD	236
MINERALÓGICA. CUENCA APURE.....	
5.4.8 INTEGRACIÓN DE RESULTADOS. APURE Y ARAUCA.....	237
5.5 ANÁLISIS DIGITAL DEL TERRENO. MARGEN CENTRAL DEL	238

RÍO ORINOCO.....	
5.5.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, PENDIENTE Y ELEVACIÓN. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	238
5.5.2 RELIEVE. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	240
5.5.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	240
5.5.4 ÍNDICES DE HUMEDAD Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	241
5.5.5 ÍNDICES DE EROSIÓN. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	242
5.5.6 DIMENSIÓN FRACTAL. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	243
5.5.7 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD MINERALÓGICA. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	244
5.5.8 CORRELACIONES PEARSON. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO.....	247
5.5.9 INTEGRACIÓN DE RESULTADOS PARA EL SECTOR CIRCUNDANTE A LOS RÍOS AKANÁN Y APARAMÁN.....	252
5.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y CAUSAS DE DIFERENCIAS.....	253
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	256
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	262
8. ANEXOS.....	272

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Atributos topográficos primarios del terreno, ue pueden derivarse de un MDE, mediante funciones de análisis en SIG (Moore et al.,1991).....	61
Tabla 3.2. Orden de persistencia de los minerales pesados (Tomado y modificado de Pettihn, 1975).....	70
Tabla 3.3. Asociaciones de minerales pesados y procedencia (Tomado y modificado de Feo-Codecido, 1960).....	71
Tabla 3.4. Minerales pesados con baja, media y alta capacidad de migración (Tomado y modificado de García y Martínez, 1992).....	72
Tabla 3.5. Grado de resistencia a la alteración química de algunos minerales pesados (Tomado y modificado de García y Martínez, 1992).....	73
Tabla 4.1. Valores de precipitación y parámetros morfométricos de las cuencas de interés en el flanco Norandino y Surandino.....	90
Tabla 4.2. Relieve de 1km, 3km, 5km y 7km y relieve máximo para cada radio	91

dividido entre el área de cada cuenca para el flanco Norandino y Surandino.....	
Tabla 4.3. Valores de integral hipsométrica y promedio total para el flanco Norandino y el flanco Surandino.....	93
Tabla 4.4. Valores de WI, WIP, STI y STIPK para el flanco Norandino y Surandino.....	96
Tabla 4.5. Distribución del área en km ² de acuerdo a la litología. Para las cuencas estudiadas en ambos flancos de los Andes venezolanos.....	98
Tabla 4.6. Índices de erosión tóricos y no teóricos (con Prec. y K) para el flanco norandino y surandino.....	100
Tabla 4.7. Valores de dimensión fractal D para las cuencas del flanco Norandino y surandino.....	104
Tabla 4.8. Porcentaje mineral existentes en las cuencas del flanco surandino con respecto a las muestras tomadas.....	106
Tabla 4.9. Tabla de valores de esfericidad para las cuencas de interés del flanco surandino.....	108
Tabla 4.10. Valores de redondez para las cuencas estudiada en el flanco surandino. A excepción de Santo Domingo.....	108
Tabla 4.11. Unidades litológicas presentes en las cuencas Canaguá, Boconó, Guanare y Guache (Hackley et al., 2005).....	109
Tabla 4.12. Unidades litológicas presentes en las cuencas Michay, Caparo, Capitanejo y Uribante (Hackley et al., 2005).....	113
Tabla 4.13. Precipitaciones anuales promedio derivado del modelo TRMM 2B31 para el período 1998-2009 (Bookhagen, 2010).....	116
Tabla 4.14. Valores de relieve para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa, incluyendo los valores máximos de relieve divididos entre el área de cada cuenca, para cada envolvente de diámetro.....	118
Tabla 4.15. Valores de integral hipsométrica para este sector de la zona de estudio, además el promedio general de Hi.....	119
Tabla 4.16. Índices de Humedad (WI) y (WIP) e índices de transporte (STI) y (STIP), para el flanco ramal interior de la Cordillera de Costa.....	120
Tabla 4.17. Distribución del área en km ² de acuerdo a la litología, para las cuencas estudiadas en el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.....	122
Tabla 4.18. Valores de Índices de Erosión TSP, USP, SSP, TSPPK, USPPK, para el Flanco Ramal Interior de la Cordillera de la Costa.....	124
Tabla 4.19. Valores de D para las cuencas de interés estudiadas en el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.....	127
Tabla 4.20. Porcentaje mineral existente en las cuencas estudiadas en este sector.....	128
Tabla 4.21. Esfericidad para cada mineral presente en las cuencas	129

pertenecientes al ramal interior de la Cordillera de la Costa.....	
Tabla 4.22. Promedio general de redondez para las cuencas Camatagua, Guárico, Orituco, Peña y promedio para cada mineral presente en la cuenca San Carlos.....	129
Tabla 4.23. Unidades litológicas presentes en las cuencas Nirgua, Peña, San Carlos, Camatagua, Guárico y Orituco.....	131
Tabla 4.24. Valores de precipitación, área, pendiente y elevación. Arauca y Apure.....	136
Tabla 4.25. Valores de relieve para las cuencas Apure y Arauca.....	137
Tabla 4.26. Valores de índices de humedad e índices de transporte para Arauca y Apure...	138
Tabla 4.27. Área que ocupan los valores del coeficiente de erodabilidad (k), en las cuencas Apure y Arauca.....	141
Tabla 4.28. Valores de índices de erosión teóricos y prácticos para las cuencas de los ríos Arauca y Apure.....	142
Tabla 4.29. Porcentaje mineral para la cuenca del río Apure.....	144
Tabla 4.30. Valores promedios de esfericidad y redondez para la cuenca Apure.....	145
Tabla 4.31. Unidades litológicas presentes en la cuenca Apure (Hackley et al., 2005)....	146
Tabla 4.32. Valores de área, precipitación, pendiente y elevación para el margen central del río Orinoco.....	150
Tabla 4.33. Valores de relieve calculado en diferentes radios de envolvente, además de los valores óptimos para la correlación (relieve máximo dividido entre el área de cada cuenca), del margen central del río Orinoco.....	153
Tabla 4.34. Valores de H_i junto al promedio de H_i para las cuencas de interés del margen central del río Orinoco.....	154
Tabla 4.35. Valores de precipitación, índices de humedad e índices de erosión. Margen central del río Orinoco.....	158
Tabla 4.36. Área que ocupan los valores del coeficiente de erodabilidad (k), en las cuencas que pertenecen al margen central de la cuenca del río Orinoco.....	161
Tabla 4.37. Valores de índices de erosión TSP, USP, SSP, TSPpk, USPpk y SSPpk, para el margen central del río Orinoco.....	163
Tabla 4.38. Valores de dimensión fractal para las cuencas pertenecientes al margen central del río Orinoco.....	168
Tabla 4.39. Valores de porcentaje mineral para las cuencas de interés de la Fm. Mesa....	169
Tabla 4.40. Valores de porcentaje mineral para las cuencas de interés en el sector al suroeste del río Orinoco.....	170

Tabla 4.41. Valores de porcentaje mineral para la cuenca Akanán, pertenece al sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán.....	171
Tabla 4.42. Valores de esfericidad para cada mineral estudiado en la Fm. Mesa.....	172
Tabla 4.43. Valores de esfericidad para las cuencas estudiadas en la zona al suroeste del río Orinoco.....	172
Tabla 4.44. Valor promedio general de esfericidad para la cuenca Akanán.....	173
Tabla 4.45. Valores de redondez para los minerales estudiados en la Fm. Mesa.....	173
Tabla 4.46. Valores de redondez para la cuencas estudiadas en el sector al suroeste del río Orinoco.....	173
Tabla 4.47. Promedio general de redondez para la cuenca Akanán.....	174
Tabla 4.48. Unidades pertenecientes a la Fm. Mesa (Hackley et al., 2005).....	175
Tabla 4.49. Unidades litológicas presentes en las cuencas Parguaza, Cataniapo, Meta y Orinoco (Hackley et al., 2005; Tapias et al., 2007).....	179
Tabla 4.50. Unidades litológicas presentes en la cuenca Akanán (Hackley et al., 2005)....	180
Tabla 5.1. Valores promedios a correlacionar para el flanco Norandino.....	191
Tabla 5.2. Correlación para los parámetros calculados en las cuencas de interés del flanco Norandino.....	192
Tabla 5.3. Valores promedios a correlacionar para el flanco surandino.....	194
Tabla 5.4. Valores de correlación para el flanco surandino.....	195
Tabla 5.5. Parámetros a correlacionar para las cuencas de interés en el flanco surandino tomando en cuenta los valores de esfericidad y redondez.....	197
Tabla 5.6. Valores correlacionados para las cuencas estudiadas en el flanco surandino. Se excluyen Santo Domingo y Boconó.....	198
Tabla 5.7. Correlación Pearson. Flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.....	206
Tabla 5.8. Valores correlacionados para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.....	207
Tabla 5.9. Parámetros a correlacionar para las cuencas de interés del la Fm. Mesa.....	220
Tabla 5.10. Valores de correlacion para las cuencas estudiadas en la Fm. Mesa.....	221
Tabla 5.11. Parámetros a correlacionar para las cuencas de interés en la zona al suroeste del río Orinoco.....	223

Tabla 5.12. Valores de correlación para las cuencas estudiadas en la zona al suroeste del río Orinoco.....	224
---	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1a. Primera parte del área de estudio.....	26
Figura 1.1.b. Segunda parte del área de estudio.....	26
Figura 2.1. Mapa que muestra el relieve de un sector de los Andes Venezolanos en una envolvente de 5 km de radios.....	28
Figura 2.2. Mapa de vegetación de la Cordillera de los Andes.....	31
Figura 2.3. Río Nirgua o Buria y sus principales tributarios.....	34
Figura 2.4. Clasificación climática del ramal interior de la Cordillera de la Costa.....	36
Figura 2.5. Datos de precipitación promedio anual de Venezuela.....	37
Figura 2.6. Mapa de pisos húmedos de la parte central de La Cordillera de la Costa.....	38
Figura 2.7. Clasificación climática de Formación Mesa, según Köppen.....	39
Figura 2.8. Tasa de precipitación anual promedio para la Formación Mesa...	40
Figura 2.9. Cuenca Caris, la cual contiene a la cuenca Fundo Mata Linda.....	41
Figura 2.10. Cuenca Río Aro, que comprende las cuencas Moitaco, Borbón de Roca, Borbón Detrítico y Peñón Aro.....	42
Figura 2.11. Fragmento de mapa Geológico de Vzla producido por U.S. Geological Survey National.....	45
Figura 2.12. Fragmento de mapa geológico colombiano.....	46
Figura 2.13. Sección estructural simplificada de los Andes centrales de Venezuela.....	47
Figura 2.14. Principales estructuras presentes, en este tramo de la zona de estudio, comprende la zona de las cuencas hidrográficas del río Nirgua, Peña y San Carlos.....	48
Figura 2.15. Principales estructuras y sistemas de fallas predominantes en el ramal interior de La Cordillera de la Costa.....	50
Figura 2.16. Conjunto de características generales referentes a la tectónica, geología estructural y superficial del Delta del Orinoco.	51
Figura 2.17. Mapa Geológico actual del alto relieve del Escudo de Guayana.....	52
Figura 2.18. Mapas geológicos de las cuencas hidrográficas de los ríos Parguaza (1) y Catar (2).....	53
Figura 2.19. Corte esquemático a través de Boyacá y Casanare.....	54
Figura 3.1. Tipos de erosión hídrica.....	60
Figura 3.2. a) Ilustración del área “a” (sombreado) de una cuenca hidrográfica que se encuentra por sobre una cota “h” (Tomado y modificado de Quesada et al., 2010). b) Tipos de curvas hipsométricas : 1) Convexas (Fase de Juventud). 2) Sinuosoidal (Fase de Madurez). 3) Cóncava (Fase de Vejez).....	68
Figura 3.3. Gráfica para determinar la esfericidad y redondez de granos.....	75

Figura 3.4. Método de clasificación de drenaje Strahler.....	80
Figura 3.5. Diagrama de flujo del Model Builder (Herramienta de ArcMap, para el cálculo del índice de erosión TSP).....	83
Figura 3.6. Diagrama de flujo del Model Builder (Herramienta de ArcMap para el cálculo del índice de erosión SSP).....	84
Figura 3.7. Diagrama de flujo empleado para el cálculo de drenaje, en particular se muestra el caso del Flanco Norandino.....	85
Figura 4.1. Precipitaciones anuales promedio derivado del modelo TRMM 2B31 para el período 1998-2009 (Bookhagen, 2010). Flanco norandino y flanco surandino.....	88
Figura 4.2. Relieve para el flanco norandino y el flanco surandino, con radio de envolvente de 1km.....	93
Figura 4.3. Comparación valores H_i para las cuencas de interés en el flanco norandino (Izq) y flanco surandino (Der).....	94
Figura 4.4. Imágenes de WI y WIP para el flanco norandino y el flanco surandino de los Andes Venezolanos.....	96
.....	
Figura 4.5. Imágen de STI y STI _p para el flanco norandino y surandino.....	97
Figura 4.6. Imagen TSP. Flancos norandino y surandino y USP. Flancos norandino y surandino.....	102
Figura 4.7. Imagen SSP. Flancos norandino y surandino.....	102
Figura 4.8. Imagen TSP-pk. Flanco norandino y surandino y USP-pk. Flanco norandino y surandino.....	103
Figura 4.9. Imagen USP-pk Flanco norandino y surandino.....	103
Figura 4.10. Grupos de cuencas de acuerdo al coeficiente de autosimilaridad para el flanco norandino. 1) Coloncito, 2) Mimbós, 3) San Pedro, 4) Tucaní, 5) Chama, 6) AguaViva-Chejendé.....	105
Figura 4.11. Grupos de cuencas de acuerdo al coeficiente de autosimilaridad para el flanco surandino. 1)Uribante, 2) Michay, 3) Capitanejo, 4)Guache, 5) Santo Domingo, 6) Canaguá, 7)Guanare,8) Boconó, 9) Caparo.....	105
Figura 4.12. Porcentaje mineral representado en diagramas de torta para las	107

cuencas pertenecientes al flanco surandino.....	
Figura 4.13. Variabilidad mineralógica para las cuencas Guache, Guanare, Boconó y Canaguá. Porcentaje mineral unidades litológicas y zona donde fueron tomadas las muestras.....	109
Figura 4.14. Variabilidad mineralógica para las cuencas Michay, Capitanejo, Caparo y Uribante. Se presenta el porcentaje mineral, zona de muestreo y unidades litológicas.....	113
Figura 4.15. Precipitación para el Flanco Ramal Interior de la Cordillera de la Costa...	115
Figura 4.16. Relieve del flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa. Radio 1km.	118
Figura 4.17. Comparación valores Hi para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.....	119
Figura 4.18. Índices de humedad WI (Izq.) y WIp (Der.), para el ramal interior de la Cordillera de la Costa.....	121
Figura 4.19. Índices de transporte STI (Izq.) y STIp (Der.), para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.....	121
Figura 4.20. Índices de erosión para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa: TSP (Izq.), USP(Der.).....	125
Figura 4.21. Índice de erosión para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa SSP.....	125
Figura 4.22. Índices de erosión para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa: TSP-pk (Izq) y USP-pk (Der).....	126
Figura 4.23. Índice de erosión para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa SSP-pk.....	126
Figura 4.24. Grupo de cuencas de acuerdo al coeficiente de autosimilaridad. 1) Peña, 2) Nirgua, 3) San Carlos, 4) Camatagua, 5) Guárico y 6) Orituco.....	127
Figura 4.25. Diagramas de torta del porcentaje mineral de las cuencas pertenecientes al flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.....	128

Figura 4.26. Mapa de variabilidad mineralógica que comprende la zona de muestreo y el porcentaje mineral de las cuencas Nirgua, Peña, San Carlos, Camatagua, Guárico y Orituco.....	130
Figura 4.27. Precipitaciones anuales promedio derivado del modelo TRMM 2B31 para el período 1998-2009 (Bookhagen, 2010). Cuencas de los ríos Arauca y Apure.....	135
Figura 4.28. Relieve para las cuencas Apure y Arauca: Apure 1km (Izq.), Arauca 1km (Der).....	137
.....	
Figura 4.29. Gráficas de curvas hipsométricas para las cuencas de los ríos Arauca (Izq) y Apure (Der).....	138
.....	
Figura 4.30a. Índices de humedad WI.Apure(Izq.) y WI.Arauca (Der).....	139
Figura 4.30b. Índices de humedad WIp. Apure (Izq.) y WIp. Arauca (Der).....	139
Figura 4.31a. Índices de transporte: STI. Apure(Izq.); STI. Arauca (Der).....	140
Figura 4.31b. Índices de transporte: STIpk. Apure(Izq.); STIpk Arauca (Der).....	140
Figura 4.32a. Índices de erosión teóricos TSP. Apure y Arauca.....	142
Figura 4.32b. Índices de erosión teóricos USP. Apure y Arauca.....	143
Figura 4.32c. Índices de erosión teóricos SSP. Apure y Arauca.....	143
Figura 4.33. Diagrama de torta del porcentaje mineral en la cuenca Apure.....	144

Figura 4.34. Mapa de variabilidad mineralógica para la cuenca Apure.....	145
Figura 4.35. Precipitación para el margen central de la cuenca del río Orinoco: Formación Mesa (Izq.); Zona al suroeste del río Orinoco (Der.).....	148
Figura 4.36. Relieve para el margen central del río Orinoco: Formación Mesa 1km(Izq.); Zona al suroeste del río Orinoco 1km (Izq.).....	153
Figura 4.37. Promedio de curvas hipsométricas para la Formación Mesa.....	154
Figura 4.38a. Promedio de curvas hipsométricas de Cataniapo y Parguaza.....	155
Figura 4.38b. Curvas hipsométricas de Orinoco Meta.....	155
Figura 4.38c. Promedio entre las curvas hipsométricas de Akanán y Aparamán.....	156
Figura 4.39a. Índices de humedad WI y WIp para Formación Mesa: Fm. Mesa (Izq.);Fm Mesa (Der.).....	159

Figura 4.39b. Índices de transporte STI y STIp para Formación Mesa: Fm. Mesa STI (Izq.), Fm. Mesa STIp (Der.).....	159
Figura 4.39c. Índices de humedad WI y WIP para la zona al suroeste del río Orinoco: WI (Izq.) y WIp (Der.).....	160
Figura 4.39d. Índices de transporte de sedimentos STI y STIp para la zona al suroeste del río Orinoco: STI (Izq) y STIp (Der).....	160
Figura 4.40a. Índices de erosión para Formación Mesa: TSP (Izq.) y USP (Der.).....	164
Figura 4.40b. Índice de erosión para Formación Mesa: SSP.....	164
Figura 4.40c. Índices de erosión para Formación Mesa: TSPpk (Izq.) y USPpk (Der.)..	165
Figura 4.40d. Índices de erosión para Formación Mesa: SSPpk.....	165
Figura 4.40e. Índices de erosión para la zona al suroeste del río Orinoco: TSP (Izq.) y USP (Der.).....	166
Figura 4.40f. Índice de erosión para la zona al suroeste del río Orinoco: SSP.....	166
Figura 4.40g. Índice de erosión para el sector al suroeste del río Orinoco: TSPpk (Izq.) y USPpk (Der.).....	167
Figura 4.40h. Índice de erosión para el sector al suroeste del río Orinoco: SSPpk.	167
Figura 4.41. Grupo de cuencas de acuerdo al coeficiente de autosimilaridad Formación Mesa (Izq.): 1) Moitaco, 2) Fundo M.L., 3) Borbón de Roca, 4) Pe Aro, 5) Boi Detrítico.....	168
Figura 4.42. Diagramas de torta ue muestran el porcentaje de mineral de las cuencas pertenecientes a Fm. Mesa.....	170
Figura 4.43. Diagramas de torta que muestran los valores de porcentaje mineral en las cuencas Cataniapo, Parguaza, Orinoco y Meta.....	171
Figura 4.44. Diagramas de torta del porcentaje mineral de la cuenca Akanán.....	172

Figura 4.45. Variabilidad mialológica para las cuencas pertenecientes a la Formación Mesa. Se observan los puntos donde fueron obtenidos las muestras, las unidades litológicas presentes en la zona y el porcentaje mineral en cada cuenca.....	174
Figura 4.46 Variabilidad mineralógica para las cuencas estudiadas en la zona al suroeste del río Orinoco, donde se observa la zona donde fueron recogidas las muestras, las unidades litológicas presentes y el porcentaje mineral obtenido en el muestreo.....	176
Figura 4.47. Variabilidad mineralógica para la cuenca Akanán, se observa la zona donde fue recogida la muestra, las unidades presentes y el porcentaje mineral.....	179
Figura 5.1. Fallas geológicas más importantes de Venezuela.....	183

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo Especial de Grado nace de la necesidad de compilar todos los estudios recientes que se han realizado en el Laboratorio de Termocronología de la UCV desde el año 2013 hasta la fecha, debido a que estos constituyen una pequeña ramificación de un proyecto a gran escala financiado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (C.D.C.H), de la mano del grupo Geociencia Integral de los Andes de Mérida (G.I.A.M.E), y lleva por nombre “Determinación de la relación entre relieve, clima, tectónica y biodiversidad en orógenos circundantes a la cuenca del río Orinoco, mediante métodos multiherramientas”. Los estudios que aporta el Laboratorio de Termocronología de la UCV, para dicho proyecto fueron realizados por antiguos tesis de la escuela de Geología, Geofísica y Minas de la UCV los cuales son Arcia y Viana (2013), Flores (2013), Carmona y Gonzalez (2014), López y Uzcátegui (2014), Figueira y Romero (2014), Lezama y Albornoz (2014) y Calderón (2015), bajo la tutoría del profesor Mauricio Bermúdez con la finalidad de analizar y discriminar los procesos controladores del relieve en distintas zonas del territorio venezolano y un sector de Colombia, a través de la extensión de las cuencas del río Meta y el río Orinoco.

Básicamente este trabajo se fundamenta en determinar (al igual que en los trabajos previos) los factores controladores del relieve en estas zonas, sin embargo se realizarán nuevos cálculos a modo comparativo de parámetros ya calculados por los autores anteriores, recordando que los valores pueden sufrir ciertos cambios conforme a la exactitud con que se tome el área de la cuenca e incluso a otros factores como el tamaño del pixel (para este trabajo se considera 92x92) y también se realizarán nuevos aportes que contribuyan a afianzar las conclusiones anteriores,

como la inclusión del coeficiente de erodabilidad (k) en los índices de erosión con precipitación, que va directamente relacionado a la litología presente en las cuencas (no considerado en los trabajos previos), el estudio de la dimensión fractal que a través del coeficiente de autosimilaridad establece si existe uno a más factores controladores del relieve y cual de estos factores es predominante (no considerado en los trabajos previos), el cálculo de curvas hipsométricas para todas las cuencas de interés para así establecer fases de madurez, vejez y equilibrio de estas (realizado solo por los autores Figueira y Romero, 2014 y Calderón, 2015), las correlaciones Pearson que determinan con mayor efectividad el factor controlador predominante en la zona (realizado solo por los autores Bermúdez et al., 2013, Carmona y González, 2014, Lezama y Albornoz, 2014 y López y Uzcátegui, 2014) y mapas de variabilidad mineralógica, que determinen la concentración de minerales pesados presentes en cada una de las cuencas analizadas.

Las cuencas de interés que drenan hacia el río Orinoco son: Boconó, Guache, Uribante, Michay, Caparo, Canaguá, Capitanejo, Guanare y Santo Domingo, ubicadas en el flanco surandino. Nirgua, San Carlos, Camatagua, Guárico y Orituco, ubicadas en el flanco ramal interior de la cordillera de la costa. Apure, Arauca y Meta, localizadas en Los Llanos occidentales. Parguaza, Cataniapo, Akanan, Aparamán y un sector del río Orinoco localizadas en el cratón de Guayana. Borbón Detrítico, Borbón de Roca, Moitaco, Fundo Mata Linda y Peñón en la zona oriental del mencionado río y otro grupo de cuencas ubicadas en el flanco norandino que drenan hacia el Lago de Maracaibo conocidas como Chama, Coloncito, Aguaviva-Chejendée, San Pedro, Tucaní y Mimbós, éstas últimas parte del trabajo doctoral de Bermúdez (2009).

Específicamente, este trabajo se centrará en la integración de todos los factores responsables de la evolución del relieve en esta zona, como el patrón de precipitación, índice de erosión, características geomorfológicas presentes, posibles estructuras, así como la cuantificación y comparación de los distintos minerales pesados existentes, los cuales son datos que además expresan el relieve actual (Cuaternario), evidencian

de alguna forma los cambios que han ocurrido en el paisaje producto de la interacción entre el relieve, el clima y la tectónica.

Cabe destacar que todos estos procesos exodinámicos y endodinámicos que se han manifestado en estas zonas, han podido actuar en forma conjunta o individual, observándose esto en los índices de erosión actual, cuyos mecanismos han promovido un incremento en cuanto a la acumulación de material (sedimentos) en importantes cuencas de Venezuela, principalmente en un sector de la cuenca del río Orinoco y el lago de Maracaibo, que constituye una pieza clave para entender el desarrollo y exhumación de las cadenas montañosas circundantes.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en las zonas donde se encuentran las cuencas a estudiar, no cuentan con una base de datos que ayuden a establecer las relaciones e interacción de las variables clima-relieve-tectónica, ya que es un área muy extensa y geológicamente compleja, donde convergen diversas cadenas montañosas como los Andes Venezolanos, La Serranía del Interior y La Cordillera de la Costa, sin embargo existe una serie de estudios y trabajos realizados por los distintos investigadores y hoy en día egresados de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica que hicieron su Trabajo Especial de Grado en el Laboratorio de Termocronología de la UCV, a lo largo de distintos sectores, los cuales en conjunto a través del análisis y comparaciones de los datos encontrados, podrían arrojar algunas conclusiones generales, referentes a dichas variables, sobre este importante sector de Los Andes del Norte de Suramérica.

En este trabajo se propone unificar en base de datos, todos los resultados obtenidos de los diferentes estudios realizados a lo largo de las cuencas antes mencionadas, con respecto a índices de erosión uniformes y variables, es decir, tomando en cuenta la precipitación y litología, aporte de esta tesis, ya que en los trabajos previos se consideró una litología uniforme; además se incluye las variables conocidas como el relieve, la precipitación y contenido mineralógico.

Adicionalmente, para este trabajo se plantea el cálculo de otras variables morfométricas de las cuencas como: la integral hipsométrica y la dimensión fractal, de manera que sea más factible realizar comparaciones y obtener respuestas claves de forma general, sobre los diferentes procesos que controlan el relieve. De esta manera se puede establecer en todas estas zonas cuales son los sitios más susceptibles a la erosión actual y en el futuro comparar estas mediciones con las tasas de erosión a largo plazo calculadas a partir de datos termocronológicos.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación forma parte de un estudio más completo que se está llevando a cabo por el grupo CDCH-UCV 08-8272-2011 titulado “Determinación de la relación entre relieve, clima, tectónica y biodiversidad en orógenos circundantes a la cuenca del río Orinoco mediante métodos multi-herramientas” y del proyecto GIAME (Geociencia Integral de los Andes de Mérida), ambos dentro de la línea de investigación desarrolladas en el laboratorio de Termocronología de la Universidad Central de Venezuela (UCV). Los datos de geomorfología cuantitativa y mineralógicos que se desean compilar, provienen de un conjunto de tributarios que drenan hacia la cuenca del río Orinoco, recopilados en puntos de las cuencas nombradas a excepción de las localizadas en el flanco norandino que drenan hacia la cuenca del Lago de Maracaibo. Esta base de datos servirá para complementar el desarrollo del estudio principalmente de la erosión a gran escala como proceso responsable del relieve actual de los orógenos circundantes a ambas cuencas hidrográficas. En el futuro este trabajo podría ser empleado para entender las relaciones entre exhumación de montañas, la evolución del paisaje a lo largo del tiempo, la cantidad de erosión y los volúmenes de sedimentos que son transportados por el río Orinoco hasta el Atlántico, además de entender como los minerales pesados se abrasionan y se distribuyen a través de las grandes distancias como consecuencia de distintos tipos de transporte y el cambio en ellos.

1.4 ALCANCE

Este trabajo representa una compilación de las diferentes investigaciones (tesis de pregrado, artículos de investigación y trabajos de ascenso) que se han realizado en los laboratorios de Termocronología y Geomatemáticas de la UCV enmarcadas en los proyectos científicos antes mencionados. En la presente investigación se plantea realizar bases de datos geoespaciales, que contengan todas las características o procesos que han participado en la formación del relieve actual a lo largo de un sector de la cuenca del río Orinoco y circundantes a la cuenca del Lago de Maracaibo donde existen las montañas más jóvenes del país, con la finalidad de poder realizar diferentes comparaciones entre cuencas, realizar mapas de contenido de minerales pesados entre las cuencas y comparar los diferentes parámetros geomorfológicos cuantitativos, así es posible establecer las variaciones laterales de los procesos erosivos en los tributarios que convergen principalmente hacia ambas cuencas. Un importante aporte de esta investigación (aparte de incluir el peso litológico en los índices de erosión), además de realizar las comparaciones antes citadas, es la derivación de la integral hipsométrica y el cálculo de la dimensión fractal; esto permite definir el estado de madurez de cada cuenca y los cambios temporales que ocurren en los procesos que controlan el relieve a partir de la determinación de la autosimilaridad basada en fractales.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Comparar los procesos controladores del relieve actual sobre un grupo de subcuencas hidrográficas que drenan parte del río Orinoco y la cuenca del Lago de Maracaibo, para obtener las relaciones existentes entre el clima y relieve con respecto a la geodinámica actual de toda la zona.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Compilar los datos de los procesos controladores del relieve, obtenidos a partir de diferentes estudios realizados en estas zonas.
- Comparar los índices de humedad, transporte de sedimentos y de erosión (con la precipitación y litología predominante), para conocer el efecto climático sobre el relieve actual.
- Realizar un mapa que permita comparar la variabilidad mineralógica de minerales pesados de cada cuenca.
- Analizar los cambios temporales en los procesos controladores del relieve mediante la comparación estadística de las integrales hipsométricas y medidas de dimensión fractal para las cuencas en estudio.
- Estructurar, organizar y uniformizar bases datos geográficas de estas zonas usando el sistema de información geográfica **ArcGIS**, con el fin de organizar la información espacial y atributiva.
- Automatizar procesos de cálculos mediante la construcción de modelos cartográficos a través de la herramienta **Model Builder**.

1.6 ANTECEDENTES

Renz y Short (1969). Se enfocaron en la descripción de la variedad de sedimentos metamorfizados que denominaron Complejo el Tinaco, como basamento de la secuencia cretácea entre Tinaco y El Pao.

Lo Mónaco y Yanes (1990). Estudiaron el proceso de formación de la bauxita de los Pijiguaos, por medio de análisis de la textura, mineralogía y composición química, del yacimiento desarrollado sobre el Granito de Parguaza.

Meléndez (1995). Es un estudio realizado en los complejos de Imataca, Cuchivero y Parguaza sobre el contenido mineralógico presente, permitiendo

identificar fases minerales como magnetita, ilmenitas como mayoritarios y como minoritarios, apatito, rutilo y circón.

Moreno (1996). Realizó un estudio geoquímico, donde se enfoca en caracterizar mineralógica y granulométricamente, los minerales pesados que se encuentran en los sedimentos de los ríos, que drenan las rocas del Complejo Cuchivero de la Provincia Roraima de la zona noroeste del estado Amazonas.

Contreras (2000). Se basó en el estudio geológico de rocas carbonáticas y rocas metamórficas aflorantes en el área de San Carlos- El Pao. En su geología local concluye la denominación de una nueva unidad denominada Complejo sedimentario Corozal, y en base a esas muestras de areniscas evidencia un fuerte evento tectónico en la zona. En el área estudiada no existe roca madre de hidrocarburo.

Flores y Méndez (2005). Establecieron la correlación estratigráfica y geocronología de las quebradas Hoyos y Vichú empleando el método de huellas de fisión combinados con análisis de imágenes para determinar relaciones entre terreno fuente y procedencia sedimentaria.

Bermúdez et al., 2013. Estudia el control climático y tectónico en tasas de exhumación en los Andes Venezolanos.

Arcía y Viana (2013). Realizaron un estudio sobre la interacción del clima, tectónica y procesos superficiales como agentes controladores del relieve actual, mediante la caracterización mineralógica, análisis digital del terreno y estudio de minerales pesados, en terrenos adyacentes a los ríos Nirgua, Boconó y Apure.

Flores (2013). Realizó un extenso estudio sobre la relación que existe entre la tectónica, el clima y la erosión, mediante análisis geomorfológicos, geológicos y datos termocronológicos, de la una zona a lo largo del Río Guárico.

Lezama y Albornoz (2014). Mediante el análisis de índices de erosión y minerales pesados, compararon el clima, la topografía y la tectónica de una zona en el sector suroeste del Río Orinoco.

Figueira y Romero (2014). Estudiaron la interacción entre clima, relieve y la tectónica, a lo largo de zonas circundantes a los ríos San Carlos, Guache y Capitanejo, comparando los índices de erosión y analizando los minerales pesados.

Carmona y González (2014). A partir del estudio de los índices de erosión y los sedimentos modernos de las cuencas de los ríos Canaguá, Caparo, Michay y Uribante, determinaron los agentes principales responsables del modelado actual del relieve del flanco surandino.

Calderón Roxana (2015). Trabajo especial de grado enfocado en el estudio de los procesos erosivos en una zona circundante a los ríos Akanán y Aparamán mediante técnicas de Geomorfología Cuantitativa.

1.7 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio presenta una gran extensión a lo largo del territorio venezolano y se distribuye en un total de 13 estados. Partiendo desde el occidente en el flanco Norandino con un área aproximada de 7966,41 km², donde se encuentran las cuencas de los ríos Aguaviche-Chejendé, Chama, Mimbós, Coloncito, San Pedro y Tucaní y se extiende hacia la zona de convergencia entre la Cordillera de la Costa y los Andes Venezolanos, enmarcando los principales ríos Nírgua, Boconó y Apure. Luego se desplaza al suroeste, abarcando los estados Apure, Trujillo, Mérida, Barinas, Portuguesa, Táchira, Lara y Cojedes (ríos: Uribante, Canaguá, Caparo, Michay, Capitanejo, Guache, Guanare, San Carlos, Meta, Orinoco, Parguaza, Cataniapo) con un área que se aproxima a los 122931,55 km². En la parte central norte de la cuenca se encuentra con el estado Guárico, desplazándose a lo largo del río del mismo nombre y sus principales tributarios (río Orituco) ocupando un área que alcanza unos 19452,24 km² aproximadamente. Más al este se encuentra el sector central de la cuenca del río Orinoco, que divide los Llanos Orientales del Cratón de Guayana, donde está la Formación Mesa (Comprende las cuencas Borbón Detrítico,

Borbón de Roca, Moitaco, Peñon y Fundo Mata Linda) con un área que se aproxima a los 4246,75 km². Siguiendo el recorrido al sur en el Cratón de Guayana se encuentra otra parte de la zona de estudio, la cual contiene dos cuencas conocidas como Akanán y Aparamán con un área de 53,72 km² aproximadamente, y por último en el estado Amazonas por un tramo del río Orinoco y el estado Bolívar donde convergen los ríos Parguaza y Orinoco extendiéndose hacia la República de Colombia a través del río Meta con un área aproximada de 71909,23 km². En términos generales el área de estudio se extiende desde el occidente de la República Bolivariana de Venezuela a la altura del Lago de Maracaibo, hacia la zona central y oriental del país, desplazándose luego hacia el sur a la altura del estado Bolívar con un área total aproximada de 207107,66 km². Se encuentra dividida en sectores los cuales contienen las cuencas de interés consideradas para este Trabajo Especial de Grado.

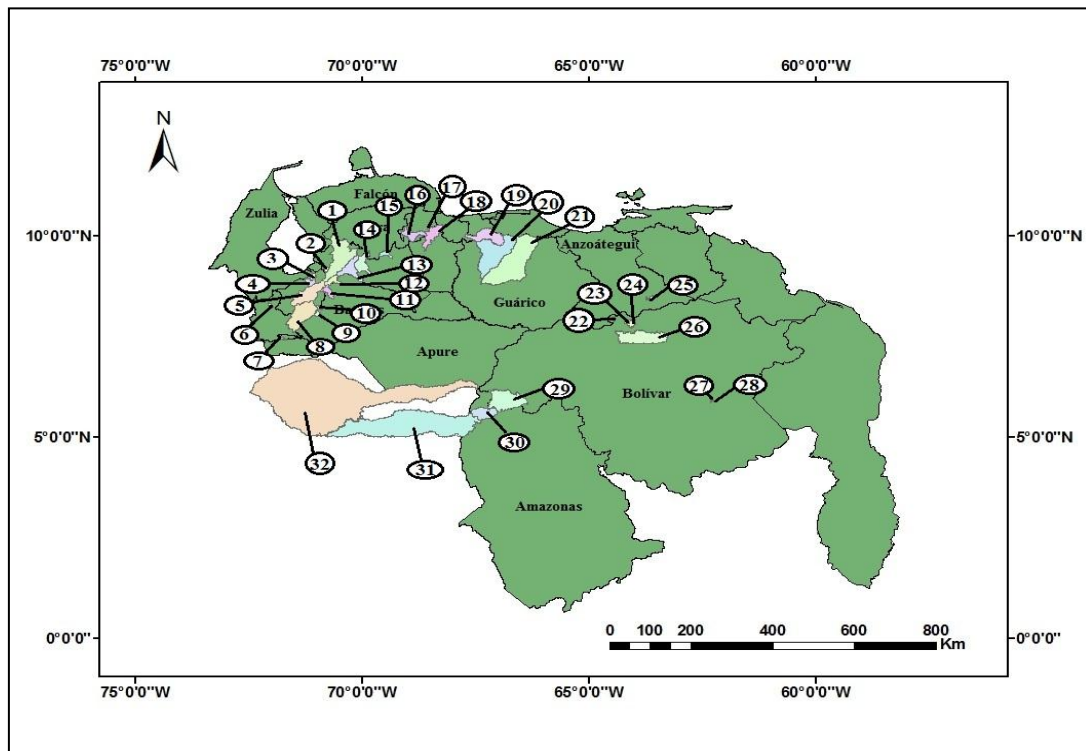


Figura 1.1a. Primera parte del área de estudio que comprende las cuencas: 1) AguaViva-Chejendé, 2) Mimbós, 3) San Pedro 4) Tucaní, 5) Coloncito, 6) Chama (flanco norandino). 7) Uribante, 8) Caparo, 9) Capitanejo, 10) Michay, 11) Canaguá, 12) Santo Domingo, 13) Boconó, 14) Guanare, 15) Guache (flanco surandino). 16) Nirgua, 17) Peña, 18) San Carlos, 19) Camatagua, 20) Guárico, 21) Orituco (flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa). 22) Moitaco, 23) Borbón de Roca, 24) Borbón Detrítico, 25) Fundo Mata Linda, 26) Peñon Aro (Formación Mesa). 27) Akanán, 28) Aparamán (sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán). 29) Parguaza, 30) Cataniapo, 31) Orinoco, 32) Meta (zona al suroeste del río Orinoco) (Elaboración Propia).

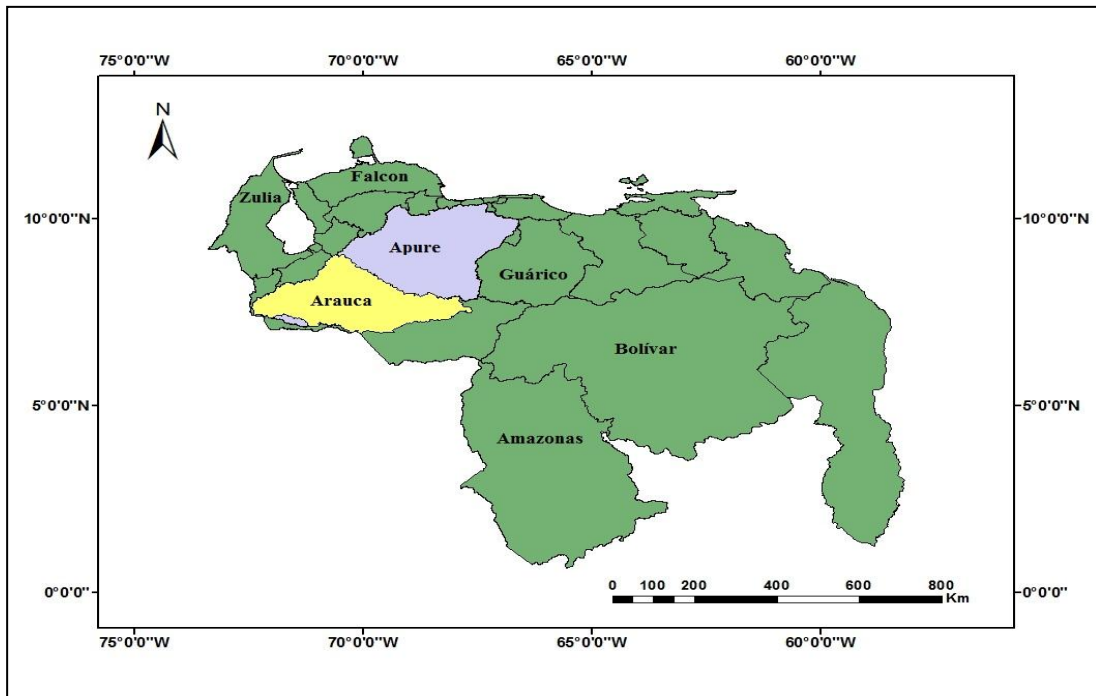


Figura 1.1b. Segunda parte del área de estudio que comprende las cuencas Arauca (color amarillo) y Apure (color azul) (Elaboración Propia).

CAPÍTULO I I

2 FISIOGRAFÍA Y GEOLOGÍA REGIONAL

2.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se describen las principales características geológicas como, clima, suelo, relieve e hidrología y el marco estratigráfico de la zona de estudio.

2.2 CORDILLERA DE LOS ANDES (CORDILLERA MÉRIDA)

La Cordillera de Mérida en su parte central, se compone de dos cadenas montañosas que están separadas por el río Chama, las cuales son, La Sierra Nevada que divide los Andes, de los altos Llanos occidentales y la Sierra de la Culata (Bermúdez et al., 2010), que los separa de la Planicie Lacustre del lago de Maracaibo, la cual recibe una ramificación bastante densa de drenaje, cuya concentración promueve el acondicionamiento de los suelos para la actividad agrícola. En la periferia de La Sierra Nevada se encuentran los picos Bolívar, Humboldt, Bondplandt, El Toro, La Corona y El León, mientras que La Sierra de la Culata (también conocida como La Sierra del Norte), está conformada por una cadena de montañas de fuertes laderas y amplias cumbres, ubicándose en ella los principales afluentes de los ríos Chama, Mucujum, Albarregas, Montalbán y Las González.

El complejo relieve que condiciona la cordillera, causa gran efecto en cuanto a las características climáticas, originando una gran cantidad de pisos (climáticos), que van desde un clima tropical en la planicie, un clima tipo páramo en los sitios más elevados del orógeno, un clima semiárido en zonas como Lagunillas, hasta el húmedo tropical, en las vertientes nubladas de la cuenca media y alta del río Caparo (Bermúdez et al., 2013). El clima y el relieve establecen tres grades unidades fisiográficas, que son las montañas y valles intramontinos, pie de monte- lacustre y la planicie lacustre (Pereira et al., 1999).

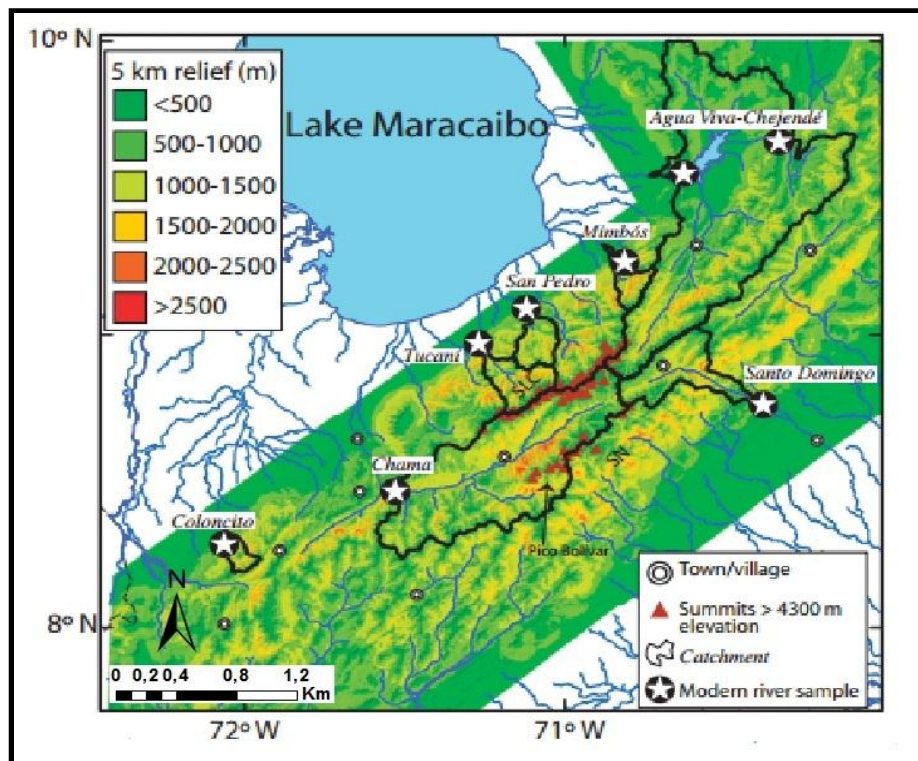


Figura 2.1. Mapa que muestra el relieve de un sector de los Andes Venezolanos en una envoltente de 5 km de radio. Se observan elevaciones sobre los 4300 m.s.n.m, representados por los triángulos rojos (Tomado de Bermúdez et al., 2013).

2.2.1 FLANCO NORANDINO

2.2.1.1 Relieve

El relieve presenta diversas manifestaciones topográficas, conformado por pequeños valles, terrazas, conos y extensos abanicos, hasta la amplia planicie, estimando que aproximadamente un 20% de su extensión presenta un tipo de relieve abrupto y accidentado, mientras que el 80% del relieve dominante se presenta suave y plano, gracias al aporte de sedimentos proporcionados por diversos ríos como Chama, Mucujepe, Onia y otros, dividiéndose en tres grandes unidades fisiográficas, que son paisaje de colina, paisaje de llanura y paisaje de piedemonte, que se conecta con las unidades anteriores (Pereira et al., 1999).

2.2.1.2 Clima

El clima propio de la región está condicionado por la dinámica atmosférica (vientos alisios del noreste y vientos del sur y sureste) y debido al modelado del relieve, que origina debido a la baja presión del Lago de Maracaibo, a una convergencia intertropical y a la convergencia local al sur del Lago de Maracaibo, que promueven las precipitaciones durante todo el año (clima húmedo tropical lluvioso). Las temperaturas oscilan, entre los 25° hasta los 30° (Carmona y González, 2014). El promedio de las temperaturas máximas que son comunes en Agosto y Septiembre van desde los 31.9° y 32.5° y el promedio de las temperaturas mínimas que se manifiestan entre los meses de Febrero y Marzo, oscila entre los 24.9° a 25.5°. Con respecto a la humedad relativa, posee un promedio de un 83%, que varía mensualmente entre un 80% a 86% (Pereira et al., 1999).

Los vientos alisios rondan en un promedio de velocidad de 4,9 km/h; siendo los valores mínimos entre enero y febrero con unos 3,8 km/h y en abril la velocidad máxima, que alcanza unos 9,7 km/h aproximadamente, con direcciones que van de norte-noreste entre noviembre y enero y norte-noroeste para los meses de mayo y agosto. La precipitación en la zona, se caracteriza por presentar dos comportamientos, el primero de tipo convectivo, que afecta las zonas bajas, como consecuencia del ascenso casi vertical de las masas de aire húmedo proveniente del Lago de Maracaibo, ante la baja presión promovida por las montañas, que condicionan la precipitación, así como los orógenos que afectan la parte alta de la región, sobre todo en las cercanías del Lago de Maracaibo, proveniente de las masas de aire caliente, promovidas por la baja presión del centro de dicho lago, que al chocar con el frente montañoso al sur, se enfrían y condensan rápidamente, trayendo a su paso las precipitaciones. La precipitación se considera de intensidad media y va entre los valores de 1400 mm, a los 2000 mm (Pereira et al., 1999).

2.2.1.3 Hidrografía

En este flanco, el sistema hidráulico más influyente es el proporcionado por el río Chama, el cual predomina en el sustrato que se extiende en el área del Vigía.

También destaca otro sistema hidráulico que drena hacia el flanco sur del lago, produciendo pequeñas cuencas coalescentes, desde el río Mucupé, hasta el Torondoy, cuyas aguas vierten al Lago de Maracaibo, de forma alargada, con un predispuesto paralelismo (Pereira et al., 1999). El comportamiento del río Chama, al adentrarse a la planicie, va condicionado por su afluente de origen en una zona montañosa de fuertes pendientes, se direcciona sobre extensas áreas afectadas por una erosión natural dinámica y altamente productora de sedimentos, lo que trae como consecuencia un elevado dinamismo al proceso de deformación y dificulta la depositación de material a lo largo de su cauce. Otra posibilidad es que también exista una falla que controle la red de drenajes en el segmento que va desde el Vigía hasta el Lago de Maracaibo (Bermúdez, Comm. Pers.)

Entre estas cuencas se encuentran los ríos Capazón Perdido, Chimono, Tucanizón, San Pedro, Alguacil, El Quince y Torondoy como principales, las cuales comparten el drenaje divisorio arriba, con la cima de las vertientes del río Chama, con orientación este-oeste. El río Chama posee un lecho fluvial de 182 km de longitud, de los cuales aproximadamente 60 km corresponde a la extensión de la planicie aluvial, solo en la zona de las planicie de desborde, es donde el drenaje del río Chama no influye, dejando de funcionar como colector de aguas superficiales. El tipo de drenaje es los primeros 6 km aproximadamente anastomosada, luego meándrico, por unos 50 km más y por último deltáico (Pereira et al., 1999).

2.2.1.4 Vegetación

La cordillera de los Andes presenta como característica principal un escalonamiento acentuado, lo cual es el factor fundamental para que se desarrolle la vegetación que existe en la zona de tipo boscosa y páramos alto-andinos, con un gran desarrollo de endemismo florístico (Pereira et al., 1999).

Huber y Alarcón (1988) en su “Mapa de Vegetación de Venezuela”, realizaron divisiones a lo largo de la región, de acuerdo al tipo de vegetación existente, donde

predominan los bosques ombrofilos basimontanos, submontanos, montanos, páramos andinos y vegetación xerófila. Esta descripción es válida para los dos flancos.

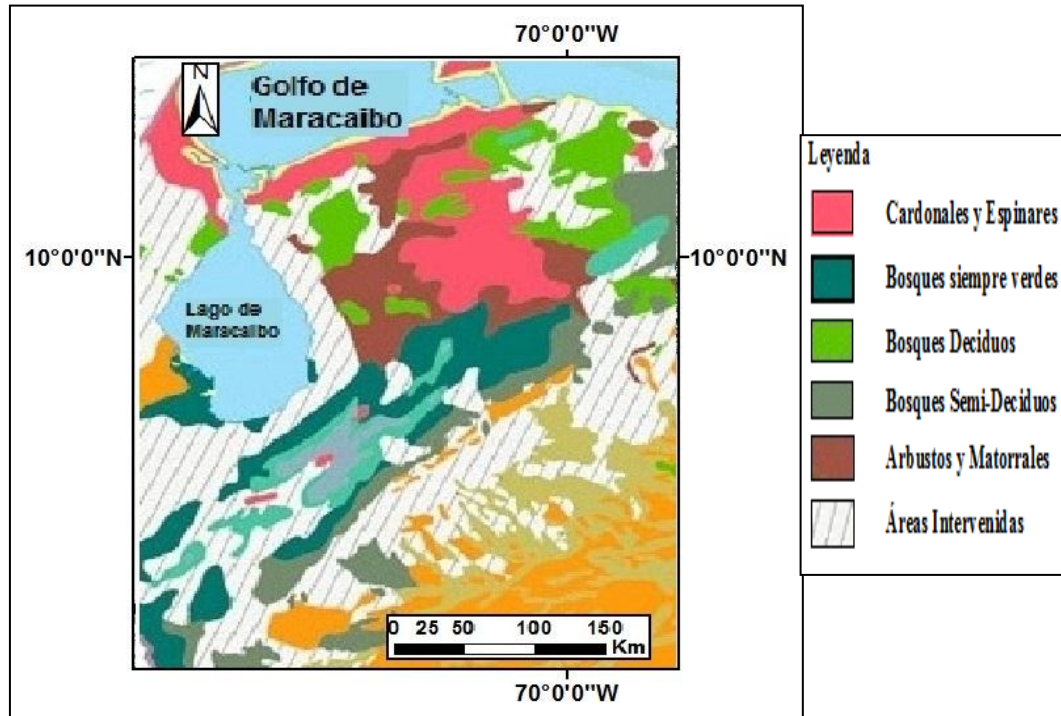


Figura2.2. Mapa de Vegetación de la Cordillera de los Andes (Tomado y modificado de Hubber y Alarcon 1988).

2.3.1 FLANCO SURANDINO

2.3.1.1 Relieve

Generalmente en la zona predomina el relieve de piedemonte, el cual puede verse de forma casi continua desde el flanco sur de la Cordillera Oriental de Colombia hasta el flanco sur de Los Andes de Venezuela, a lo largo de toda su extensión se observa un paisaje quebrado (heterogéneo), comprendido de colinas individuales, de poca altura, de vertiente corta y con pendientes que no superan el valor de las pendientes de la cordillera. También es muy común la presencia de altas terrazas y conos aluviales en los lechos de los ríos (Vivas, 1992).

2.3.1.2 Clima

El área montañosa andina, presenta un tipo de clima más exclusivo, es más húmedo y las precipitaciones presentan un carácter generalmente ecuatorial durante todo el año, en comparación con otras áreas que la rodean. Entre los meses de abril-mayo-junio y septiembre-octubre-noviembre, aumenta la pluviosidad, por lo tanto son períodos de mayor humedad, mientras que los meses de diciembre a marzo y julio y agosto, son los de mayor sequía (Venturini, 1983).

Cabe destacar que el relieve es un factor importantísimo en lo que es el desarrollo de estas características climáticas antes expuestas, por lo que se observa una variación bioclimática en diferentes sectores de la región. Como por ejemplo, la elevada pluviosidad al noroeste del frente montañoso, donde la sequía que abarca los meses de diciembre a marzo pasa casi desapercibida, encontrándose fuertes lluvias, muy distinto al sureste del frente montañoso, donde el ascenso orográfico del aire seco, no es suficiente durante la época de sequía, para promover lluvias de gran magnitud, esto es debido a su cercanía con los llanos y los alrededores de Maracaibo (Venturini, 1983).

En el caso de los flancos, su condición de humedad, se debe a características, como los pisos altitudinales y su orientación con respecto al sol, sobre todo a los 1500 m de altitud, dando este aspecto de selva hidrófila en el interior de la cadena montañosa, como se observa en los alrededores de Mérida (Venturini, 1983).

2.4 RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

2.4.1 Relieve

Comenzamos la descripción de Oeste a Este. Nírgua se sitúa a unos 100 metros de altura sobre el nivel del mar, se compone generalmente por pequeñas elevaciones como la de la Enjalma, Las Lapas, Sta María, Cerro o Campo Amor, Sabana, el Pan de Azúcar, las Palmeras, Quintana, el Coco, Guayabito, Cumbre

Larga, el Aguacate, el Zapatero y el Pico de la Copa, las cuales forman pequeños y fértiles valles. Esta región se encuentra ubicada dentro del complejo orográfico que forma parte de la costa (tramo central de la Cordillera de la Costa). (Vila, 1965).

El estado Cojedes presenta una extensión física de unos 14.800 km², al norte de éste se introduce el flanco sureño de las Serranías de Nirgua, dando forma a un piedemonte con elevaciones poco variables, los cerros y las galeras de El Baúl de diferentes altitudes marcan presencia en la zona, cortando un poco la simetría proporcionada por el piedemonte. Los llanos Altos Centrales, se extienden al norte abarcando unos 36 km, con elevaciones que no superan los 200 m. (Vila, 1965).

Desde el sector El Tinaco, hasta Tinaquillo, se pueden encontrar alturas que van desde los 140 a 1050 m.s.n.m, Las Serranías de Nirgua comprende elevaciones que alcanzan los 1000 m, las cuales se unen a la Fila Tucuragua y Fila Rica, limitando al norte con el estado Carabobo, así mismo se encuentra la Fila Macapo, cuya máxima altura se encuentra en el Cerro Palmerejo, que divide el valle del Río Tirgua. (Vila, 1965).

En cuanto a la Serranía del Interior, esta presenta un relieve más suave en comparación con la Serranía de Nirgua, donde un conjunto de cerros, como Tinatepo, Tinamuto, La Palomera, Carrizal y la Montañita, separan los valles de los ríos Tinaco y Tinaquillo del río Pao, terminando en un anticlinal y en un sistema de fallas al norte del Pao. El valle del río Tinaco separa estas dos serranías, direccionando un segmento del flanco occidental de la Serranía del Interior hacia los límites del estado Cojedes (Vila, 1965).

Hacia el embalse del estado Guárico, el relieve se presenta llano, mayormente con alturas que no pasan los 400 m.s.n.m. a 500 m.s.n.m., y considerando que se encuentra en la zona de los llanos centrales de Venezuela, se conforma de planicies aluviales, zonas con relieve un poco ondulado y planos, sólo los Morros de San Juan, se considera que es la unidad más alta de la zona, con unos 1600 m.s.n.m. El estado Guárico pertenece a las provincias naturales de los Llanos Centrales y al Sistema de

la Costa, siendo esta última conformada por paisajes de altiplanicies de denudación y de mesas, valles, planicies aluviales y eólicas, estructuras, que predominan hasta un 90%, en dicho estado. En cuanto al Sistema de la Costa, fisiográficamente, se caracteriza por un paisaje de montaña y el sector de piedemonte, que cubre aproximadamente sólo un 4 % de Guárico, presentando un relieve accidentado, con pendientes que van de suaves a empinadas (Vila, 1965).

2.4.2 Hidrografía

El drenaje de primer orden que se observa en la zona se corresponde al río Nirgua o Buría, el cual comienza al oeste de la ciudad de Nirgua y se direcciona en sentido sur-norte, hasta desembocar en el río Cojedes. Posee una longitud de unos 40 km aproximadamente, con caudal permanente y totalmente adaptado entre fuertes taludes (Vila, 1965).

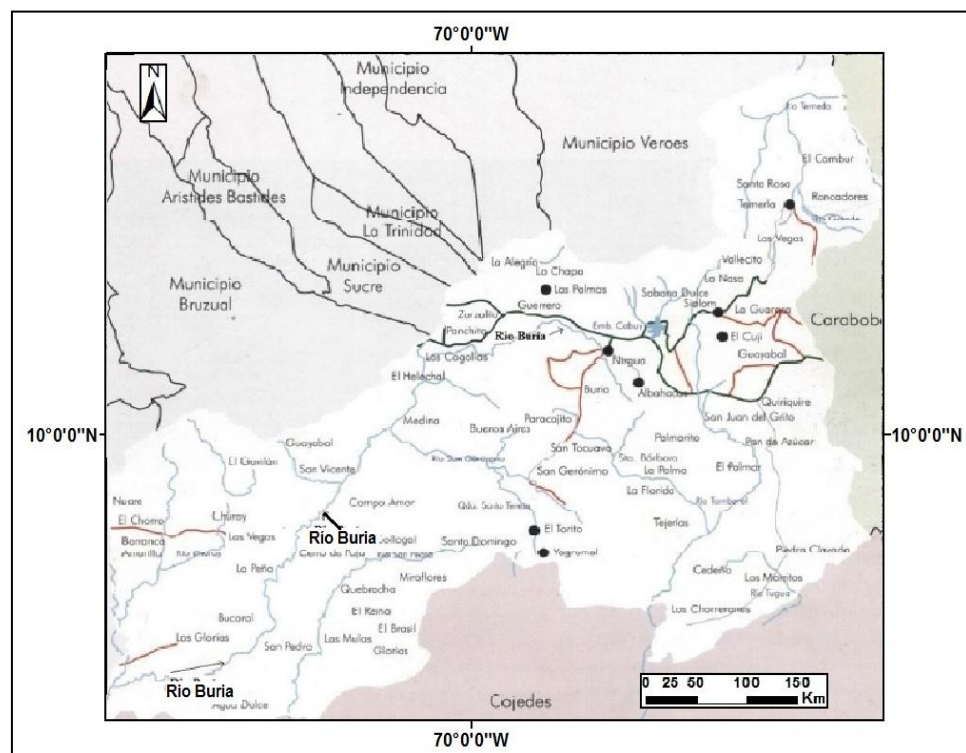


Figura2.3. Río Nirgua o Buria y sus principales tributarios (Tomado y modificado de Sanchez, 2002).

Las Filas de Nirgua, con cantidad considerables de pinos en toda su extensión, forman parte del sistema montañoso de la Cordillera de la Costa en su extremo occidental, constituyendo al Macizo de Nirgua, cuyas características más resaltantes son, que pertenece a una unidad hidrológica de segundo orden división administrativa del Municipio Nirgua, con relieve de piedemonte y bastante accidentado. Las propiedades climáticas y altitudinales presentes en la zona, dan origen al bosque seco tropical, bosque húmedo premontano y bosque premontano verduoso, encontrando gran cantidad de herbazales, bosque secundario y bosque de galerías, hacia las fuentes de agua (Vila, 1965).

Con respecto al río Peña, también encontrado en el área, se pueden señalar como características principales, su dirección en sentido norte, su altitud que va entre los 914 m a los 867m sobre el nivel del mar, se encuentra ubicado al sur de Nirgua (Vila, 1965).

El río San Carlos, divide los estados Cojedes y Yaracuy, tiene una altitud de aproximadamente 1500 m y recibe afluencias menores de las quebradas San Pedro, Palambea, Solano y Barro Negro (Vila, 1965).

2.4.3 Clima

Generalmente el clima predominante en la zona es el tropical, excepto las zonas más altas, que superan los 800 m, donde la temperatura es un poco más baja, alcanzando un clima subtropical. En la zona de San Carlos, la temperatura comúnmente no sobrepasa los 26,6 °C, sólo aumenta unos pocos grados en épocas de sequía, mientras que las temperaturas bajas extremas, oscilan entre los 11°C y 12 °C. Las temperaturas medias más altas se dan en los meses de marzo 27,6 °C y Abril 28,1 °C, que es cuando la zona alcanza un gran nivel de sequía (Vila, 1965).

El clima húmedo es el que predomina en la zona, los valores de pluviosidad oscilan entre los 1000 y 1400 mm anuales (Según clasificación climática de Köppen), donde las lluvias comienzan generalmente en el mes de marzo y finalizan en Noviembre, con un promedio mensual comprendido entre los 100 y 150 mm, siendo

esto uno de los factores principales para que la actividad agrícola sea muy común en la zona. Los vientos alisios predominan el área, los cuales entran desde el noreste con una velocidad media anual de 2,3 m/seg, los cuales se clasifican como de sabana y de estepa, con temperatura media anual de 26,1 mm/seg y precipitación media de 1900 mm anuales (Vila, 1965).

En cuanto a Guárico se presencia temperaturas promedio anuales que rondan los 26 °C, predominando el clima tropical lluvioso de sabana, con rigurosa estación seca y temperaturas que van de altas a medias y en zonas más altas como en San Juan de Los Morros (429 m) se registran temperaturas promedio de 24.30 °C, mientras que en el alto llano de Calabozo (101 m), la temperatura promedio es de 27,50 °C (Vila, 1965). La figura 2.4, muestra los distintos tipos de clima para la Cordillera de la Costa.

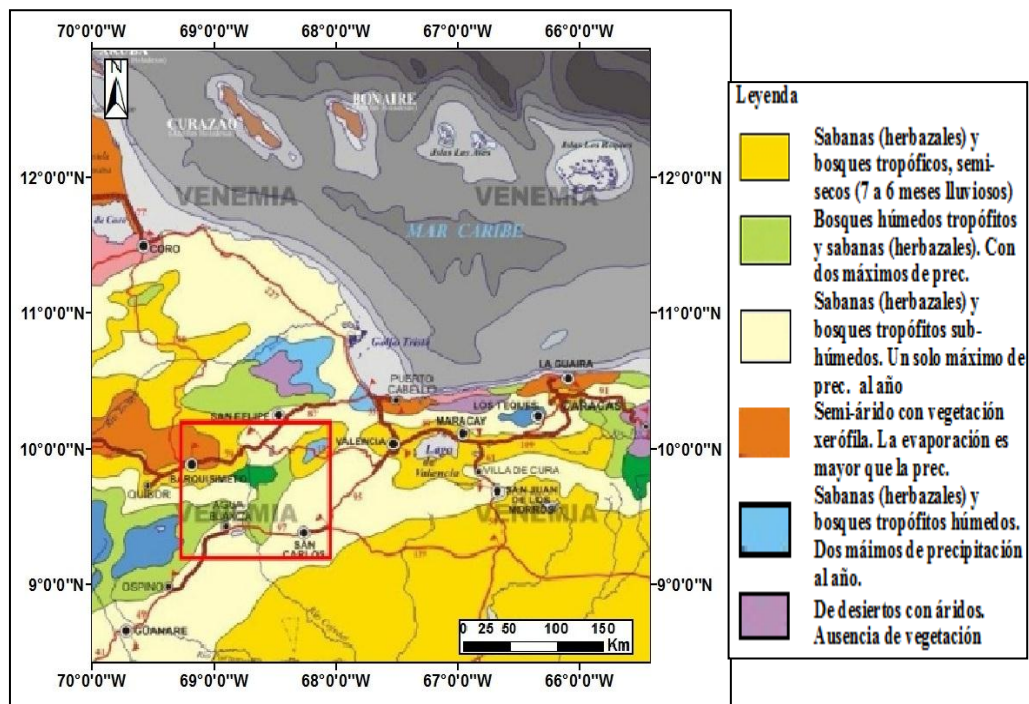


Figura 2.4. Clasificación climática de ramal interior Cordillera Costa, según Köppen (Tomado y modificado de www.venemia.com)

2.4.4 Precipitación

Al norte del estado Cojedes se encuentra la mayor elevación del sector, lo cual explica la existencia de una pluviosidad mayor en áreas aledañas. Como ejemplo se tiene la población de El Pao, con alturas de 160 m, presenta una precipitación media de unos 1657 mm. En Cojedes, que cuenta con una altitud similar a la anterior sin embargo al ser una zona alejada de las altitudes, presenta descenso en las precipitaciones con un valor que no sobrepasa los 1277 mm, donde la mayor pluviosidad se encuentra en el mes de Junio, siendo la época lluviosa entre los meses de abril a septiembre (Vila, 1965).

En zonas como San Carlos, la época lluviosa comprende los meses abril a octubre y el mes más lluvioso es el de julio, mientras que en el Pao el comportamiento es similar a lo que ocurre en el Arco del Baúl. Con respecto a Tinaquillo, la precipitación media es de 1.616 mm y en el Tinaco apenas alcanza los 1.508 mm, pero en zonas más altas como la Sierra, su altitud rodea los 1.900 m, la época de lluvia es de abril a noviembre, y el mes de más altas precipitaciones corresponde a mayo. La figura, muestra la precipitación anual para Venezuela, en el caso de este fragmento del área de estudio, dicha precipitación varía de 800 a 1600 mm/año (Vila, 1965).

En la Figura 2.5 se presenta un mapa de precipitaciones para la parte central del país, se observa que la mayor precipitación se encuentra entre los estados Yaracuy y Cojedes de norte a sur, también en el estado Carabobo al oeste y en las cercanías del estado Vargas, hacia el este.

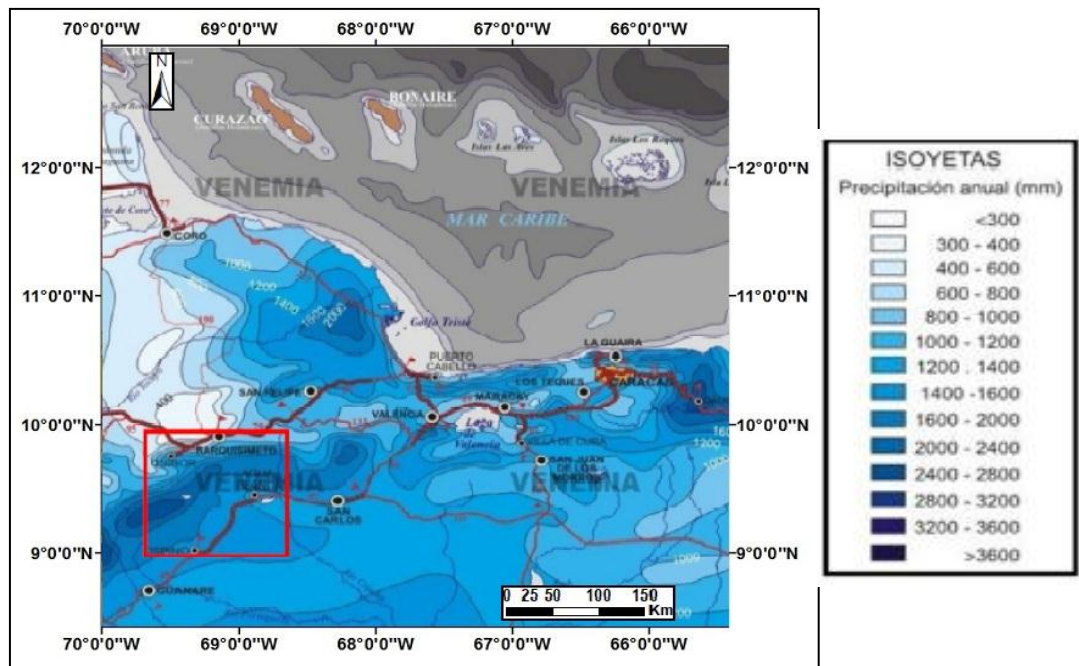


Figura 2.5. Datos de precipitación promedio anual de Venezuela (Tomado y modificado de www.venemia.com).

2.4.5 Vegetación

La vegetación arbórea alta se extiende hacia el sureste y oeste desde la ciudad Nirgua, y gracias a diversos trabajos realizados por organismos gubernamentales como la siembra de pinos, se ha producido un incremento de la vegetación al sur. Generalmente las mayores áreas ocupadas por vegetación en Nirgua, se ubican en la Sierra de Aroa y en el Macizo de Nirgua, aunque en la actualidad se han visto amenazadas por la invasión de fronteras agrícolas (Vila, 1965).

En la Figura 2.6, se observa el mapa de pisos húmedos de la parte central de La Cordillera de la Costa.

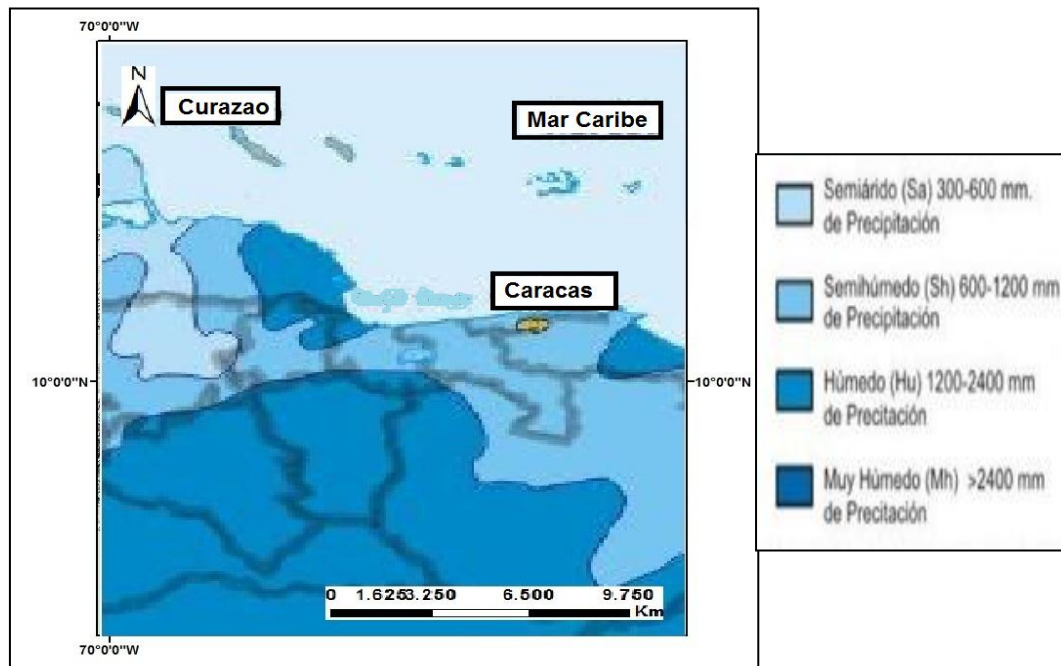


Figura 2.6. Mapa de pisos húmedos de la parte central de La Cordillera de la Costa (Tomado y modificado de www.venemia.com).

2.5 FORMACIÓN MESA

2.5.1 Relieve

Generalmente la región nororiental del país, presenta características altiplanas, de unos 200 a 500 m de altitud, cuya área que pertenece a la Formación Mesa, está estructurada por un segmento en forma de arco, que separa la región de la depresión de Unare, de los Llanos Bajos por el Sur y de los Llanos de Monagas por el este. Las mayores elevaciones se observan al norte, hacia el Macizo Oriental, descendiendo hacia la parte central, donde no son muy comunes las áreas elevadas, y ya para el sur las planicies terminan en forma brusca. También es común la presencia de farallones en diversos lugares de las mesas, y se pueden localizar a la altura de la vertiente atlántica un conjunto de terrazas, que varían entre los 3 a 5 metros (Vila, 1950).

2.5.2 Clima

Las Mesas presentan una temperatura aproximada, que ronda los 26° y que va en aumento hacia el sur motivado a las zonas bajas, alcanzando hasta unos 28° y para los llanos de Monagas, la acción de los vientos provenientes de los mares regulan temperaturas medias que van entre los 26° y 27° en las Mesas Orientales. Debido a la poca vegetación en la zona, producto de la alta permeabilidad del suelo, se originan estas temperaturas con tendencia a ir ascendiendo. Más hacia el sur, colindando con los estados Amazonas y parte de Bolívar, el clima predominante es el tropical y hacia las planicies del Orinoco, donde la altura sobre el nivel del mar va entre 0 a 100 m, las diferencias climáticas varían de acuerdo a como se desarrolle el ascenso del relieve. La Figura 2,7, presenta la clasificación climática de esta parte del área de estudio.

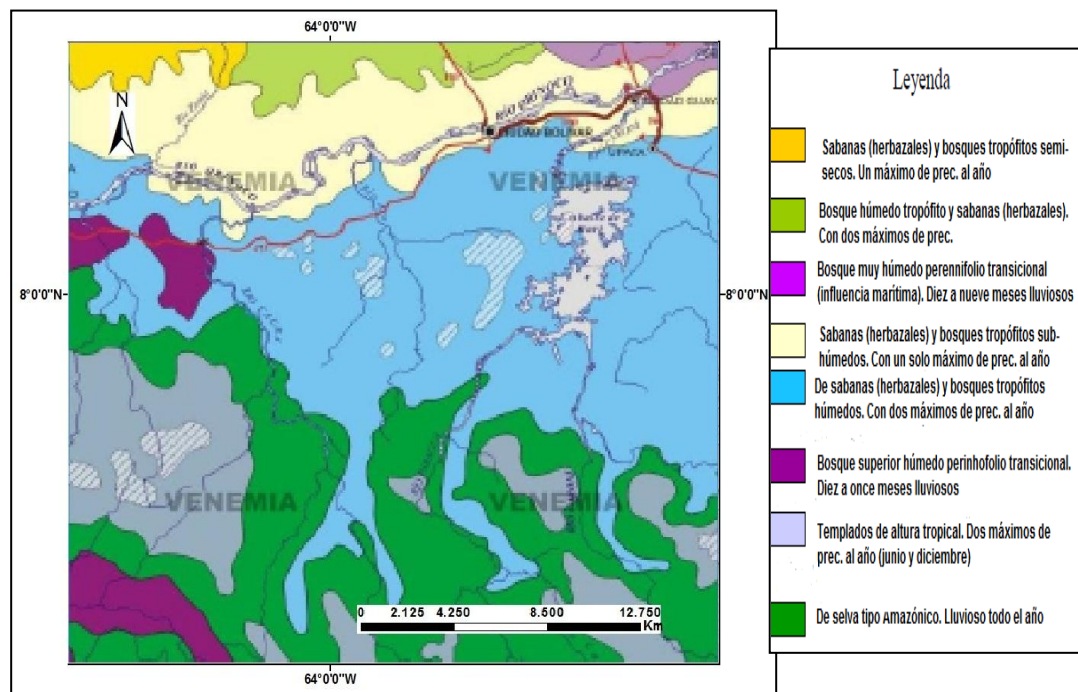


Figura 2.7. Clasificación climática de Formación Mesa, según Köppen (Tomado y modificado de www.venemia.com).

2.5.3 Precipitación

Las zonas de mayor precipitación en esta área, se localizan hacia las cercanías del Macizo Oriental (Vila, 1950) y de acuerdo a Köppen (1935), la precipitación es muy abundante hacia los estados Amazonas y Bolívar, con más de 3.000 mm anual. Se considera, que debido a la influencia de los climas tropicales, proveniente de la cuenca amazónica y de los vientos alisios que provienen del sureste y del noreste, las curvas de precipitación de esta zona, varían en forma paralela desde el sur del país hacia el norte y desde la zona deltaica del Orinoco y noreste de Guayana (ver figura 2.8).

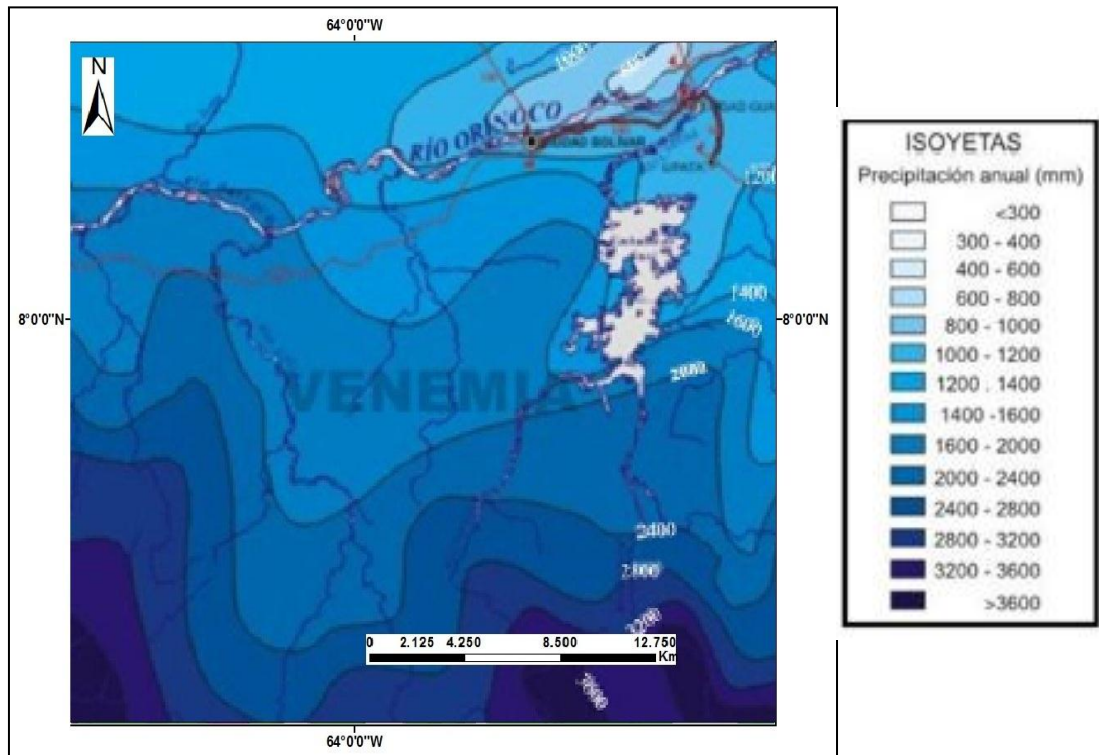


Figura 2.8. Tasa de precipitación anual promedio para la Formación Mesa (Tomado y modificado de www.venemia.com).

2.5.4 Hidrografía

Mayormente la zona es de ríos de poco caudal, consecuencia de la alta permeabilidad de los suelos, donde generalmente en época de sequía es común que dichos ríos se sequen, además la poca dureza de los suelos les da características profundas a los valles fluviales, donde se producen filtraciones muy enmarcadas por las aguas de las lluvias, pero no profundizan, debido nuevamente a la alta permeabilidad (Vila, 1950). Las mesetas despliegan las aguas hacia las vertientes del Atlántico y del Caribe y debido a que la región cuenta con un relieve generalmente suave, no puede apreciarse de forma clara las divisorias de agua, a pesar de la separación del nacimiento del río Ipire y su afluente El Santa Lucía del nacimiento del Suata. Las redes hidrográficas de esta parte de la zona de estudio, se encuentran representadas en las figuras , donde se observa que la cuenca Caris contiene al Fundo Mata Linda (fig 2.9) y las cuencas Peñón, Borbon Detrítico, Borbón de Roca y Moitaco (López y Uzcátegui, 2014), están en la superficie de la cuenca Río Aro (fig 2.10).

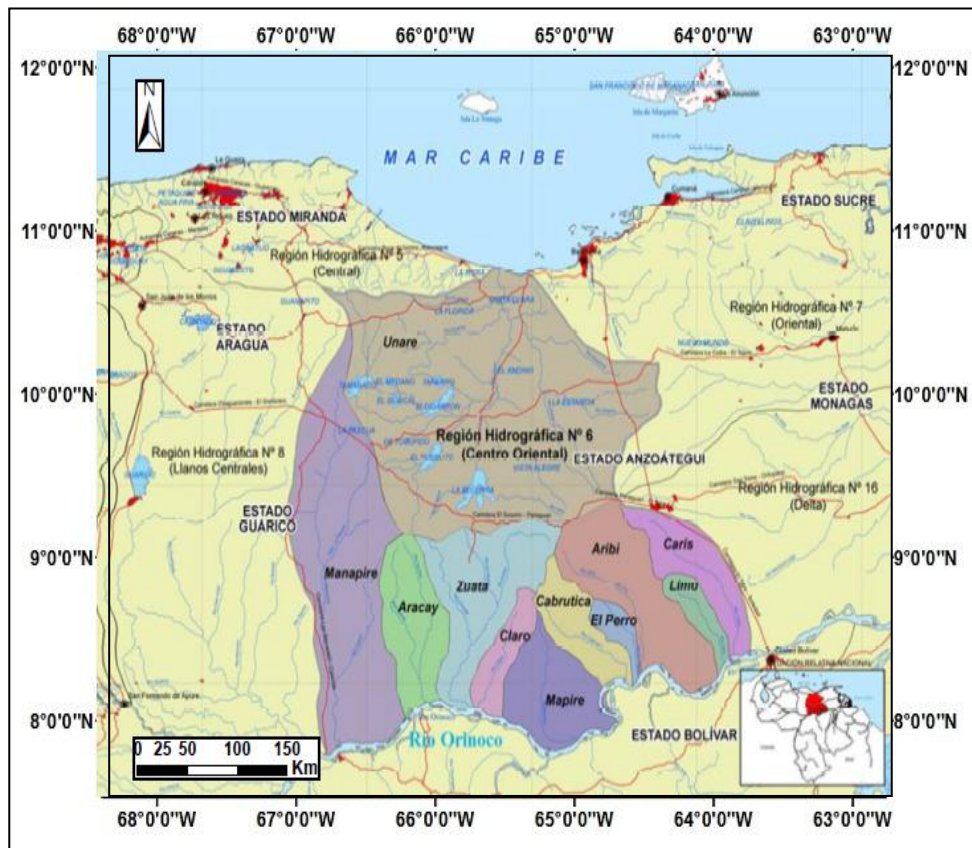


Figura 2.9. Cuenca Caris, la cual contiene a la cuenca Fundo Mata Linda (Tomado y Modificado de http://siga.geoportalsb.gob.ve/rios_embalses/).

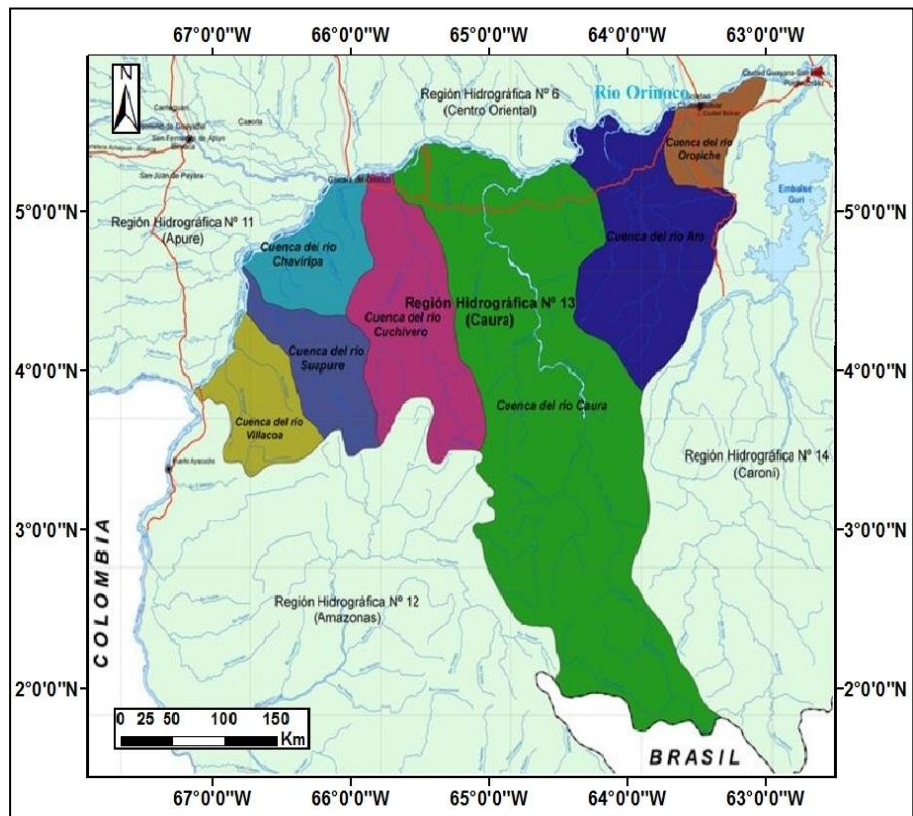


Figura 2.10. Cuenca Río Aro, que comprende las cuencas Moitaco, Borbón de Roca, Borbón Detrítico y Peñón Aro(Tomado y modificado de http://siga.geoportalsb.gob.ve/rios_embalses/).

2.6 ZONA AL SUROESTE DEL RÍO ORINOCO

2.6.1 Relieve

El estado Apure presenta altitudes que oscilan entre los 60 y los 200 m aproximadamente donde se unen los ríos Apure y Orinoco, esta zona no presenta accidentes geográficos resaltantes, sólo bancos de arenas, que se forman debido a las lluvias abundantes que inundan las extensiones llaneras. El desnivel de las tierras de Apure presentan una dirección única de oeste a este, en línea recta por unos 575 km, desde donde el río Uribante cruza la curva de nivel 200 m, hasta la desembocadura del Apure al Orinoco que desciende hasta unos 60 m. El relieve apureño forma parte de la depresión Orinoquense y está limitado al sur por la gradería llanera que

pertenece a Colombia y en el borde al norte de dicha gradería corre el cauce del Meta, que actúa como límite entre los llanos venezolanos y colombianos (Vila, 1950).

Otro estado importante del territorio venezolano que abarca esta zona es el Amazonas, que se encuentra al extremo suroeste de Venezuela, limitado al oeste por Colombia, al sur por Brasil y por el este con Brasil y el estado Bolívar. La superficie total del territorio es de 175.750 km² y su relieve está sometido al sistema orográfico del Escudo de Guayana, cuyas zonas más elevadas están conformadas por las rocas duras de esta formación geológica (Vila,1950). Dicho territorio elevado contribuye con los procesos de condensación del vapor de agua atmosférico, lo que promueve las precipitaciones abundantes en la zona, que a su vez éstas últimas han sido responsable del modelado actual del relieve alto, haciendo desaparecer los picos agudos y las filas en aristas. La vegetación arbórea es común en el piedemonte, debido a la acumulación de material disgregado y en las zonas elevadas, debido al material rocoso que no permite la generación de laderas suaves, la vegetación es muy escasa (Vila, 1950).

2.6.2 Clima

Para el estado Apure, sólo la zona montañosa al occidente, la cual es muy reducida en comparación al estado en total y se encuentra en una pequeña porción de la Cordillera Oriental Andina , es la que presenta pisos térmicos por encima del tropical o tierra caliente, el resto del área presenta un clima tropical. En estos llanos apureños, los vientos dominantes, son los procedentes del este y del noreste, característica que determina que el conjunto de la Depresión Orinoquense, es una zona muy baja en referencia al Mar Caribe y al Océano Atlántico. Los vientos del este, son los mismos de noroeste, producto de una declinación de la ruta desde que penetran en esta depresión, debido a la influencia de los vientos alisios, del sureste delante de las costas deltaicas procedentes de la Depresión Amazónica y del Macizo Guayanés. En los meses de julio y junio, se registran los máximos en las bajas temperaturas de 28,7°C, debido a las fuertes precipitaciones y en febrero y de marzo a

abril, las temperaturas promedio son las máximas, alcanzando los 40,2°C (Vila, 1950).

Con respecto al estado Amazonas, los datos climáticos certificados sólo se encuentran para Puerto Ayacucho y San Carlos, donde oscilan temperaturas máximas entre 39,4°C y mínimas se aproximan a los 20,8°C para Puerto Ayacucho y para San Carlos, las temperaturas máximas rondan entre los 26,6°C, en las áreas selváticas.

Para el sector que abarca el país Colombiano, el departamento de Casanare, presenta un clima considerado monomodal, ya que se presenta una única temporada de lluvias, seguida por una época seca muy extensa. El clima es seco, entre los meses de enero y abril y la variación de la temperatura entre el mes más caliente y el mes más frío es de sólo 5°C (Eslava et al., 1986). En el área de influencia del Bloque Cubiro, la temperatura media anual es de 26,6°C (Geoingeniería, 2009).

2.6.3 Hidrografía

La red hidrográfica del estado Apure, está determinada por dos factores principales, el primero es el escaso nivel del suelo, y el segundo, las altas precipitaciones en las hoyas superiores de los ríos que lo recorren, donde ocurren inundaciones de más del 60 % del área apureña entre los meses de abril a noviembre y la época de sequía comienza desde el mes de diciembre, hasta marzo. El flanco oriental del estado Apure colinda con el río Orinoco y su longitud, entre el Meta y el Río Apure es de unos 240 km. Con respecto al río Meta, es el segundo río de Venezuela, gracias a su extenso caudal y se considera como frontera entre los países Colombia y Venezuela, desde las Islas Culebras, hasta la desembocadura del río Orinoco (Vila, 1965).

Para el estado Amazonas, existen dos cuencas que destacan y son la del río Orinoco y la del río Guanía-Negro, esta última alimenta la cuenca del río Amazonas. Ambas cuencas están relacionadas por el Brazo de Casiquiare, que lleva parte del agua del río Orinoco al río Negro, que es un afluente del río Amazonas. La totalidad de las aguas del territorio son vertidas al Océano Atlántico (Vila, 1965).

2.7 SECTOR CIRCUNDANTE A LOS RÍOS AKANÁN Y APARAMÁN

2.7.1 Clima

En general el clima de la zona es tropical, sin embargo se encuentran variaciones hacia las zonas bajas con temperaturas que van desde los 27°C en la zona de Puerto Ordaz, entre 27°C a 31°C en Ciudad Bolívar y en La Gran Sabana oscila entre los 18°C a 23°C.

2.7.2 Precipitación

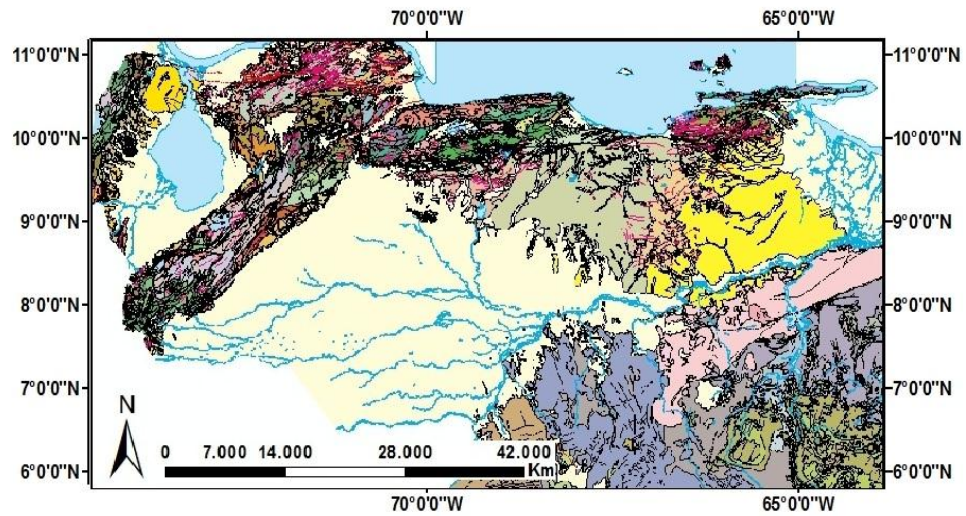
La época lluviosa comprende los meses de abril a noviembre, cuyas precipitaciones más fuertes se presencian en el mes de julio. Los meses de sequía van de diciembre a marzo, siendo éste último y febrero los meses donde la sequía es más alta.

2.8 GEOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio comprende una gran extensión, abarcando un aproximado de 13 estados del territorio venezolano, distribuidos al occidente, centro y oriente del país, así como una pequeña porción del país vecino Colombia. Es por esta razón y considerando la gran longitud presente en cada uno de los cursos de agua y las diferentes formaciones geológicas que estos bisectan, que se han resumido en un conjunto de tablas presentadas en el área de anexos las principales formaciones que integran esta zona.

2.8.1 Unidades litológicas presentes en cada cuenca

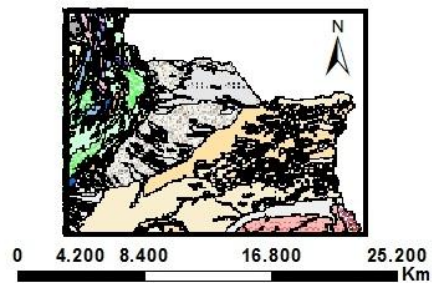
Uno de los aportes de este trabajo consistió en identificar las litologías de las cuencas estudiadas con el fin de incluirla (mediante un factor cuantitativo) en el cálculo de la erosión. La información fue tomada de los estudios nombrados en los antecedentes, consultas del léxico estratigráfico y el mapa Geológico de Vzla producido por U.S. Geological Survey National Center y el Mapa Geológico Colombiano año 2007, cuyas figuras ejemplo de unidades se muestra a continuación:



Unit_abbrev	Unit Abbre	Unit
AXgr	AXgr	Rocas silíceas Intrusivas
AXi	AXi	Complejo Imataca
AXm	AXm	Gneiss, Complejo Imataca
CPeb	CPeb	Migmatita, Complejo Imataca
	CPeb	Terraza granítica El Baul

Figura 2.11. Fragmento de mapa Geológico de Vzla producido por U.S. Geological Survey National (Hackley et al.,2005).

- **Fragmento del mapa colombiano**







	De		
	Dp		
	Eoc		
	Ffg		
	Age- ID		Unit
	De		Terranes Caribe
	Dp		Terranes Guajira
	Eoc		Terranes Caribe
	Ffg		Subplaca Maracaibo

Figura 2.12. Fragmento de mapa geológico colombiano (Tomado y modificado de Tapias et al.,2007).

2.9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En esta sección se describirán algunas de las más importantes estructuras geológicas presentes en toda la zona de estudio, además de rasgos característicos, como edad, zonas de contacto, procesos previos a su formación, etc.

2.9.1 FLANCOS NORANDINO Y SURANDINO

El conjunto de fallas que predominan en la zona, son generalmente del Mesozoico, las cuales han sido reactivadas y son responsables de las estructuras presentes. Definiendo por lo menos siete bloques tectónicos, que contrastan con las exhumaciones y se separan gracias a un conjunto de fallas de levantamiento y empuje. Entre las fallas más importantes de la zona, se encuentran la Falla de Boconó, Caparo, Icotea, Valera, Burbusay o Carache. La Falla de Boconó se extiende desde la frontera con Colombia, por más de 500km al noreste y divide los Andes Venezolanos en su parte central en dos cadenas de forma simétrica, mostrando en el flanco noroeste a La Sierra de la Culata y al sureste La Sierra Nevada.

El Bloque Tectónico Caparo, está delimitado por la el sistema de fallas de Boconó y el sistema de fallas Centro-Surandino, mientras que el Bloque Tectónico de Trujillo, se delimitan por el sistema de fallas de Boconó, sistema de fallas de Valera y la Falla de Burbusay. Ambos bloques están dominados por rocas sedimentarias del Paleozoico y Mesozoico y sufrieron una etapa de enfriamiento desde el Oligoceno inferior al Mioceno tardío. Con respecto la Fila de Montaña, La Sierra Nevada y la Sierra de la Culata, el material presente se compone de gneis y granitos formados en el

Proterozoico y Paleozoico, cuyo basamento está cubierto por rocas sedimentarias del Cenozoico, provenientes al norte por la cuenca de Maracaibo y al sur por la cuenca de Barinas (Bermúdez et al.,2013). La figura 2.13, muestra el mapa geológico y estructural de los Andes venezolanos.

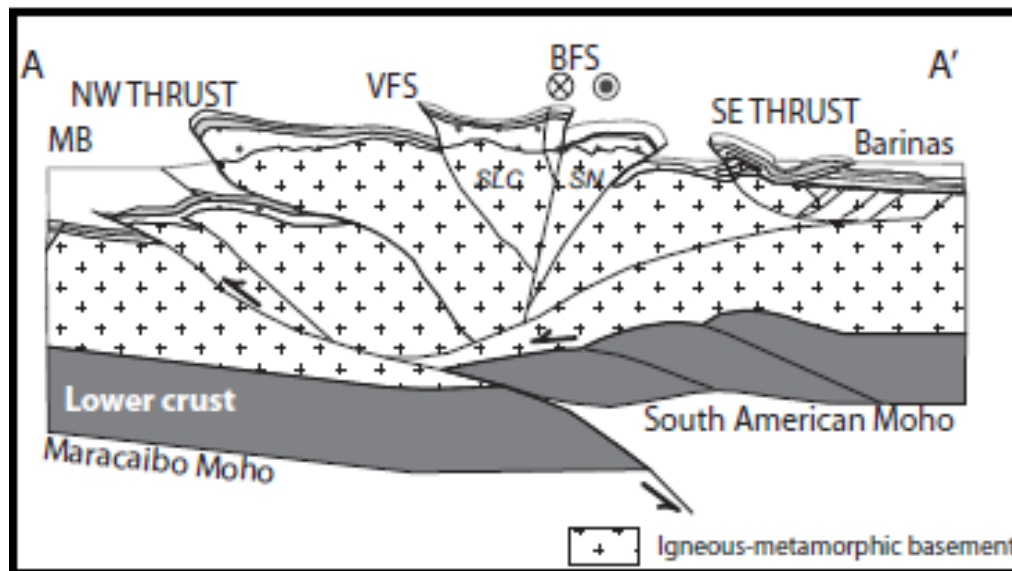


Figura 2.13.Sección estructural simplificada de los Andes centrales de Venezuela (Tomado y modificado de Bermúdez et al., 2013).

Según Deramitroff (1971), los Andes sufrieron deformación debido a eventos de cizallamiento en era del Terciario, fundamentado por las ramificaciones destrales en toda la extensión de la Falla de Boconó y el levantamiento producido, de 80°-90°, iniciado en el Mioceno Tardío, a partir del esfuerzo compresivo principal, responsable de la Zona de Falla de Boconó y el conjunto de corrimientos que se le asocian.

2.93 FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

Para el caso de la cuenca del río Nirgua y sus orógenos circundantes, es factible describir las diferentes estructuras que se encuentran en el estado Yaracuy, ya que conforma una parte occidental del sistema montañoso del Caribe. Con respecto al

sistema de fallas, en su mayoría tienden a ser longitudinales y “existe un raso tectónico gravitacional acentuado” (Soubllette, 2013). El área de plegamiento isoclinal a gran escala presente en la zona, acompañado de diversas fases de microplegues, fueron generados por esfuerzos tectónicos, evidenciados por una desarrollada esquistosidad, la cual en su mayoría es paralela a la estratificación. La Falla de Boconó, sigue siendo la estructura principal, cortando el valle del río Yaracuy, uniéndose al sistema de fallas del Caribe. Otro sistema de fallas importante es el que se encuentra al norte de los macizos metamórficos, que afloran en el flanco norte del río Aroa (Shubert, 1968). La figura 2.14, muestra las principales estructuras presentes, en este segmento de la zona de estudio.

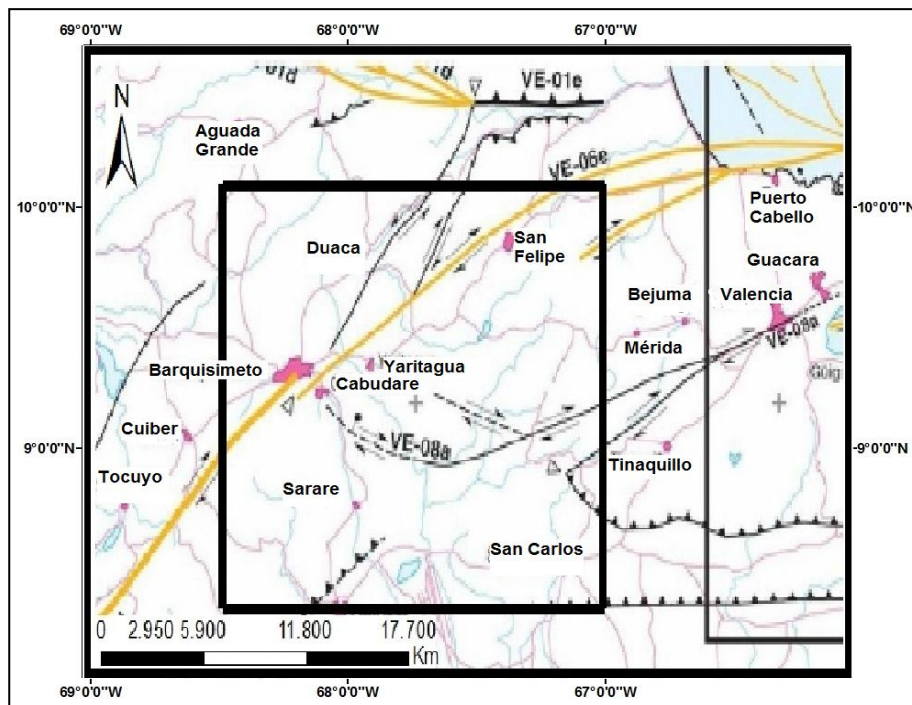


Figura 2.14. Principales estructuras presentes, en este tramo de la zona de estudio, comprende la zona de las cuencas hidrográficas del río Nirgua, Peña y San Carlos (Tomado y modificado de Arcía y Viana, 2013).

El frente de corrimiento de Guárico, también constituye una gran influencia en esta zona, promoviendo la creación de múltiples estructuras. Dichos corrimientos, “se presentan de forma discontinua, ocasionalmente en relevos estructurales y a través de

fallas ciegas, y generalmente disectadas y reemplazadas por estructuras rumbo deslizantes que funcionan como zonas de desahogo para las masas emplazantes” (Guillén y Toribio, 2006). Este sistema de corrimientos, aunado al sistema de fallas de la Victoria y de San Sebastián, fueron generados por la acción transpresiva dextral de la Placa Caribe, respecto a la Placa Sudamericana, originando un cinturón de deformación a gran escala (ver fig 2.14).

Con respecto al segmento que comprende a las cuencas Camatagua, Guárico y Orituco, este tramo presenta un comportamiento estructural predominante sólo hacia el norte, donde se encuentran los puntos más altos del relieve, puesto que para el sur, son zonas muy bajas que no muestran estructuras significativas. Primeramente la región de Camatagua se compone de diversas estructuras, partiendo desde el noroeste, donde se observan un conjunto de fallas inversas, que se extienden desde El Taque hasta los Cajones. Hacia el suroeste, se encuentra la falla dextral Camatagüita que se une con otra falla, volviéndose asintóticas hacia el oeste, luego a la altura de San Alejo bordeando el río Guárico, se encuentra un sinclinal y anticlinal de pequeñas proporciones, comparadas con las estructuras antes mencionadas. Continuando al sur, se observan un conjunto de estratificaciones volcadas y anticlinales volcados a la altura de La Ceiba, encontrándose al oeste con el frente de falla inversa que se extiende desde el río Guárico, hasta la Quebrada el Valle y la falla normal de Guarumen. Otras estructuras predominantes son el anticlinal Taguay, que se extiende desde el sur del río Guárico hasta el río Taguay y también el sinclinal de Carmen de Cura, al este de Camatagua. Por último al noreste de Camatagua, se encuentra un conjunto de fallas inversas, sinclinal volcado y sinclinal a la altura de la Serranía de Santa Rosa (Guillén y Toribio, 2006). La figura 2.15, muestra las estructuras y los sistemas de fallas predominantes en el flanco ramal interior de La Cordillera de la Costa.

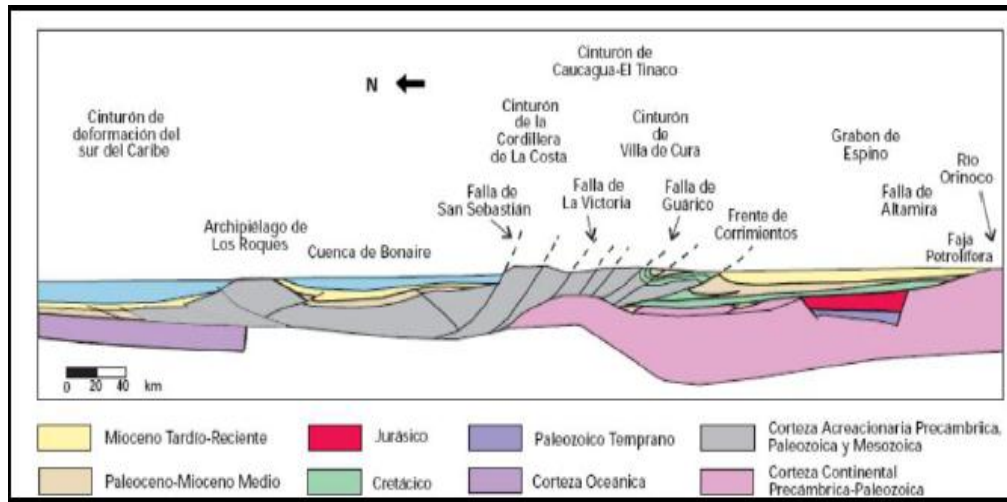


Figura 2.15. Principales estructuras y sistemas de fallas predominantes en el ramal interior de La Cordillera de la Costa (Tomado y modificado de Yoris et al., 1997).

2.9.4 FORMACIÓN MESA

Tomando en cuenta que el río Orinoco divide la zona en dos segmentos, cuyo primer tramo es el que colinda al norte con los llanos Orientales y el otro tramo al sur, que coincide con el Cratón de Guayana, las estructuras presentes son variables. Comenzando al norte con los llanos Orientales, estructuralmente este tramo está influenciado por el Graben de Espino (Jurásico), el cual se originó debido a extensión del Proto-Caribe, produciéndose un conjunto de valles de extensión cuya dirección preferencial son hacia el noreste (Yoris y Ostos, 1997). Luego para el siguiente tramo, la influencia estructural, se debe principalmente al Cratón de Guayana, enmarcado por la alineación tectónica con dirección suroeste-noreste. Predomina una falla normal de rumbo noreste, a lo largo de Cuchivero, cuyos movimientos verticales, iniciales entre los diferentes bloques de la corteza, originaron pliegues y fallas incipientes en la cobertura riolítica (Mc Candless, 1965).

Mendoza (2005), indica la presencia de un sinforme, en la región de río Aro (extremo noreste de la Provincia de Imataca), con dirección este-oeste, compuesto por pliegues isoclinales y plegamientos superpuestos, sometidos a esfuerzos de compresión.

También se encuentra la Falla de Guri, considerado el rasgo megatectónico más relevante del Escudo de Guayana y la falla más antigua, que separa las provincias de Imataca, al norte de Guri y de Pastora al sur. Otras estructuras importantes, es el sistema de fallas, que cortan las rocas del Complejo de Imataca, constituidas por la Falla de El Páo y Ciudad Piar-Guri de tipo transcurrentes y la Falla de Santa Bárbara, que tiene como particularidad un levantamiento en el extremo norte (falla inclinada) (Kalliokoski, 1965). Por último, un conjunto de fallas menores, como la de Canaguapana, con dirección sureste, la Falla del río Aro con dirección suroeste-noroeste y la Falla de Agua Blanca, encontradas en la zona Borbón, las cuales presentan pocas evidencias de fallamiento, sin embargo se tiene como evidencia clave el cataclismo intenso, observados en los gneises, encontrados en el área (Ortegano, 2012). La figura 2.16, muestra las estructuras encontradas al norte del río Orinoco.

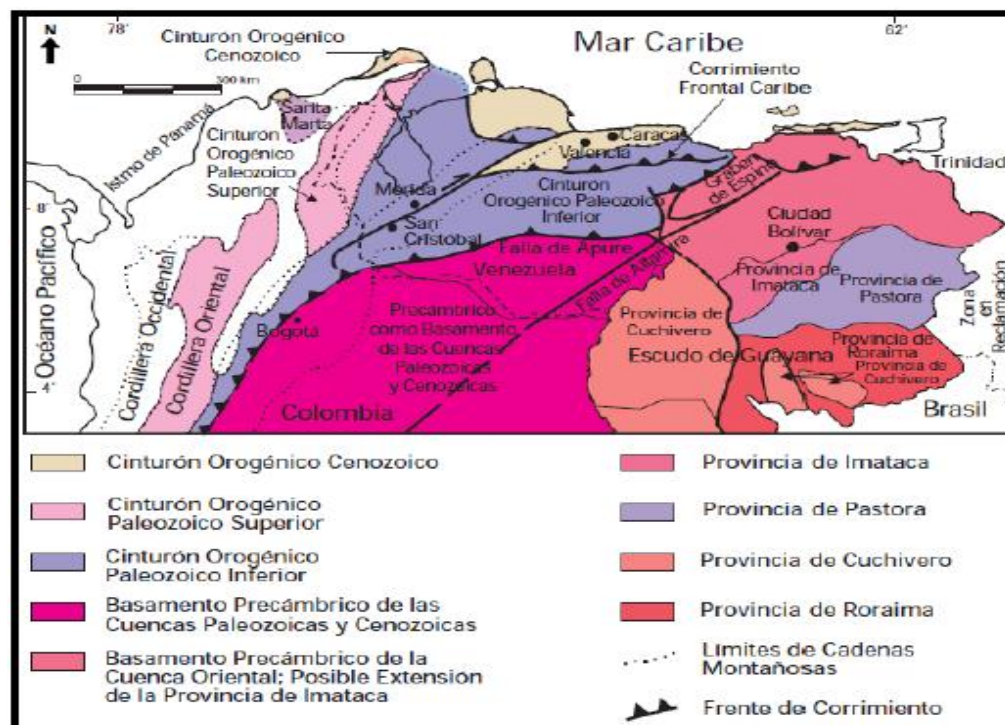


Figura 2.16. Conjunto de características generales referentes a la tectónica, geología estructural y superficial del Delta del Orinoco (Tomado y modificado de Yoris y Ostos, 1997).

2.9.5 ZONA AL SUROESTE DEL RÍO ORINOCO

En esta zona las estructuras mas importantes son las siguientes:

Falla de Guri; Cabruta y Suapure

La Falla de Guri, es considerada como el rasgo megatectónico más relevante del Escudo de Guayana (Mendoza, 2005), que separa las provincias de Imataca al norte del Guri y la Provincia de Pastora al Sur. Considerada una falla muy antigua, la cual puede reconocerse en la superficie por unos 400Km, con una zona cizallada de 1 a 4Km de ancho donde alternan con las milonitas bloques de rocas del Complejo Imataca. Se puede comprobar que esta falla actualmente no tiene actividad por lo menos desde el Paleozoico Superior, debido a que no se observa metamorfismo ni cizallamiento en los diques doleríticos de edad Pérmica que lo atraviesan. Según Chase (1965), la Falla de Guri puede ser una falla transcurrente de angulo alto, con un movimiento horizontal principal y un movimiento vertical secundario (Carpio 2005).

La falla de Guri se originó durante el Clímax de la Orogénesis Transamazónica (2.150-1.960 M.a.), actuando como una zona de sutura en el cierre de la Provincia de Pastora con Imataca, donde se produce la granulitización de las rocas de Imataca y metamorfismo en las Facies Esquistos Verdes a anfibolitas en los cinturones de rocas verdes más antiguos de Pastora. Más tarde en el Final de la Orogénesis Transamazónica (1.900-1.800 M.a.), en el choque de las tres provincias Imataca, Pastora y Cuchivero, originó el Frente Tectónico de Caura y fracturas paralelas, de donde se generaron las fallas de Cabruta y Suapure, entre otras (Caroní, Cuchivero, Parguaza, etc), que desplazaron la Falla de Guri (Mendoza, 2005).

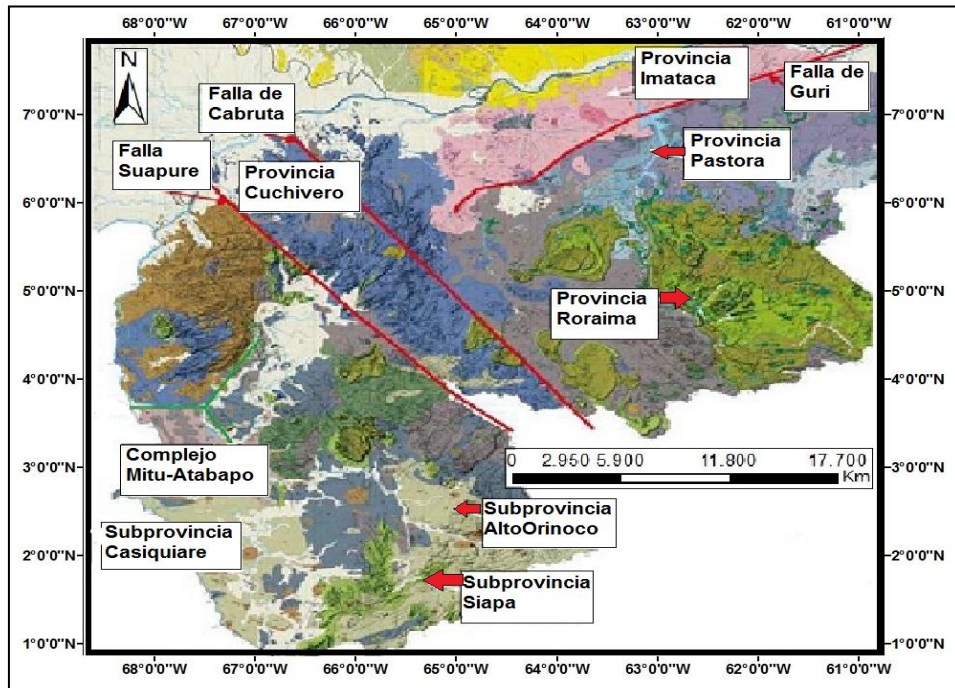


Figura 2.17. Mapa Geológico actual del alto relieve del Escudo de Guayana (Tomado y modificado de Hackley, 2005).

2.9.5.1 Evolución geológica de los llanos colombianos

La evolución geológica de los llanos colombianos, se encuentra directamente relacionada a los levantamientos y hundimientos de la Cordillera Oriental (Goosen, 1964; Botero, 1999), cuyos últimos levantamientos del Terciario y Cuaternario, fueron los de mayor importancia, puesto que originaron varios procesos de erosión en la cordillera, que establecieron lo que es la litología actual. Los diferentes plegamientos y levantamientos que muestra la zona, en especial los que se encuentran al pie de La Cordillera Oriental, generaron hundimientos al este que afectaron principalmente a los que actualmente son los departamentos de Arauca y Casanare, siendo el Valle del Río Meta el límite al este que marca dicho hundimiento (Goosen, 1964). El río Meta, presenta una dirección bien definida en línea recta desde la confluencia con el río Macanacacias hasta los límites Venezolanos, donde los flancos orientales, presentan relieves mayores en comparación con los flancos occidentales, lo que indica la

presencia de una posible falla, que condicione la dirección de dicho río (ver fig .), esta característica tectónica es responsable de la creación de dos bloques, uno al oeste del río Meta (denominado en la actualidad como Orinoquia mal drenada) y otro al este (considerado la Orinoquia bien drenada) (Botero, 1999).

La Llanura Aluvial, se originó post-Pleitoceno, gracias al inicio de un nuevo ciclo erosivo y de sedimentación en los llanos relacionados con las glaciaciones de la Cordillera y para el área de Meta, la sedimentación resultó la creación de las terrazas que se aprecian en la actualidad, de igual forma, esta edad marcó una etapa de períodos poco lluviosos, en donde fueron depositados nuevos sedimentos que venían de la cordillera, en los valles excavados por los ríos, formando las geoformas conocidas como Aluviones Recientes. La cuenca de los llanos es una expresión estructural, con dirección NE, limitada al oeste por la Cordillera Oriental y al este por el Escudo de Guayana. Hacia el norte se limita por el Arco de Arauca y al sur por el Bloque de La Macarena y el Arco de Vaupés, que la separa de la cuenca del Putumayo (Galvis y Suarez, 1984). Esta comprende tres unidades estructurales bien definidas, con estilos tectónicos particulares, teniendo primeramente al Cinturón plegado, localizado en el Piedemonte Andino y limitado por dos fallas de cabalgamiento inclinadas al oeste, le sigue la depresión subandina o zona de máximo espesor sedimentario que se localiza entre el cinturón plegado y la plataforma o zona más oriental de poca deformación (ver fig 2.19)

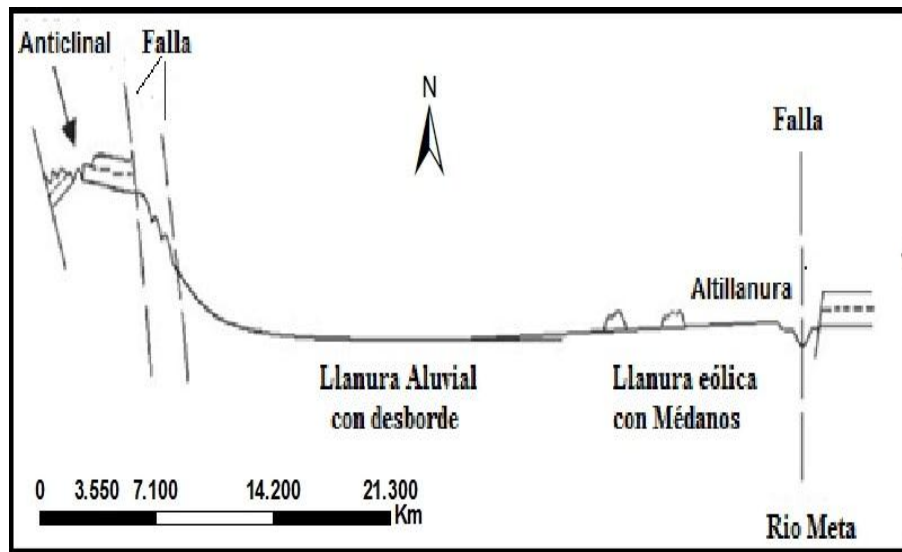


Figura 2.19. Corte esquemático a través de Boyacá y Casanare (Tomado y modificado de Goosen, 1964).

2.9.6 SECTOR CIRCUNDANTE A LAS CUENCAS DE LOS RÍOS AKANÁN Y APARAMÁN

La Falla del Guri es el rasgo estructural predominante, responsable de grandes eventos tectónicos en la zona, separando la Provincia de Imataca al norte del Guri y de la Pastora al sur. Las zonas ocupadas por los tepuyes, determinan la presencia de un control stratigráfico influyente, sobre el conjunto de fracturas con dirección hacia determinadas zonas del escudo (Briceño y Shubert, 1987). Entre los tepuyes, más destacados como el Chimantá, Auyantepuy, Kukenán, Guaiquinima e Ilú Tepuy, se encontraron fracturas de tipo vertical, lo que determina que el esfuerzo intermedio, fue de este tipo, durante el período de mayor deformación tectónica, y el esfuerzo de compresión máxima parece estar orientado del noreste al sureste (Briceño, 1986).

CAPÍTULO III

3. MARCO TEÓRICO

3.1 INTRODUCCIÓN

El capítulo III se basa en dar a entender al lector de este Trabajo Especial de grado los conceptos básicos y la metodología que se utilizaron durante el desarrollo de este trabajo, con el fin de que en los capítulos siguientes exista una mejor comprensión sobre el por qué de los resultados y el análisis y las conclusiones que estos arrojen.

3.2 MARCO CONCEPTUAL

3.2.1 GEOMORFOLOGÍA CUANTITATIVA

La Geomorfología tradicional, es una rama perteneciente a las ciencias geológicas que se ha fundamentado en el estudio de las diversas características que presenta el relieve actual en un área determinada, basándose en la observación directa, descripción y análisis de los efectos y procesos que ocurren en la superficie terrestre para determinar datos morfológicos, fisiográficos, morfométricos, entre otros (Tricart,1978).

A través de los años la geomorfología tradicional ha ido evolucionando, a tal punto de direccionarse a métodos y técnicas de tipo computacionales, las cuales han sido más efectivas (en comparación a los métodos visuales antes aplicados), ya que la información que se pueden obtener de estos estudios son más certeras y confiables, empleando diversos parámetros de tipo cuantitativo que rigen los procesos de la superficie terrestre, pero igualmente reconocen la singularidad de cada paisaje y el entorno en el que operan estos procesos . Esta técnica se conoce como *geomorfología cuantitativa* (Wood, 1996).

Es importante recalcar que tanto la geomorfología tradicional como la cuantitativa, van siempre de la mano, ya que se conservan los parámetros establecidos años atrás por la tradicional; como por ejemplo, partir de la idea de que los cambios dinámicos del paisaje se deben considerar como una parte esencial de su naturaleza (Whipple,2004) y también considerar que muchos sistemas geomórficos, se entienden mejor estudiando los diferentes procesos que han participado en ellos; es decir, las distribuciones de probabilidad de las magnitudes de eventos y los períodos de retorno (Benda y Dunne,1997).

Finalmente la geomorfología cuantitativa como herramienta fundamental de las geociencias, tiene como uno de sus principales objetivos, determinar expresiones matemáticas que ayuden a entender de manera íntegra el paisaje, tomando como punto base los diferentes procesos que dan origen a las diversas geoformas presentes (Mayer, 1990). De esta manera uno de los métodos para estudiar cuantitativamente la geomorfología de una zona es a través de Modelos de Elevación Digital (MDE) o Modelos Numéricos del Terreno (MNT), y esto a su vez, se le denomina *análisis digital del terreno* (Wilson y Gallant, 2000), punto de partida para la elaboración de este Trabajo Especial de grado, donde se utilizaron un conjunto de MDE, que representan las diferentes cuencas y subcuencas existentes en la zona de estudio, cuya metodología y expresiones matemáticas empleadas se desarrollan en el capítulo siguiente.

3.2.2 ANÁLISIS DIGITAL DEL TERRENO

El análisis digital del terreno se realiza empleando una serie de fórmulas o expresiones matemáticas, útiles para determinar diferentes procesos que afectan al paisaje, a una zona o área determinada de estudio, a través de lo que se conoce como modelo digital de elevación (MDE) o modelo numérico del terreno, tomando en cuenta datos calculados en campo o datos existentes sobre dicha área de estudio (Wilson y Gallant, 2000).

Esta técnica se ha desarrollado a través del tiempo gracias al surgimiento de la geomática, ciencia que emplea conocimientos de la rama de la informática, para el análisis, captura, tratamiento, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica, muy útiles para el área de ciencias de la tierra, como es el caso de la geomorfología tradicional, la cual ha evolucionado a una geomorfología cuantitativa, donde se pueden describir y entender de una forma más precisa y cuantificable, los procesos naturales que originan las distintas geoformas existentes en el paisaje. Además de trabajar a diversas escalas, se pueden integrar procesos ocurridos en intervalos distintos de tiempo, siendo una gran ventaja, ya que muchos de los procesos bióticos y físicos que existen en la superficie terrestre, son influenciados por procesos actuales (patrones climáticos), procesos antiguos (como por ejemplo paleosismicidad), las interacciones entre ellos y los cambios en las condiciones iniciales (Dietrich et al. 1992, Grayson et al. 1993, Montgomery y Dietrich 1995).

3.2.3 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (MDE)

El modelo digital de elevación o MDE muestra la zona o área de estudio de una forma estadística, empleando un conjunto de datos codificados en cifras útiles para su manejo de manera informática, estructurados por la relación entre la posición geográfica y el valor de la altitud, o lo que es lo mismo, las coordenadas x, y, z respecto a un sistema de georeferenciación conocido. Gracias al MDE, se pueden realizar, modelados espaciales y el monitoreo de la superficie terrestre, con diversas aplicaciones vinculadas a las ciencias de la tierra (LI et al., 2005)

Los MDE, generalmente se conforman por modelos de mayas regulares y debido a su fácil manejo y a la facilidad de implementación en la computadora, son las más usadas actualmente. La estructura utilizada para representar el MDE, se conoce como “Raster”, conformado por un conjunto de unidades espaciales, denominadas “Celdas”, que se detallan por un conjunto de píxeles que representan unidades territoriales homogéneas de información espacial. Estos modelos son de

gran utilidad, ya que suministran una estructura de datos simples, ideales para la integración de imágenes satelitales, de fácil entendimiento para el análisis, simulación y modelado, y comparación “pixel a pixel”.

Para generar los distintos MDE en este trabajo de investigación, se utilizó como fuente principal la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Misión), de la Agencia Espacial Norteamericana (NASA), con una resolución de 90 m. Los modelos de elevación generados, se procesaron y proyectaron bajo el sistema de coordenadas mundiales WGS1984, a través del software ARCGIS 10.3.

3.2.4 LA EROSIÓN Y TIPOS DE EROSIÓN

La erosión, desde el punto de vista geológico se define como un proceso que ocurre de forma natural y va de la mano del ciclo geomorfológico (erosión, transporte y sedimentación) y forma parte de la dinámica evolutiva de la superficie del planeta, ligada al proceso de morfogénesis moldeando las formas terrestres. Entre las causas de la erosión se encuentran la mineralización de la materia orgánica, lluvias torrenciales, compactación, proyección de los agregados del suelo, energía de las gotas de lluvia, energía de los afluentes, gravedad y efecto de la cizalladura mayores que las fuerzas de cohesión, trayendo como consecuencia factores como la disminución de la tasa de materia orgánica, de la humedad y los nutrientes del suelo, porosidad e infiltración, incremento de los arroyamientos, entre otros (Díaz, 2012).

A través de los años, los procesos naturales, como la meteorización y la erosión, han sido afectados gracias a la actividad del hombre, generalmente dirigidos a fines comerciales, como la tala de bosques, la quema de vegetación, el uso de sistemas de cultivos, construcción de obras de infraestructuras, entre otros, que de alguna manera disminuyen o aceleran de acuerdo a la situación, el desarrollo de los procesos erosivos adoptando formas muy diferentes, donde se pueden encontrar efectos visibles de diversos tamaños . La mayoría de las veces, los cambios que

aporta la actividad humana en los procesos erosivos son sutiles, difícil de cuantificar y sus consecuencias se revelan después de varios siglos (Imerson y Curfs, 2008).

- **La Erosión Laminar:**

Este proceso consiste en la disolución de una capa delgada relativamente uniforme del suelo superficial, debido a la lluvia y escorrentía superficial no canalizada.

- **La Erosión en Surcos:**

Mayormente este proceso se observa en terrenos con una pendiente considerable, preferiblemente si han sido labrados, donde se forman pequeños canales y surcos, de pocos centímetros y profundidad.

- **La Erosión en Cárcavas:**

Este proceso ocurre cuando la concentración del agua, crea pseudocanales, los cuales arrastran el material hasta una profundidad considerable, cuyas cárcavas pueden alcanzar hasta los 30 m y son formadas en suelos o rocas específicos. Generalmente las cárcavas son inestables, ya que concentran el agua de drenaje del terreno circundante.

- **La Erosión en Túnel o Báculos Aluviales:**

La erosión de este tipo, se concentra en su mayoría en suelos arcillosos que se contraen o expanden conforme a la humedad, o capas que se dispersan espontáneamente con el agua (Imerson y Curfs, 2008). La figura muestra los tipos procesos de erosión hídrica.

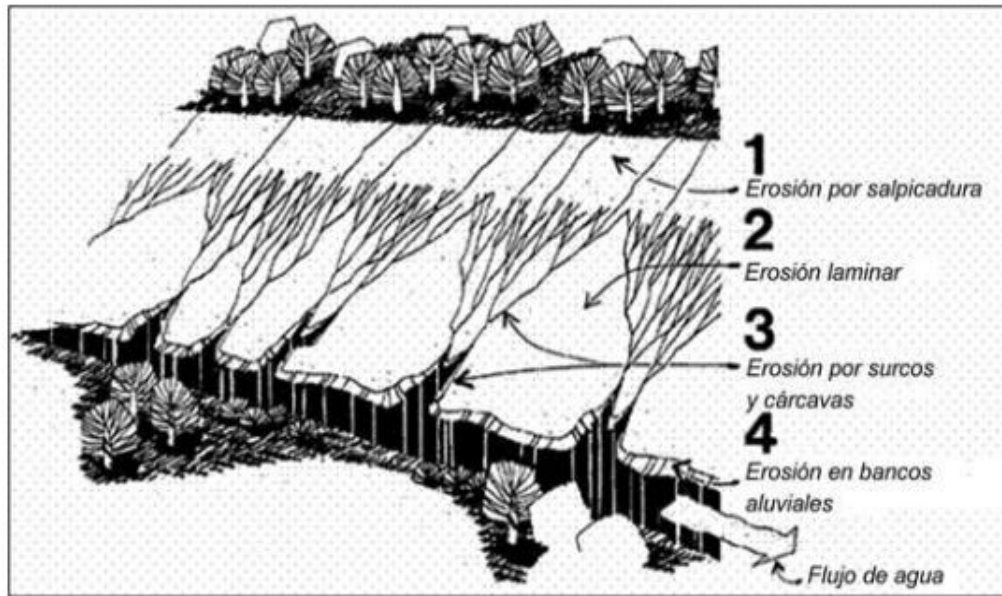


Figura3.1. Tipos de erosión hídrica (Tomado de Pizarro., et al, 2010).

3.2.5 ATRIBUTOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS DEL TERRENO

El análisis digital, se enfoca en la búsqueda y descripción de los atributos primarios y secundarios del terreno, tales como el perfil de curvatura, área de toma de muestras, pendiente, entre otros, con la ayuda de los modelos digitales de elevación.

Los *Atributos Primarios del terreno*, son aquellos que se calculan directamente a partir de un MDE (Wilson y Gallant, 2000), y estos son la pendiente, red de drenaje, área de curvatura, orientación, cuencas de drenaje, áreas de drenaje específicas, entre otros. En la Tabla 3.1 se detallan cada uno de los atributos primarios.

ATRIBUTOS PRIMARIOS	DEFINICIÓN	SIGNIFICADO
---------------------	------------	-------------

Altitud	Elevación	Clima, Vegetación y Energía Potencial
Aspecto de altura cuesta arriba	La altura promedio del área cuesta arriba	Energía Potencial
Aspecto	Pendiente azimutal	Insolación, Evapotranspiración, distribución y abundancia, de flora y la fauna
Pendiente	Gradiente	Velocidad de flujo superficial y sub-superficial, tasa de escurrimiento, precipitación, vegetación, geomorfología, contenido de agua en el suelo (% de humedad), tipo de suelo competente
Pendiente cuesta arriba	Pendiente media del área cuesta arriba	Velocidad de Escurrimiento
Pendiente de dispersión	Pendiente media del área dispersa	Tasa de drenaje del suelo
Pendiente de captación	Pendiente promedio de la cuenca	Tiempo de concentración
Área cuesta arriba	Área de captación encima de un tramo corto de contorno	Volumen de escorrentía, estado estacionario de la tasa de escorrentía
Área dispersa	Área pendiente debajo de una longitud corta de contorno	Tasa de drenaje del suelo
Área de captación (Cuenca)	Área de drenaje a la salida de la cuenca	Volumen de escorrentía
Área específica de la cuenca	Área cuesta arriba por unidad de ancho de contorno	Volumen de escorrentía, estado estacionario de la tasa de escorrentía, características del suelo, contenido de agua en el suelo (% de humedad) y geomorfología
Longitud de la Trayectoria de flujo	Máxima distancia del flujo de agua a un punto en la cuenca	Las tasas de erosión, tiempo de concentración, y acumulación de sedimentos.
Longitud de la cuesta arriba	Longitud promedio de los modelos de flujos hasta un punto en la cuenca	Tasas de erosión, aceleración de flujos
Longitud dispersa	Distancia a un punto a las afueras de la cuenca	Impedancia (resistencia) del drenaje del suelo
Longitud de la cuenca	Distancia del punto más alto de las afueras de la cuenca	Atenuación del flujo superficial
Perfil de curvatura	Pendiente del perfil de curvatura	Aceleración de flujo, tasa de erosión/depositación y geomorfología
Plano de curvatura	Contorno de curvatura	Convergencia/Divergencia de flujo, contenido de agua del suelo (% de humedad), características del suelo

Curvatura Tangencial	Plan de curvatura múltiple para pendientes	Proporciona la medida alternativa de convergencia y divergencia de flujo local
Proporción de elevación	Proporción de las celdas las marca el usuario, círculo más bajo del centro de la celda	Posición relativa del paisaje distribución y abundancia de flora y fauna

Tabla 3.1. Atributos topográficos primarios del terreno, que pueden derivarse de un MDE, mediante funciones de análisis en SIG (Moore et al., 1991).

Los *Atributos Secundarios o compuestos del terreno*, son aquellos derivados de los atributos primarios del terreno, con procedimientos como el grado de la pendiente y la acumulación de flujo y constituyen un conjunto de valores empíricos, como los índices que describen la variabilidad espacial de algunos procesos superficiales o propiedades de los suelos. Estos atributos son muy utilizados en aplicaciones de modelización hidrológica, para la predicción de las propiedades del suelo y la erosión (Martínez, 1999). Los atributos secundarios utilizados en este trabajo se describen a continuación:

3.2.6 ÍNDICES DE HUMEDAD (Wetness Index. WI)

Mayormente en este tipo de investigaciones, se utilizan dos índices de humedad para describir los efectos que produce este factor en la topografía, de manera que el primer índice maneja los parámetros de ubicación y el segundo controla las características de tamaño de la zona o áreas fuentes de la generación de escorrentía. Ambos índices determinan que los puntos más bajos de las cuencas, siendo estos los que bordean los canales principales, son los puntos de mayor humedad y el agua que se encuentra en el suelo disminuye, mientras que las líneas de flujo se retrazan cuesta arriba en las divisorias de la cuenca. Además son indicadores de la distribución y origen del escurrimiento superficial y de las zonas potenciales de saturación (Wilson & Gallant, 2000). De esta manera se tienen dos ecuaciones (Moore et al., 1991):

$$Wt = \ln\left(\frac{As}{T \cdot \tan\beta}\right) \quad (3.1)$$

$$W = \ln\left(\frac{As}{\tan\beta}\right) \quad (3.2)$$

En la ecuación 2.1, se observan los elementos As , que es el área de captación específica de la cuenca, T que es la transmisividad del suelo cuando está saturado y β que es el gradiente de la pendiente (en grados).

Cabe destacar que generalmente al hablar de humedad en el relieve, se considera que la altura influye en el aumento de esta (a mayor altura, mayor humedad), sin embargo este índice implica lo contrario (a mayor altura, menor humedad), puesto que se basa en que los puntos de menor altura de la cuenca que bordean los canales principales son los puntos de mayor humedad. Esto implica que dicho índice se refiere a la humedad proporcionada por las redes de drenajes distribuidas en las cuencas a estudiar, donde influyen otros factores, como la precipitación, tamaño del caudal, índices de escorrentía, área de la cuenca (mayor capacidad de concentrar un número más amplio de tributarios), entre otras, y no por la humedad mayor que se puede generar por la altura del relieve referente a la variación de los pisos climáticos.

3.2.7 ÍNDICES DE EROSIÓN (Stream Power Index-SPI)

Los índices de erosión se consideran parámetros generalizados útiles para el modelado de procesos de erosión, los cuales pueden calcularse como una función del poder erosivo del afluente o tributario, definiéndolo como la tasa de energía potencial por corrientes de agua. Su utilidad ha sido muy común en diferentes estudios de erosión, transporte de sedimentos y en geomorfología como una medida de la fuerza

erosiva de los ríos y arroyos (Wilson & Gallant, 2000). El análisis se basa como una predicción en la tasa de incisión en el lecho de roca como una función de la potencia de la corriente (Finlayson et al, 2002, Tucker & Whipple, 2002). La ecuación (3.3) es la expresión general, utilizada para el cálculo de los índices de erosión.

$$\dot{e} = KA^m S^n \quad (3.3)$$

Donde \dot{e} representa la tasa de incisión local, A_s es el área de drenaje (desagüe) aguas arriba (tomada como una aproximación para el caudal), S es el valor de la pendiente local, m y n son constantes relacionadas al área drenaje y la pendiente respectivamente, mientras que K se relaciona directamente con la litología y es llamado el coeficiente de erodabilidad que refleja la dureza (Whipple, 2004).

También se pueden realizar modificaciones de esta expresión, las cuales pueden llegar a ser muy útiles, como por ejemplo, la introducción de las variables espaciales en la tasa de precipitación P , para estudiar su influencia sobre el índice de erosión; en este caso se tiene la ecuación (3.4) :

$$\dot{e}_p = \sum (A_p P)^m S^n \quad (3.4)$$

Como puede observarse, se incluye el símbolo de sumatoria, que representa la suma de cada una de las precipitaciones, sobre cada píxel dentro de la cuenca, A_p , significa el área de cada píxel y por último \dot{e}_p es el índice de erosión con precipitación (Bermúdez et al.,2013)..

Con respecto a las constantes m y n , dependiendo del control de las tasas de incisión de los ríos, pueden cambiar sus valores, derivándose las siguientes expresiones:

3.2.8 PODER DE FLUJO TOTAL “Total Stream Power” (TSP)(ω_{tsp})

Cuando la tasa de incisión está controlada por el poder de flujo total, donde $m=1$ y $n=1$. Se puede obtener por medio de la siguiente ecuación (3.5):

$$TSP = AS \quad (3.5)$$

El TSP o Poder de Flujo Total (Phillips, 1989), también conocido como Poder de Flujo Transversal (Ω_{tsp}), es la longitud del poder unitario en vatios por metro cuadrado (Watts/m²). Igualmente puede ser expresado por unidad del área del lecho de flujo si se divide por el ancho del canal. ($\omega_{tsp} = \gamma Q S_e / W$)

Donde:

γ = peso del agua, 9.81 o 9810 N/m²

Q = Caudal escurrido (descarga del caudal, cuando está en su capacidad plena)

3.2.9 PODER DE FLUJO UNITARIO “Unit Stream Power” (USP)(ω_{usp})

Se basa en el control de la tasa de incisión y por medio del ancho del canal, donde $m=1/2$ y $n=1$. Se puede obtener por medio de la ecuación:

$$USP = \sqrt{A_s S} \quad (3.6)$$

)

El Poder de Flujo Unitario (ω_{usp}) o Poder de Flujo Específico “Specific Stream Power” (Ω_{usp}) es la potencia por unidad de área del canal en vatios por metro (Watts/m).

$$\omega_{usp} = \rho g R S_e V \text{ ó } \Omega_{usp} / \text{ancho del canal activo}$$

Donde:

R= Radio hidráulico del canal, igual al área de la sección transversal del flujo dividida por la longitud del perímetro.

g= aceleración gravitacional, 9.81 m/seg²

ρ= Densidad del agua (1000 kg/m³)

S_e= Energía dada por la pendiente a la superficie del agua (m/m); es aproximada por la pendiente de la superficie del agua o por el lecho del canal.

V= Velocidad de la corriente de agua, la media de la velocidad del flujo a una profundidad promedio en m/seg (Finlayson et al, 2002 y Tucker y Whipple, 2002).

3.2.10 PODER DE FLUJO DE CIZALLA “Shear Stress Power” (SSP) (kω)

La incisión es controlada por medio de corte o cizalla fluvial, donde $m = 1/3$ y $n = 2/3$. Se obtiene con la siguiente ecuación (Ecuación 3.7):

$$SSP = \sqrt[3]{A_s S^2} \quad (3.7)$$

El Poder de Flujo de Cizalla “Shear Stress Power”, es el poder de corte que actúa sobre el lecho de roca, similar a la expresión del USP, pero con cambios en el ancho del canal de forma paulatina relacionada a la distancia aguas abajo.

Para finalizar con este tema de los Índices de Erosión, es importante mencionar que sus unidades están fundamentadas en el sistema Vatios, lo cual representa una medida de potencia (1 Vatio = kg m²/s³, esto equivale a un Joule por segundo) (Finlayson et al, 2002 y Tucker y Whipple, 2002).

3.2.11 ÍNDICE DE CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS (STI)

Este índice permite estimar el potencial topográfico para la erosión o depositación por medio de una expresión que representa el cambio en la capacidad de transporte de sedimentos en la dirección del flujo. La ecuación para determinar este índice es la siguiente (Ecuación, 3.8):

$$LS = (m + 1) (As/22r13)^m (\sin\beta/0,0896)^n \quad (3.8)$$

Donde n y m son constantes análogas a los valores para los índices de erosión TSP, USP, SPP (Finlayson et al, 2002 y Tucker y Whipple, 2002).

3.2.12 CURVA HIPSOMÉTRICA

La curva hipsométrica precisa cuál es la distribución de masa en la cuenca, desde la superficie, hasta el fondo de ésta. Para determinarla se ubica en las ordenadas, los diferentes valores de las alturas de la cuenca, tomando como referencia, la altura máxima, y en el eje de las abscisas, se coloca los valores de área que se encuentran por encima de las alturas correspondientes, referidos al área total de la cuenca. Generalmente estas curvas son de tipo sigmoideal, cóncava hacia arriba en la parte superior y en la parte inferior convexa, variando el grado de sinuosidad y la pendiente en su punto de inflexión (Racca, 2007).

Estas curvas se utilizan para compararlas con valores relativos (porcentuales), las cuales al presentar variaciones, en cuanto a diferencias con respecto a los datos teóricos, o mostrar más de un punto de inflexión, se relacionan directamente con controles tectónicos o litológicos. El valor del área relativa que yace bajo la curva o lo que es lo mismo, la integral hipsométrica, es indicativo de la evolución que toma la cuenca, de modo que si arroja valores superiores al 60%, indica que hay desequilibrio

con respecto al funcionamiento de dicha cuenca (juventud), si arroja valores que no sobrepasan el 47%, se habla de una cuenca en equilibrio o madura y valores menores a 30% implican fase de senectud (Racca, 2007).

De manera general, para calcular la curva hipsométrica se utiliza la siguiente ecuación:

$$H = \frac{\sum(ci \cdot a_i)}{A} \quad (3.8)$$

Donde: H = Altura media de la cuenca.

c_i = Cota media del área i entre dos curvas de nivel.

a_i = Área i entre dos curvas de nivel.

A = Área total de la cuenca.

La figura 3.2, muestra un ejemplo de la curva de integral hipsométrica, su interpretación y utilidad.

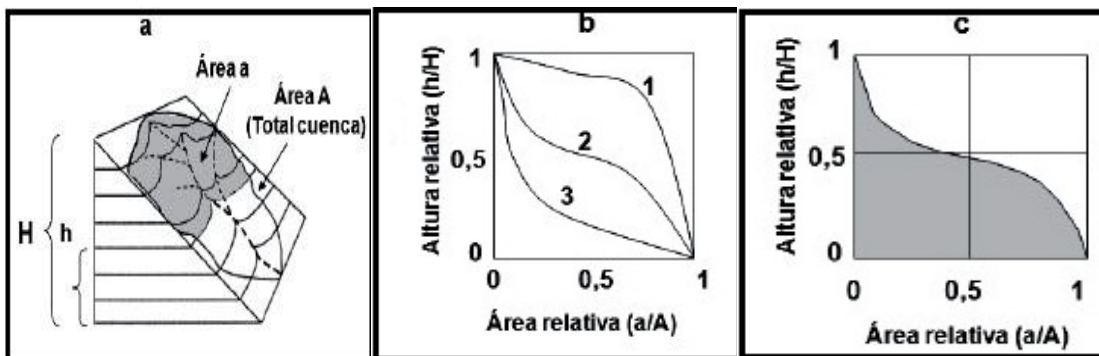


Figura 3.2. a) Ilustración del área “a” (sombreado) de una cuenca hidrográfica que se encuentra por sobre una cota “h” (Tomado y modificado de Quesada et al., 2010). b) Tipos de curvas hipsométricas : 1) Convexas (Fase de Juventud). 2) Sinuosoidal (Fase de Madurez). 3) Cóncava (Fase de Vejez) (Tomado y modificado de Quesada et al., 2010). c) Integral Hipsométrica, área bajo la curva hipsométrica (Tomado y modificado de Quesada et al., 2010).

3.2.13 DIMENSIÓN FRACTAL

El modelado terrestre y su expresión topográfica son el resultado de la acción de dos procesos frecuentemente contrapuestos: tectónicos y erosivo-sedimentarios. En los últimos años han proliferado los estudios que abordan la aplicación de la geometría fractal a problemas geomorfológicos, y especialmente su aplicación modelado por erosión fluvial. También han sido analizados desde la perspectiva fractal entre otros temas, la erosión de los acantilados litorales, los escarpes de fallas, las repercusiones de la tectónica y el clima sobre la topografía, la geometría de cuencas hidrográficas, etc (Navas y Quesada, 2010) .

Hoy en día se menciona que la morfología del paisaje y los procesos de erosión podrían ser invariantes a los cambios de escala y, por tanto, fractales. Sin embargo, cambios en los valores de la dimensión fractal pudieran estar asociados a cambios en los agentes controladores del paisaje dentro de las cuencas hidrográficas. Probablemente, mientras algunos procesos puedan actuar sobre un amplio rango de escalas, como por ejemplo las redes de drenaje, otros sólo deben operar sobre intervalos espaciales muy concretos, como es el caso de los glaciares (Navas y Quesada, 2010).

La dimensión fractal es un concepto para la medición de la rugosidad en la curva fractal que muestra el grado de complejidad del sistema en estudio. De hecho, la dimensión fractal es una cantidad estadística que muestra cómo un fractal ocupa el espacio cuando la escala disminuye. Esta característica de los fractales es robusta y es independiente de la relación de aumento o crecimiento del fractal (Navas y Quesada, 2010).

El procedimiento utilizado para el cálculo de la dimensión fractal en este trabajo de grado es el Box Counting (Conteo de Cajas), en separar o dividir un elemento, objeto, área o segmento (en este caso las cuencas), en diversos fragmentos más pequeños o “cajas”, para analizar las piezas en escalas más pequeñas. Este proceso, se

ha comparado con el acercamiento o alejamiento a través de métodos ópticos o por medio de programas de computadoras para examinar como varían las observaciones conforme a como varían las escalas. Sin embargo, contrario a otros procesos el Box Counting o Conteo de Cajas, en lugar de cambiar los distintos focos de una lente, se cambia el tamaño del elemento. En teoría el conteo de cajas se encarga de cuantificar las distintas escalas fractales, pero desde una perspectiva práctica, lo que hace necesario conocer la escala del objeto a estudiar, sin embargo en muchos casos el factor escala no es conocido, por lo que se debe acudir al empleo de algoritmos que puedan facilitar estos datos (Navas y Quesada, 2010).

El método del conteo de cajas (box counting), considera la relación entre la escala a la que se observa una forma auto-similar y el número de copias escaladas de la forma contenida dentro de la forma (dimensión de similitud) y generaliza dicha relación a las formas que no son exactamente auto-similares (Tomado de www.um.edu.ar/cátedras/ANASEN/document/fractal/box_counting) .

En este trabajo de grado se utilizó el método de Box Counting (conteo de caja) a través del software **MATLAB R2012a**, empleando un algoritmo el cuál se detallará más adelante en la sección de metodología.

3.2.14 MINERALES PESADOS

Según Carver (1971), los minerales pesados pertenecen al grupo de minerales accesorios de las rocas, que técnicamente presentan una gravedad específica mayor de $2,8 \text{ gr/cm}^3$, valor más alto que la densidad del cuarzo y de los feldespatos ($2,6 \text{ gr/cm}^3$), cuyo procedimiento de separación de las rocas se lleva a cabo en su mayoría, por medio de un líquido denominado bromoformo (el peso específico del bromoformo, equivale a $2,8 \text{ gr/cm}^3$). La categoría de minerales accesorios de las rocas, es atribuida a los minerales pesados, puesto que sólo representan un 0,1% a 0,5% de las fracciones terrígenas de los sedimentos y son característicos en las rocas

ígneas y metamórficas, cuya presencia disminuye progresivamente al pasar a sedimentos químicos inestables.

En las areniscas y sedimentos siliciclásticos, estos se encuentran en proporciones que no llegan al 1%, por lo tanto se procede a la disgregación del sedimento, seguidamente separándolos mediante el uso de líquidos pesados o métodos hidrogravimétricos. Suelen ser silicatos y óxidos resistentes a la abrasión mecánica y meteorización química y generalmente se dividen en tres grupos : ligeros (hasta 3,0gr/cm³), medios (de 3,0 a 4,0) gr/cm³ y pesados (más de 4,0 gr/cm³) (Milosvski et al., 1982). Otra característica importante de estos minerales, es que debido a su alta densidad, se acumulan junto con granos de cuarzo de mayor tamaño, lo que se conoce como tamaño hidráulico equivalente. El análisis de minerales pesados es un procedimiento de gran importancia, ya que permite determinar la procedencia del material existente en las rocas (Boggs, 2009).

La clasificación de estos minerales en cuanto a su origen se divide en dos: Alogénicos y Autinégicos. Los minerales Alogénicos (minerales detríticos), son aquellos que presentan acumulaciones derivadas de rocas fuentes y han prevalecido ante diversos procesos erosivos como la meteorización, abrasión, descomposición y por soluciones entre los estratos; también se le conocen como minerales pesados estables o resistentes pesados (ejemplo de estos se encuentran: Circón (ZrSiO₄), Cuarzo (SiO₂), Magnetita (Fe₃O₄), Ilmenita (FeTiO₃), Rutilo (TiO₂), entre otros). En cuanto a los minerales Autinégicos (minerales secundarios), son minerales in-situ, formados en el mismo lugar donde se encuentran, no han sido sometidos a procesos de acarreo y transporte (Feo- Codecido, 1965). Las tablas 3.2 y 3.3 muestran el orden de persistencia de los minerales pesados y asociaciones de minerales y procedencia, respectivamente.

NÚMERO	MINERAL	NÚMERO	MINERAL
-3	Atanasa	11	Epidoto
-2	Muscovita	12	Hornblenda
-1	Rutilo	13	Andalucita

1	Circón	12	Topacio
2	Turmalina	14	Titanita
3	Monacita	15	Zoicita
4	Granate	16	Augita
5	Biotita	17	Sillimanita
6	Apatito	18	Hiperstena
7	Ilmenita	19	Diópsido
9	Estaurolita	21	Olivino

Tabla3.2. Orden de persistencia de los minerales pesados (Tomado y modificado de Pettijohn, 1975).

El signo negativo (-), determina que la presencia del mineral es más abundante en sedimentos antiguos, que en modernos.

ASOCIACIONES MINERALES	FUENTES
Apatito, Biotita, Circón, Hornblenda, Muscovita, Tutilo, Turmalina (variedad rosada).	Rocas Ígneas Ácidas
Casiterita, Fluorita, Granate, Monacita, Muscovita, Topacio, Turmalina (variedad azul), Wolframita.	Rocas Graníticas
Augita, Cromita, Diópsido, Hipersteno, Ilmenita, Magnetita, Olivino, Pirrotita.	Rocas Ígneas Básicas
Barita, Circón (fragmentos redondeados), Leucoxenos, minerales de Hierro, Rutilo, Turmalina.	Rocas Sedimentarias
Andalucita, Cianita, Cloritoide, Epidoto, Estaurolita, Glaucofano, Granate, Sillimanita, Titanita, Zoisita, Clinozoisita.	Rocas Metamórficas Hidrotermales
Andalucita, Condrita, Corindón, Estaurolita, Flogopita, Granate, Topacio, Vesubiana, Wollastonita, Zoisita.	Rocas Metamórficas de Contacto

Tabla3.3. Asociaciones de minerales pesados y procedencia (Tomado y Modificado de Feo-Codecido, 1960).

Existen una serie de factores de carácter natural, que son los responsables de la poca acumulación de minerales pesados en los sedimentos. Características como la acumulación de minerales pesados en la roca fuente, ya que de la prominencia de minerales que se encuentren en esta, dará como resultado, una mayor o menor disponibilidad de los mismos en los sedimentos generados por procesos de meteorización y transporte. Otro factor importante puede ser el control de la entrada de los minerales pesados a la fuente sedimentaria, o lo que es lo mismo, el marco fisiográfico y climático de área fuente, ya que esto es lo que condiciona los procesos de meteorización, erosión y transporte de la roca fuente (Morton y Hallsworth, 1994; Morton y Hallsworth, 1999).

También es común que los minerales pesados al ser liberados de la roca fuente, sean sometidos a procesos de abrasión y destrucción mecánica durante el transporte, meteorización química, u otros factores, que naturalmente promoverán la disolución y diseminación de algunos minerales, contribuyendo a su escasa proliferación. Sin embargo se debe aclarar que no todos ellos son inestables en cuanto a estos procesos, ya que la vulnerabilidad de un mineral pesado ante las deformaciones que puede traer como consecuencia su transporte y acarreo, proviene de sus características internas de dureza, tenacidad y como están dispuestos sus planos de clivaje (Morton y Hallsworth, 1994; Morton y Hallsworth, 1999).

3.2.15 CAPACIDAD DE MIGRACIÓN DE LOS MINERALES PESADOS

El concepto de capacidad de migración de los minerales se basa en la distancia relativa que puede alcanzar un mineral pesado desde la roca fuente. Son muchos los factores que intervienen para permitir que un mineral sea trasladado de un sitio a otro y generalmente van de la mano con su estabilidad y resistencia. Como ya se había mencionado, uno de los factores más importantes e influyentes para que ocurra migración es la resistencia a la abrasión (estabilidad mecánica o química), sin embargo existen otros factores como la densidad del mineral, coeficiente de

mojabilidad y anisotropía del mineral (García y Martínez, 1992). La Tabla 3.4, indica el nivel de capacidad de migración de algunos minerales pesados.

BAJA	MEDIA	ALTA
Cinabrio	Magnetita	Espinela
Wolframita	Apatito	Ilmenita
Pirita	Esfena	Hematita
Schelita	Almandino	Leucoceno
Olivino	Estauroлита	Topacio
Augita	Anatasa	Rutilo
Hiperstena	Monacita	Turmalina
Baritina	Distena	Platino
Grossularia	Casiterita	Zircón
Fluorita	Andalucita	Corindón
Hornblenda	Oro	Diamante
Diópsido	Limonita	
Columbita		
Actinolita		
Epidota		

Tabla 3.4. Minerales pesados con baja, media y alta capacidad de migración (tomado y modificado de García y Matinez, 1992).

3.2.16 ESTABILIDAD QUÍMICA DE LOS MINERALES PESADOS

La estabilidad química de los minerales pesados, es conocida como estabilidad mecánica o resistencia a la abrasión, y forma parte de los procesos de disolución y de descomposición de los minerales (Pettijohn, 1975).

Varios autores, entre ellos Manger y Maurer (1992), analizaron secuencias de sedimentos del Mar del Norte, así como diversos trabajos vinculados a la estabilidad química de los minerales pesados, establecieron un orden de estabilidad en ambientes geoquímicos, ácidos y básicos. También Pettijhon(1975), observó que, donde era notable la ausencia de minerales pesados, eran en su mayoría sedimentos antiguos, determinó que la causa de esto, es la remoción de minerales inestables por solución de

los estratos y que la edad de dichos minerales pesados en los sedimentos constituye un indicativo dominante de la supervivencia de estos a través del tiempo. Esto último también es conocido como “orden de supervivencia”. La Tabla 3.5, indica en orden decreciente, la resistencia a la alteración química de algunos minerales pesados.

ESCASA	BAJA	ALTA	MUY ALTA
Pirrotina	Wolframita	Almandino	Hematites
Blenda	Schelita	Magnetita	Limonita
Calcopirita	Apatito	Columbita	Topacio
Cinabrio	Grossularia	Esfena	Turmalina
Pirita	Ortita	Sillimanita	Brookita
Olivino	Diopsido	Distena	Anatasa
Aegerina	Actinolita	Baritina	Leucoxeno
Augita	Zoisita	Perosvquita	Rutilo
Biotita	Epidota	Ilmenita	Espinela
Hornblenda	Cloritoide	Xenotima	Platino
	Estauroлита	Monacita	Oro
		Casiterita	Circón
		Andalucita	Corindón
			Diamante

Tabla3.5. Grado de resistencia a la alteración química de algunos minerales pesados (Tomado y modificado de García y Martínez, 1992).

3.2.17 CARACTERÍSTICAS TEXTURALES DE LOS MINERALES PESADOS

Entre las características texturales de los minerales pesados más resaltantes se encuentran las siguientes:

3.2.17.1 ESFERICIDAD

La esfericidad o forma de los granos, se define como el grado en que un clasto se asemeja a una esfera (Fernández.,2014). Esta condición de esfericidad en los granos se atribuye más a sus propiedades físicas y origen, que al medio de transporte y acarreo que han sido sometidos; por ejemplo, los fragmentos cuya roca fuente es de

tipo metamórfico, suelen ser alargados, mientras que los clastos que provienen de rocas ígneas como granitos y mármoles, suelen ser de tipos esféricos (Wadell, 1932).

3.2.17.2 REDONDEZ

La redondez así como la esfericidad, es una característica de los clastos, que dependen mucho de sus propiedades físicas (por ejemplo, los clastos gruesos presentan mayor esfericidad que los clastos finos), sin embargo, otros factores como la intensidad de abrasión a la que fue sometida, también es responsable de atribuir redondez. Ésta se refiere al grado de angulosidad que presentan las aristas y vértices de un clasto, o lo que es lo mismo, la suavidad o lisura de los granos (Wadell, 1932).

Resumiendo estos dos conceptos, se puede decir, que la esfericidad, afecta la velocidad de sedimentación de la partícula y va directamente relacionada a su forma original, la cual puede verse afectada y deformada por ruptura y abrasión durante el transporte, mientras que la redondez, la condiciona el tamaño, tipo de transporte y la distancia relativa desde el desprendimiento de la roca fuente.. La Figura 3.3, muestra la gráfica para determinar esfericidad y redondez de granos.

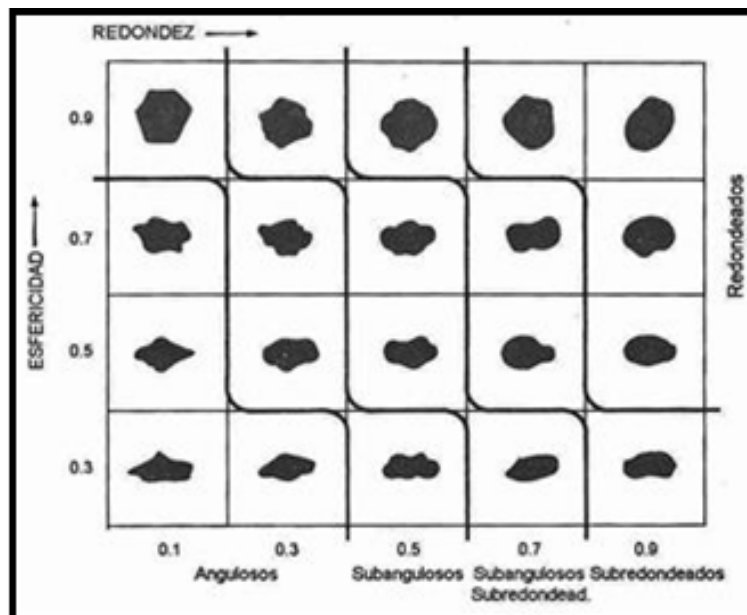


Figura 3.3. Gráfica para determinar la esfericidad y redondez de granos (Tomado y modificado de Krumbein y Sloss, 1955).

3.2.17.3 RASGOS SUPERFICIALES

Los rasgos superficiales que presentan los minerales pesados también son indicativos de su origen, formación y demás procesos naturales a los cuales han sido sometidos. Características muy comunes como las estrías, indican que los clastos pueden ser de origen glacial o en algunos casos clastos fluviales. Las formas curvas de algunos clastos pueden determinar que fueron transportados a altas velocidades, por ríos con gradientes altos, al igual que aquellos cuya superficie presenta microfracturas, puede deberse al impacto que reciben los granos entre ellos producto de esas altas velocidades de los ríos o fuertes vientos en el caso de las tormentas de arenas (Morton y Hallworth, 1994).

Los fragmentos provenientes de esquistos y pizarras, generalmente tienen forma tabular, las rocas isotrópicas como la cuarcita tienen forma equidimensional y subesférica y a medida que estos se alejan de la roca fuente, tienden a hacerse más pequeñas y más redondeadas. En el caso de las micas, estas poseen partículas más densas que el cuarzo, pero hidráulicamente, comparándolas con las partículas de cuarzo tamaño limo, son muy similares. Los minerales que presentan hábito de tipo prismático o esferoidal, se comportan diferente a aquellos con hábito hojoso o laminar (Morton y Hallworth, 1994).

Cabe destacar que todos los datos de los minerales empleados para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, fueron suministrados por los diferentes autores que se mencionan a continuación: Flores 2013, Arcía y Viana 2013, Lezama y Albornóz, 2014, Carmona y González, 2014, López y Uzcátegui, 2014, Figueira y Romero, 2014, Calderón 2015. Dichos autores, trabajaron previamente en la mayor parte de las zonas de estudio de ésta investigación, recolectando las muestras y

realizando todos los procesos de clasificación y separación de minerales. Para las cuencas del Flanco Norandino, Arauca, Santo Domingo y Aparamán, no hay base de datos actualizadas sobre minerales pesados, razón por la cual, estas cuencas no fueron consideradas para el registro de datos de esfericidad y redondez, y mapas de distribución mineralógica.

3.3 METODOLOGÍA

A continuación se describen brevemente la metodología aplicada para cada una de las fases consideradas en este Trabajo Especial de Grado.

3.3.1 RECOPIACIÓN DEL MATERIAL DE TRABAJO

- Recopilación bibliográfica y/o hemerográfica: Libros, tesis, artículos, informes técnicos.
- Recopilación cartográfica: Mapas geológicos, mapas topográficos, mapas de precipitaciones, fotografías aéreas, imágenes de satélites y elevación digital.
- Uso del programa ArcMap 10.0 para delimitar la geometría de cada cuenca a estudiar, drenajes, relieves y otras características de cada cuenca calculadas en este trabajo.
- Uso de la herramienta Model Builder, para determinar índices de erosión y generación de red de drenaje de los ríos.
- Uso del software MatLab R2012a, para realizar el cálculo del coeficiente de autosimilaridad (D) ó Dimensión Fractal, mediante un algoritmo suministrado por el profesor Bermúdez.

3.3.2 TRABAJO DE OFICINA

- Se compilaron mapas geológicos-estructurales, cálculos de tasas de erosión y medidas geomorfológicas cuantitativas de la zona de estudio mediante el programa ArcMap 10.0.
- Se compilaron cálculos de índices de erosión entre otros parámetros a través de la herramienta Model Builder, así como los resultados obtenidos de la Dimensión Fractal a través del software MatLab R2012a.
- Se compilaron los resultados sobre mineralogía, como porcentaje mineral, redondez y esfericidad de las diversas tesis utilizadas para el desarrollo de este trabajo.
- Se realizaron diversos mapas y gráficos de los resultados cuantitativos obtenidos, a través del programa ArcMap 10.0, Excel y otros.
- Se analizaron todos los resultados obtenidos en este trabajo de grado y se obtuvieron sus respectivas conclusiones.

3.3.3 METODOLOGÍA USADA PARA EL CÁLCULO DE ALGUNOS PARÁMETROS, UTILIZANDO ARCMAP 10.0, MODEL BUILDER Y MATLAB R2012A

3.3.3.1 Preprocesamiento del Modelo Digital de Elevación

Los MDE utilizados en este trabajo de investigación, provienen de la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Misión), de la Agencia Espacial Norteamericana (NASA), con una resolución de 90 m. Los modelos de elevación generados, éstos fueron proyectados bajo el sistema de coordenadas mundiales geográficas WGS1984, empleando el software ARCGIS 10.3 (Figueira y Romero, 2014).

3.3.3.2 Proyección del MDE y coberturas vectoriales.

Para definir la proyección en ARCGIS 10.3, se efectuaron los siguientes pasos:

ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations > Define Projection > clic en el botón del lado derecho de *Coordinate System >* clic botón *Select >* seleccionar coordenadas UTM en Datum WGS-84. Es necesario además, que cada capa que se emplee en el estudio tenga el mismo sistema de referencias. En el caso de proyectar “**Capas Vectoriales**”, se procede de la siguiente manera:

ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations Project.

3.3.3.3 Comando FILL (Relleno)

La herramienta “*Fill*”, es muy útil para trabajar con los modelos digitales de elevación, puesto que estos, desde la fuente principal donde se han generado o extraído, pueden contener diversas irregularidades en cuanto a puntos de altura o simplemente algunos cuadros de pixeles que no se han generado de forma correcta. Se utiliza como un procedimiento para rellenar los imperfectos que presente el MDE con la finalidad de que los cuadros o celdas de menor cota, compaginen con los puntos de cotas del terreno que se encuentran en su periferia. Para aplicar la herramienta “*Fill*” se procede de la siguiente forma: *ArcToolbox > Spatial Analyst Tool > Hydrology > Fill* (Flores, 2013).

3.3.3.4 Comando FLOW-DIRECTION (DIRECCIÓN DE FLUJO)

El MED corregido o proyectado es utilizado como entrada para el cálculo de la dirección de flujo, la cual arroja la dirección en la que el agua fluye fuera y

alrededor de cada celda o píxel. La dirección de flujo se determina por la dirección del descenso más empinado, o la caída máxima desde cada celda (Arcía y Viana, 2013). La ecuación para calcularla viene dada por:

$$\text{Máxima caída} = \frac{\text{Cambios en Elevación}}{\text{Distancia}} * 100 \quad (3.9)$$

La distancia es calculada entre los centros de las celdas y si el descenso máximo de varias celdas es el mismo, la vecindad o entorno del píxel se agranda hasta que se encuentre el descenso con mayor pendiente, cuando éste descenso es encontrado, la celda de salida se codifica con el valor representado por dicha dirección (Flores, 2013). Si los elementos cercanos son más altos que la celda de procesamiento, se considerará un ruido que se rellena con el valor más bajo de los elementos próximos y tiene una dirección de flujo hacia esta celda. En el caso de que se encuentre un área no registrada por el DEM, ya sea que no haya sido mapeada o simplemente no se tenga datos, este no se rellena, puesto que la información del vecino no es suficiente (Flores, 2013).

3.3.3.5 Comando FLOW ACCUMULATION (ACUMULACIÓN DE FLUJO)

Esta importante herramienta de ArcGis 10.3, se utiliza comúnmente para calcular el número de celdas que contribuyen con la acumulación de fluidos, para una ubicación en particular. Para calcular la acumulación de flujo (Flow Accumulation), es necesario utilizar la dirección de flujo (flow direction), explicada anteriormente en este mismo capítulo, puesto que en el recuadro que ArcGis 10.3 emplea para el cálculo de la acumulación de flujo, exige en un campo que se coloque la dirección de flujo. Esta herramienta se encuentra en la siguiente ruta: *ArcToolbox > Spatial Analyst-Tools > Hydrology > Flow Accumulation*

3.3.3.6 Comando *STREAM-ORDER* Determinación de la red de drenaje

La clasificación de drenaje consiste en asignar un orden numérico a los vínculos de una red fluvial (Flores, 2013). Es de gran importancia, sobre todo para determinar importantes características que presenta el drenaje. Existen dos métodos característicos, para la clasificación del drenaje por medio de ArcGis, uno es a través de Strahler y el otro es la versión de Shreve (Flores, 2013) El método usado en este trabajo fue el de Strahler que se describe a continuación:

Método de Strahler: En este los vínculos sin afluentes poseen el orden 1 y se les conoce como drenaje de primer orden. A medida que los drenajes de mismo orden se van interceptando va aumentando el nivel de orden, de modo que la intersección de dos drenajes de primer orden, crearán un vínculo de segundo orden y así sucesivamente, caso que no afecta cuando se intercepten dos vínculos de orden distintos. Éste método es el más usado para la clasificación de drenaje, sin embargo como desventaja se tiene que, al encargarse únicamente de incrementar los vínculos de mismo orden, no abarca todos los vínculos que se encuentran en la zona, por lo tanto es susceptible a la desaparición y remoción de vínculos (Calderón, 2015).

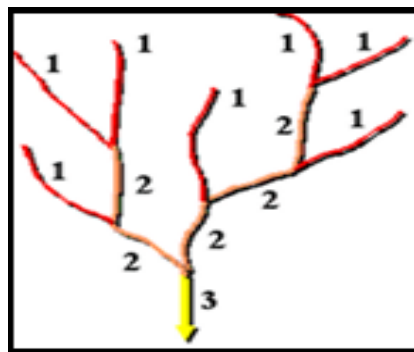


Figura 3. 4. Método de clasificación de drenaje Strahler (Tomado de Flores, 2013).

3.3.3.7 Comando *WATERSHED* – Delimitación de cuencas hidrográficas

Una cuenca hidrográfica, es el espacio de naturaleza cóncava que contribuye al paso del flujo de agua, hacia una salida común como un drenaje concentrado, que pueden ser parte de una cuenca hidrográfica más grande o puede estar formada por un conjunto de cuencas denominadas subcuencas (Calderón, 2015).

Para definir los límites de las cuencas hidrográficas, es necesario emplear, primeramente la herramienta de relleno (fill), que corrige la zona y además emplear la dirección de flujo (flow-direction), por último se emplea la herramienta de cuenca hidrográfica (watershed). A partir de aquí, se introducen los puntos de muestreo tomados en campo, para determinar el área de la cuenca. Otro método es utilizando un umbral de acumulación de flujo, donde los puntos de fluidez para la cuenca hidrográfica, serán los cruces de una red de drenaje derivados de la acumulación de flujo (Flores, 2013). Estos procedimientos, generan un resultado, que equivale a las diferentes subcuencas hidrográficas.

3.3.3.8 ANÁLISIS MORFOMÉTRICOS DE LAS CUENCAS

Para realizar el análisis hidrológico en ArcMap 10.3, es necesario determinar un conjunto de características y propiedades que posea la cuenca o las cuencas de estudio (Bermúdez et al., 2013). Para la elaboración de este trabajo se determinaron los parámetros mencionados a continuación:

Parámetros de la Cuenca:

- Área(A)
- Perímetro(P)
- Longitud(L)
- Ancho(W)
- Altura máxima(H)
- Altura mínima(h)
- Pendiente media

3.3.3.9 ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE CUENCAS

Un análisis hidrológico de una zona de estudio, implica determinar o calcular diversas propiedades o características como la red de drenaje, atributos del terreno como, índices de humedad, tasas de erosión a partir de la precipitación, detallar los sumideros, cálculo de la dirección de flujo, acumulación de flujo, delinear cuencas hidrográficas, entre otros. Generalmente con el programa ArcMap 10.3 es posible el cálculo de estas y otras propiedades, a través del uso de un modelo digital de elevación, aplicando un conjunto de herramientas que posee este software (Calderón, 2015).

3.3.3.10 CÁLCULO DEL RELIEVE

Para calcular el relieve se parte de la diferencia entre dos rasters, el primer raster es el que indica los mayores puntos de cotas en un radio variable (en este trabajo se calculan los relieves en radios de 1Km, 3Km, 5Km y 7Km) y el segundo raster es el determinado por el MED del área de trabajo (Bermúdez et al., 2013). La siguiente ecuación muestra como calcular el relieve total.

$$R = Hr - h$$

Donde: H_r = Relieve calculado en un radio determinado.

h = Relieve obtenido del MDE del área de estudio.

3.3.3.11 DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE EROSIÓN EMPLEANDO LA HERRAMIENTA MODEL BUILDER

Para explicar el procedimiento realizado con respecto al uso del programa Python en este trabajo, se utilizará una de las zonas estudiadas a manera de ejemplo.

Tomando la zona del Flanco Norandino, se asume que el valor del coeficiente de erosión k , es uniforme ($K=1$) y partiendo del MED, representativo de esta zona (DEM_Flanconorandino), se comienza por aplicar la herramienta fill (relleno), para eliminar desperfectos y uniformizar el área. Una vez obtenido el producto de salida (DEM_Flanco_Norandino_fill), este se emplea para integrarlo en el campo de entrada de la herramienta del ArcMap 10.3 para calcular la dirección de flujo (Flow-Direction), cuyo producto o salida generada, será la entrada para generar la acumulación de flujo (Flow-Accumulation). El recuadro que emplea ArcMap 10.3 para generar la dirección de acumulación de flujo, posee un campo opcional, donde se puede considerar como peso la precipitación del área de estudio (PREC_Flanco_norandino), ya es de parte del usuario, dependiendo de los objetivos que desee alcanzar, si incluirá los datos en este campo o no, en este caso fue incluido, puesto que uno de los objetivos era determinar el efecto de la precipitación y litología en la zona. El producto obtenido referente a la acumulación de flujo, se multiplica utilizando la herramienta “times”, por el área que de la celda, generando una imagen cuyos pixeles son la representación del área acumulada para el área de estudio (area_flanco_norandino_acc_prec). Los pasos anteriores concluyen en la generación de una imagen digital que corresponde al factor A_s . A través de la herramienta “Model Builder”, esta parte del cálculo se esquematiza en la figura (3.5).

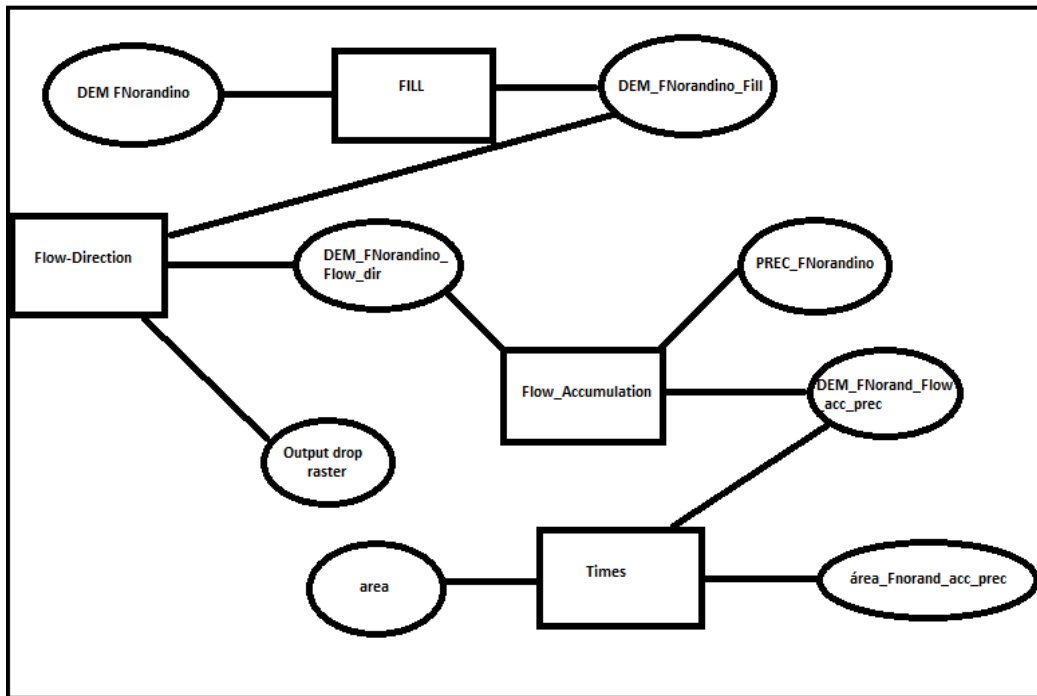


Figura 3.5. Diagrama de flujo del Model Builder (Herramienta de ArcMap, para el cálculo del índice de erosión TSP) (Elaboración Propia).

Luego de obtener el A_s , se debe calcular la pendiente adimensional, por lo que se utiliza el comando Pendiente (slope), para obtener el factor S de la ecuación. Cabe destacar que al ser un valor sin dimensiones, el que queremos obtener, se debe multiplicar el valor de la pendiente (slope) encontrada por 0,01, ya que ArcMap arroja valores en porcentajes.

Una vez que se hayan calculado los factores A_s y S , se procede a elevarlos a los coeficientes $m=n=1$ para el caso de TSP; $m=0.5$, $n=1$ para USP u $m=0.33$, $n=0.67$ para el SSP, luego se ejecuta el producto. La figura 3.5, muestra el sistema esquematizado para el cálculo de SSP del Flanco Norandino.

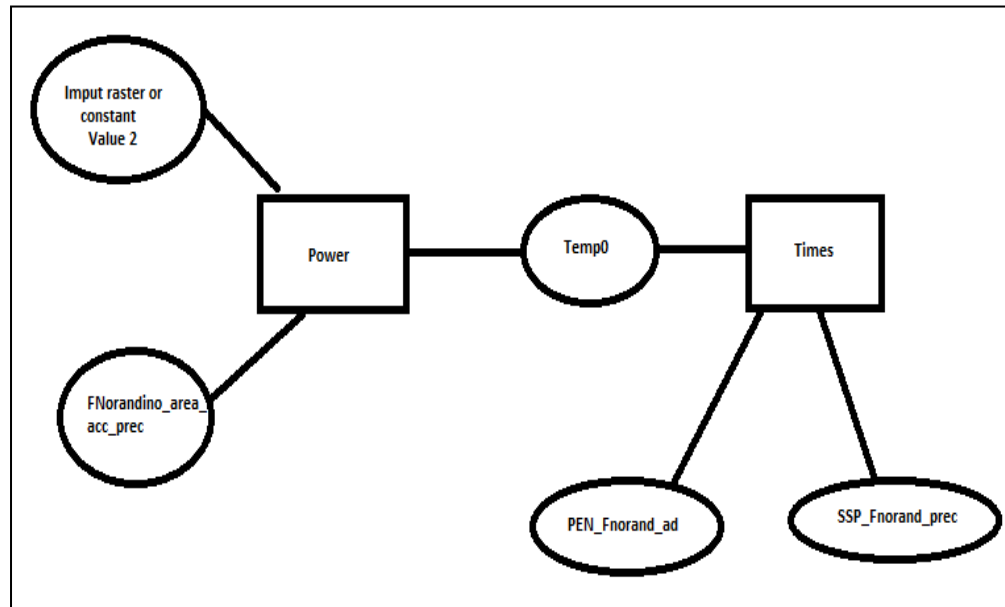


Figura 3.6. Diagrama de flujo del Model Builder (Herramienta de ArcMap para el cálculo del índice de erosión SSP) (Elaboración propia).

3.3.3.12 GENERANDO LA RED DE DRENAJE Y ÓRDENES DE LOS RÍOS

Para realizar este cálculo a partir del MED, se utiliza la representación del área de flujo acumulada (Flow-accumulation), con o sin precipitación, que para efectos del ejemplo utilizado es “area_FNorandino_acc_prec”, a esta imagen se le aplica la función logaritmo en base 10 (\log_{10}), y así se genera un producto denominado “DEM_FNorandino_log10”. Este producto generado, tiene la finalidad de uniformizar los valores, para una mejor representación de red de drenaje. Luego se le aplica el comando *Condicional* (Con), para determinar el grado de densidad de la red de drenaje, produciendo un mapa binario, en donde los valores que cumplan las condiciones sean iguales a 1 y los que no, sean iguales a 0. A esta imagen binaria se le extrae la red de drenaje a través del comando Stream Order (ArcGis exige la implementación de la dirección de flujo en unos de sus campos, para el cálculo de Stream Order), obteniendo como producto la imagen “DEM_FNorandino_strahler”, para luego ser transformada de formato raster a formato vectorial mediante el

comando “Stream to Feature”, produciendo finalmente el drenaje. La figura 3.7, presenta en forma de diagrama de flujo (según la herramienta Model Builder), los pasos para el cálculo de drenaje.

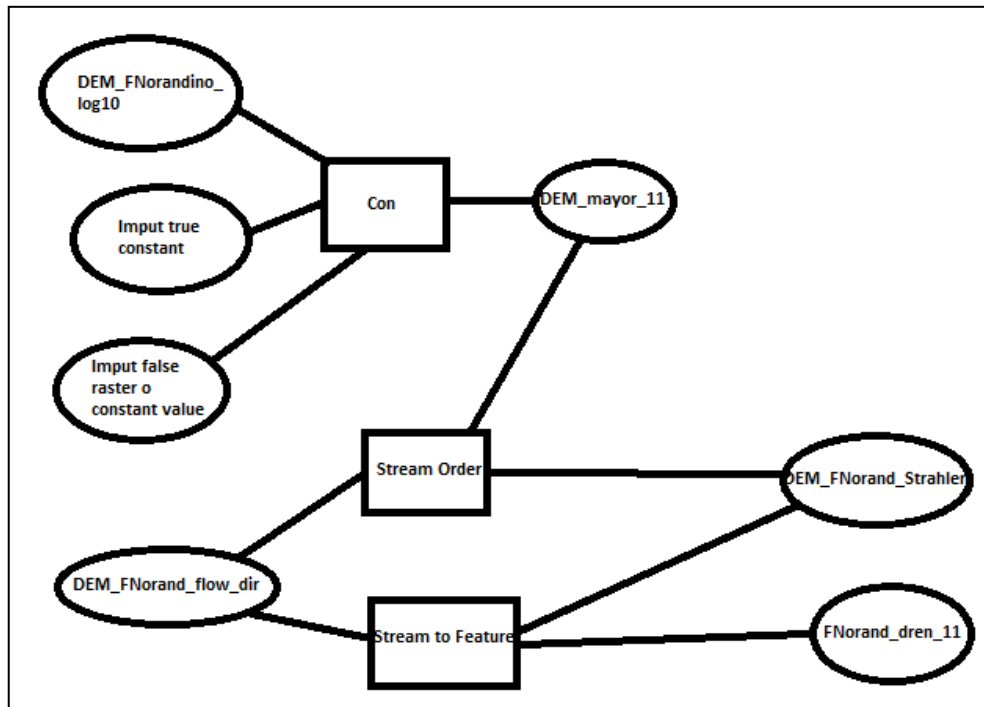


Figura 3.7. Diagrama de flujo empleado para el cálculo de drenaje, en particular se muestra el caso del Flanco Norandino (Elaboracion propia).

3.3.3.13 CÁLCULO DE LA DIMENSIÓN FRACTAL, MEDIANTE UNA RUTINA EN MATLAB R2012a

Matlab R2012a y sus demás versiones es un lenguaje técnico matemático de alto nivel, con el que se puede implementar desarrollo de algoritmos, análisis de datos y cálculo numéricos, es un programa con el que se pueden resolver problemas de cálculo técnico, de forma más rápida y efectiva que con programas más antiguos, como C, C++ y FORTRAN (www.Intercambiosvirtuales.org).

Entre sus características principales se encuentran:

- Lenguaje de alto nivel para el cálculo técnico.
- Entorno de desarrollo para la gestión de códigos, archivos y datos.
- Herramientas interactivas para exploración, diseño y resolución de problemas iterativos.
- Funciones matemáticas para álgebra lineal, estadística, análisis de Fourier, filtraje, optimización e integración numérica.
- Funciones gráficas para visualización de datos en formato 2d y 3d, entre otras (www.Intercambiosvirtuales.org).

Para realizar el cálculo de la dimensión fractal en este trabajo de grado, se implementó un algoritmo tipo conteo de cajas (“box-counting”), facilitado por el profesor Bermúdez, el cual es el siguiente:

```

1 %DIMENSION FRACTAL DE CUENCAS
2 %CUENCAS:
3 % 1)Cuenca Flanco Norte
4 CFN=imread('Cuenca Flanco Norte.tif');
5 image(CFN)
6 colormap gray
7 tamaño=size(CFN)
8 i = CFN(1:tamaño(1) , 1:tamaño(2), 1);
9 biCFN = (i<100);
10 imagesc(biCFN)
11 colormap gray
12 axis image
13 figure
14 [n,r] = boxcount(biCFN,'slope');
15 dfCFN = -diff(log(n))./diff(log(r));
16 disp(['Fractal dimension CFN, Df = ' num2str(mean(dfCFN(4:8))) ' +/- ' num2str(std(dfCFN(4:8)))]);
17 annotation('textbox', [.4 .4 .1 .1], 'String', ...
    ['Dimensión fractal de CFN es: ' num2str(mean(dfCFN(4:8))) ' +/- '
num2str(std(dfCFN(4:8)))]);

```

En la línea 4 del código anterior (CFN=imread('Cuenca Flanco Norte.tif'); se coloca la imagen del drenaje de la cuenca Flanco Norte en formato tif que arroja ArcMap, luego se le agregan datos y características.

CAPITULO IV

4 RESULTADOS

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestran los diferentes resultados obtenidos durante el desarrollo de la presente investigación. Primeramente se presentaran los valores de precipitación, área, pendiente, elevación de las cuencas, luego los índices de humedad, índices de transporte de sedimentos, los valores obtenidos del coeficiente de erodabilidad (k), integral hipsométrica, índices de erosión, dimensión fractal, porcentaje mineral, esfericidad, redondez y variabilidad mineralógica. Estos resultados serán presentados en orden para cada sector que pertenece a la zona de estudio.

4.2 FLANCO NORANDINO Y FLANCO SURANDINO

A continuación se presentan los valores promedios de área, elevación, pendiente y precipitación acumulada para las cuencas de estos dos flancos de los Andes Venezolanos, lo que nos da una caracterización de estas cuencas a través de estos atributos.

4.2.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, ELEVACIÓN Y PENDIENTE FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

La figura 4.1 muestra la distribución de la precipitación para las cuencas de interés en el flanco norandino y el flanco surandino.

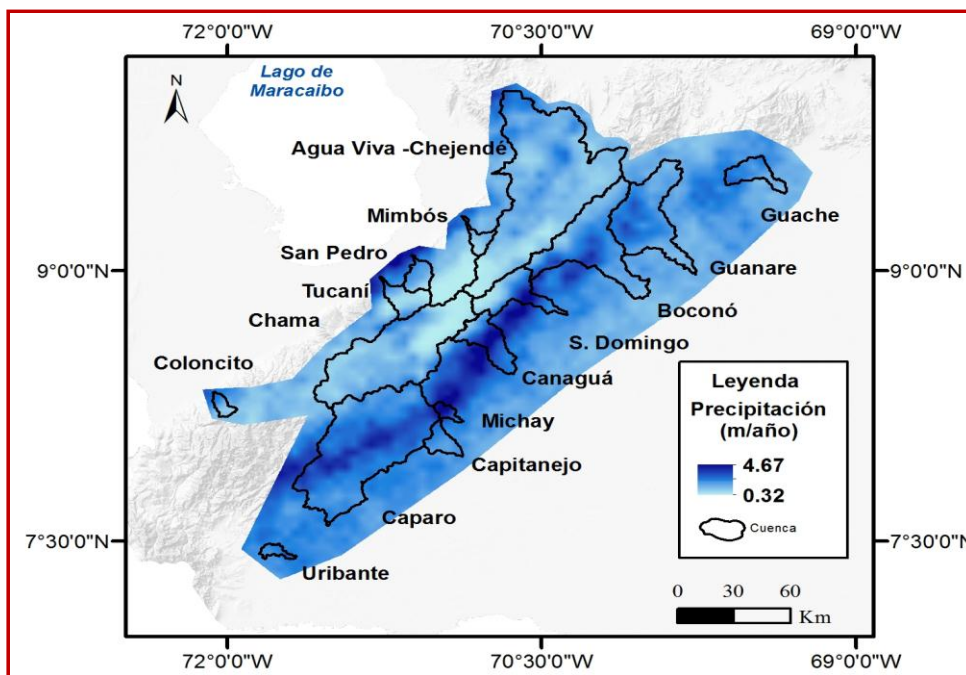


Figura 4.1. Precipitaciones anuales promedio derivado del modelo **TRMM 2B31** para el período 1998-2009 (Bookhagen, 2010).Flanco norandino y flanco surandino.

Tomando en cuenta que la precipitación fue el factor climático empleado para el análisis, donde los cálculos para determinar los índices de erosión, índices de humedad e índices de transporte, incluso el estudio de la correlación se trabajó con la tasa de precipitación promedio acumulada (metros) obtenida del período 1998-2009 registrada por el sensor TRMM y compilados por el Dr. Bookhagen (2010). Para el flanco norandino, se observa que AguaViva-Chejendé es la cuenca que recibe mayor precipitación con $(1,07\text{m}\pm 0,46)$, seguida por las cuencas Coloncito $(0,98\text{m}\pm 0,08)$, Mimbós $(0,90\text{m}\pm 0,02)$, Chama $(0,89\text{m}\pm 0,48)$, Tucaní $(0,80\text{m}\pm 0,05)$ y San Pedro $(0,77\text{m}\pm 0,01)$. Para el caso del flanco surandino la cuenca con mayor precipitación es Michay $(3,60\text{m}\pm 0,71)$, seguida por las cuencas Canaguá $(2,60\text{m}\pm 1,03)$, Caparó $(2,41\text{m}\pm 0,59)$, Uribante $(2,07\text{m}\pm 0,23)$, Santo Domingo $(1,91\text{m}\pm 0,54)$, Capitanejo $(1,84\text{m}\pm 0,32)$, Guanare $(1,82\text{m}\pm 0,51)$, Guache $(1,81\text{m}\pm 0,43)$ y Boconó $(1,56\text{m}\pm 0,70)$. Estos valores se muestran en la tabla 4.1.

Las cuencas estudiadas en el flanco norandino presentan el área siguiente en orden decreciente: AguaViva-Chejendé $(4519,39 \text{ km}^2)$, Chama $(2640,38\text{km}^2)$, Tucani

(331,11km²), San Pedro (223,99km²), Mimbós (149,26km²) y Coloncito (102,94km²). Para el flanco surandino, el área de cada cuenca en orden decreciente es el siguiente: Caparo (3329,83km²), Boconó (1639,00km²), Guanare (1414, 92km²), Santo Domingo (613,57km²), Canaguá (522,57km²), Guache (329,43km²), Capitanejo (223,83km²), Michay (92,57km²) y Uribante (92,10km²).

En cuanto a los valores de pendiente, para el flanco norandino, las cuencas van de mayor a menor valor en el siguiente orden: Tucaní (54,88°±21,36), Mimbós (49,25°±20,65), San Pedro (46,06°±21,13), Chama (43,22°±18,91), Coloncito (40,86°±21,33) y AguaViva-Chejendé (29,54°±19,84). Para el flanco surandino, el mayor valor de pendiente la tiene Santo Domingo (42,35°±20,85), le siguen Michay (22,36°±8,68), Canaguá (21,96°±11,05), Caparo (19,42°±9,62), Guache (15,07°±7,62), Guanare (14,93°±8,36), Capitanejo (10,38°±9,08), Boconó (0,73°±0,67) y por ultimo Uribante (0,73°±0,67).

Con respecto a los valores de elevación, en el flanco surandino las cuencas poseen de mayor a menor los siguientes valores: Tucaní (2629,09m±1021,4), Chama (2621,90m±962,93), Mimbós (1920,11m±880,71), San Pedro (1570,63m±721,99), Coloncito (1332,05m±706,15), AguaViva-Chejendé (1288,18m±978,43). Para el flanco surandino, en orden decreciente se encuentran los siguientes valores de elevación: Santo Domingo (2563,44m±1007,24), Canaguá (1981,59m±1301,44), Caparo (1279,65m±784,81), Michay (1063,59m±502,05), Guanare (1011,00m±533), Guache (951,01m±408,71), Boconó (909,52m±136,53m), Capitanejo (441,00m±329) y Uribante (198,66m±7). La tabla 4.1, muestra los resultados de área, pendiente y elevación de las cuencas estudiadas en el flanco norandino y flanco surandino.

FLANCO NORANDINO							
Cuenca	Precipitación(m)		Área Km ²	Pendiente(°)		Elevación (m)	
	Media	D.e		Media	D.e	Media	D.e
Agua V.	1,07	0,46	4519,39	29,54	19,84	1288,18	978,43
Coloncito	0,98	0,08	102,94	40,86	21,33	1332,05	706,15
Mimbós	0,9	0,02	149,26	49,25	20,65	1920,11	880,71
Tucaní	0,8	0,05	331,11	54,88	21,36	2629,09	1021,4

San Pedro	0,77	0,01	223,99	46,06	21,13	1570,63	721,99
Chama	0,89	0,48	2640,38	43,22	18,91	2621,9	962,93
FLANCO SURANDINO							
Cuenca	Precipitación(m)		Área Km ²	Pendiente(°)		Elevación (m)	
	Media	D.e		Media	D.e	Media	D.e
Boconó	1,56	0,70	1639	17,92	9,31	909,52	136,53
Canaguá	2,60	1,03	522,57	21,96	11,05	1981,59	1301,44
Caparo	2,41	0,59	3329,83	19,42	9,62	1279,65	784,81
Capitanejo	1,84	0,32	223,83	10,38	9,08	441	329
Guache	1,81	0,43	329,43	15,07	7,62	951,01	408,71
Guanare	1,82	0,51	1414,92	14,93	8,36	1011	533
Michay	3,60	0,71	92,57	22,36	8,68	1063,59	502,05
S.Domingo	1,91	0,54	613,57	42,35	20,85	2563,44	1007,24
Uribante	2,07	0,23	92,1	0,73	0,67	198,66	7,00
Arauca	1,56	0,64	60680,10	4,59	8,92	397,23	690,03
Apure	1,44	0,58	122931,55	4,79	8,15	380,52	577,60

Tabla 4.1. Valores de precipitación y parámetros morfométricos de las cuencas de interés en el flanco norandino y el flanco surandino. Media= Valor promedio calculado. D.e =Desviación Estándar.

4.2.2 RELIEVE FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

El cálculo de relieve para ambos flancos se realizó empleando radios de envolvente de 1km, 3km, 5km y 7km, con el objetivo de tomar una visión del relieve desde una escala más local a una regional.

FLANCO NORANDINO																				
Cuencas	Relieve 1 km					Relieve 3 km					Relieve 5 km					Relieve 7 km				
	Min	Max	Media	D.e	Max/a	Min	Max	Media	D.e	Max/a	Min	Max	Media	D.e	Max/a	Min	Max	Media	D.e	Max/a
Coloncito	0	815	327	162	7,95	0	159 3	750	306	15,6	0	201 8	1121	333	19,7	58	443 8	1415	375	43,3
Chama	0	893	317	136	0,33	0	175 8	710	308	0,66	0	258 5	978	431	0,97	0	302 8	1167	544	1,14
Tucani	0	887	394	161	2,67	0	182 3	810	354	5,5	0	218 4	1109	464	6,59	0	252 4	1314	573	7,62
San Pedro	0	825	327	143	3,75	0	139 6	727	253	6,35	0	180 9	1054	287	8,23	0	226 2	1316	343	10,3
Mimbós	0	876	362	157	6,05	0	160 7	795	336	11,1	0	206 1	1138	446	14,3	0	252 8	1372	534	17,5
Agua V	0	815	218	139	0,18	0	159 3	489	290	0,35	0	201 8	688	371	0,44	0	235 8	844	431	0,52
FLANCO SURANDINO																				
Cuencas	Relieve 1 km					Relieve 3 km					Relieve 5 km					Relieve 7 km				
	Min	Max	Media	D.e	Max/a	Min	Max	Media	D.e	Max/a	Min	Max	Media	D.e	Max/a	Min	Max	Media	D.e	Max/a
Uribante	0	20	9,75	4,2 5	0,21	0	25	14,9	3,9 5	0,27	1	92	18,8	4,1 7	0,9	6	129	29,9	22, 1	1,4
Caparo	0	958	303	159	0,28	0	152 6	588	283	0,45	0	231 2	834	387	0,69	0	243 4	1009	431	0,73
Capitanejo	0	568	284	49, 5	2,53	0	104 3	313	233	4,65	0	150 3	472	292	6,7	0	163 7	640	332	7,3
Michay	0	842	345	162	9,09	2	139 5	691	263	15,1	2	165 7	1035	286	17,9	372	192 2	1336	280	20,8
Canaguá	0	1063	333	194	2,03	0	194 1	655	359	3,71	36	239 9	991	493	4,58	67	268 7	1258	585	5,13
StoDomingo	0	951	318	154	1,57	0	190 3	680	345	3,15	0	222 4	918	433	3,68	0	251 5	1055	501	4,16
Boconó	0	952	280	157	0,58	0	173 2	586	297	1,05	0	209 0	812	405	1,27	0	240 0	971	488	1,46
Guanare	0	806	228	120	0,56	0	147 8	504	254	1,04	0	207 6	694	349	1,46	0	237 5	894	403	1,67

Guache	0	667	230	114	2,02	0	$\frac{112}{2}$	491	220	3,41	0	$\frac{139}{8}$	657	282	4,24	0	$\frac{143}{4}$	758	297	4,35
Apure	0	1014	70,2	119	0,01	0	$\frac{194}{1}$	148	244	0,02	0	$\frac{235}{0}$	208	331	0,02	0	$\frac{265}{0}$	260	400	0,02
Arauca	0	1014	67,7	133	0,02	0	$\frac{194}{1}$	141	274	0,03	0	$\frac{235}{0}$	195	373	0,04	0	$\frac{262}{1}$	243	453	0,04

Tabla 4.2. Relieve de 1km, 3km, 5km y 7km y relieve máximo para cada radio dividido entre el área de cada cuenca para el flanco norandino y el flanco surandino. Min=valor mínimo; Max=valor máximo; media=valor promedio; D.e= Desviación Estándar; Max/a= v

Es necesario acotar que al dividir cualquier propiedad calculada (en este caso el relieve) entre el área de cada cuenca, permite una distribución uniforme del resultado obtenido en cada una de ellas, lo que hace más fácil comparar una cuenca con sus cuencas vecinas. En el caso del flanco norandino, la tabla 4.2 muestra que los valores de relieve máximo dividido entre el área de cada cuenca son los siguientes: Para el relieve a 1km de radio, se tiene que la cuenca con mayor relieve relativo a sus cuencas vecinas es Coloncito (7,95m; menor área), siguiendo las cuencas Mimbós (6,05m), San Pedro (3,75m), Tucaní (2,67m), Chama (0,33m) y AguaViva-Chejendé (0,18m; mayor área). Para el relieve de 3km de radio, se tiene Coloncito (15,6m), Mimbós (11,1m), San Pedro (6,35m), Tucaní (5,5m), Chama (0,66m) y AguaViva-Chejendé (0,35m). Para el relieve de 5km de radio, se tiene Coloncito (19,7m), Mimbós (14,3m), San Pedro (8,23m), Tucaní (6,59m), Chama (0,97m) y AguaViva-Chejendé (0,44m). Por último para el relieve a 7km de radio se tiene a Coloncito (43,3m), Mimbós (17,5m), San Pedro (10,3m), Tucaní (7,62m), Chama (1,14m) y AguaViva-Chejendé (0,52m).

Para el flanco surandino los valores de relieve máximo, dividido entre el área de cada cuenca son los siguientes: Para el relieve a 1km de radio se tiene el mayor valor para la cuenca del río Michay (9,09m), luego le sigue Capitanejo (2,53m), Guache (2,02m), Canaguá (2,03m), Boconó (0,58m; mayor área), Santo Domingo (1,57m), Guanare (0,56m), Caparo (0,28m) y Uribante (0,21m; menor área). Siguiendo con el relieve a 3km de radio se tiene a Michay (15,1m), Capitanejo (4,56m), Canaguá (3,71m), Guache (3,41m), Santo Domingo (3,15m), Boconó (1,05m), Guanare (1,04m), Caparo (0,45m) y Uribante (0,27m). Para el relieve a 5km de radio se tiene a Michay (17,9m), Capitanejo (6,7m), Canaguá (4,58m), Guache (4,24m), Santo Domingo (3,68m), Guanare (1,46m), Boconó (1,27m), Uribante (0,90m) y Caparo (0,69m). Por último para el relieve a 7km de radio se tiene Michay (20,8m), Capitanejo (7,3m), Canaguá (5,13m), Santo Domingo (4,13m), Guache (4,35m), Guanare (1,67m), Boconó (1,46m), Uribante (1,40m) y Caparo (0,73m). La

figura 4.3 muestra imágenes del relieve en envolventes de radio de 1km y 7km para el flanco norandino y el flanco surandino.

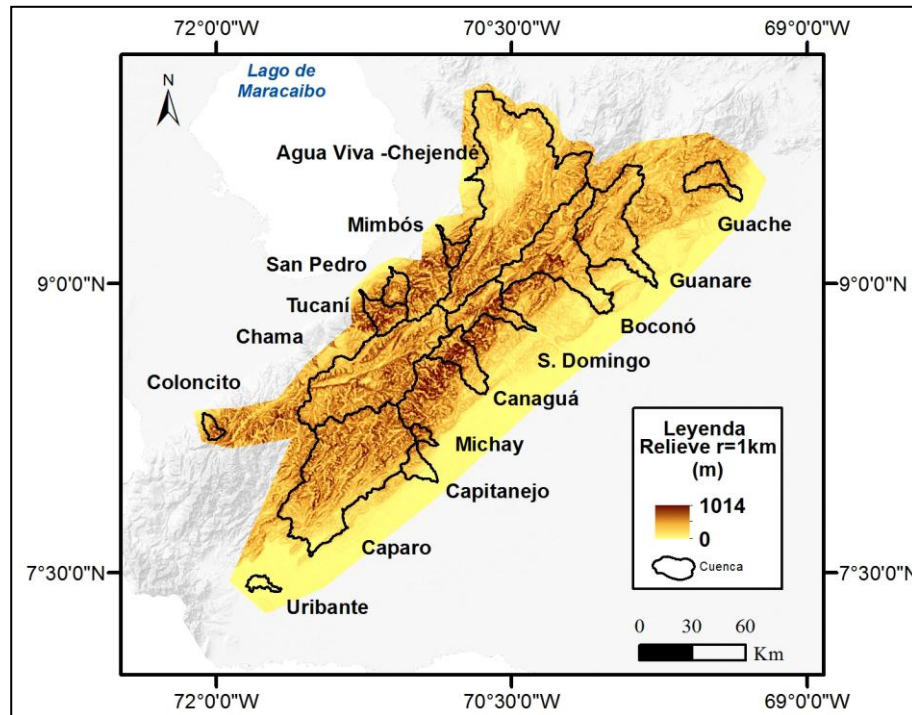


Figura 4.2. Relieve para el flanco norandino y el flanco surandino, con radio de envolvente de 1km.

4.2.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

La tabla 4.3, muestra los valores de integral hipsométrica para cada una de las cuencas y el valor promedio de integral hipsométrica para el flanco norandino y el flanco surandino.

FLANCO NORANDINO			FLANCO SURANDINO		
Cuenca	HI	Prom.HI	Cuenca	HI	Prom. HI
AguaViva-Ch	0,30	0,45	Boconó	0,41	0,32

Coloncito	0,41		Canaguá	0,40
Mimbós	0,50		Caparo	0,32
Tucaní	0,59		Capitanejo	0,21
San Pedro	0,39		Guache	0,41
Chama	0,52		Guanare	0,32
			Michay	0,42
			S.Domingo	0,50
			Uribante	0,49

Tabla 4.3. Valores de integral hipsométrica y promedio total para el flanco norandino y el flanco surandino.

A continuación se muestran las gráficas con el valor de la integral hipsométrica generadas a través del “Ad-in” CalHypso producido por Pérez-Peña et al., (2009). Disponible en <http://servidorgeodin.urg.es/arpa/index.php/calhypso-para-arcgis-10-1/>.

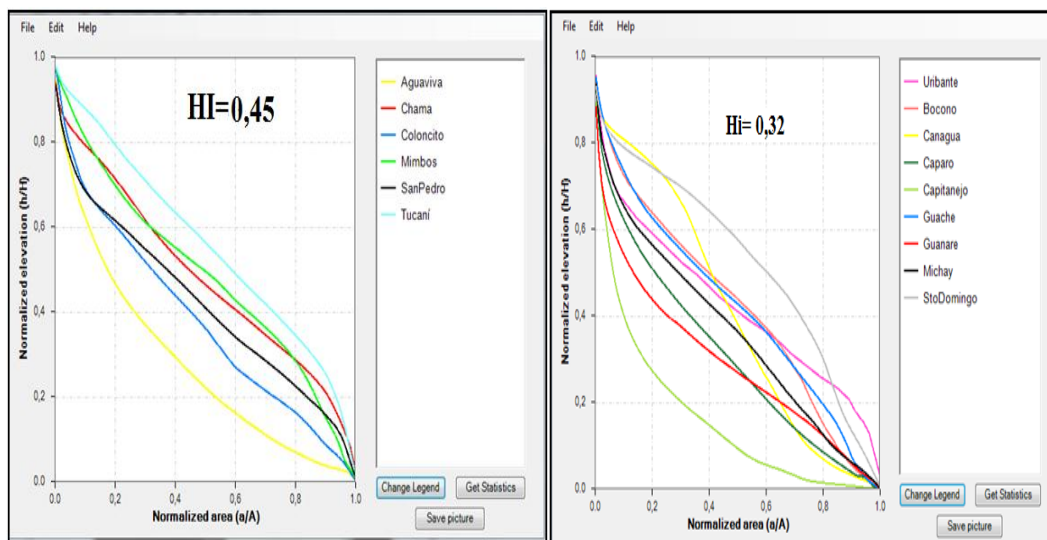


Figura 4.3. Comparación valores H_i para las cuencas de interés en el flanco norandino (Izq) y flanco surandino (Der).

4.2.4 ÍNDICES DE HUMEDAD E ÍNDICES DE TRANSPORTE FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

El cálculo de los índices de humedad se realiza a través de la ecuación $W_i = \ln(A_s / \tan S)$, donde A_s es el área de drenaje y S la pendiente (valor adimensional). Este índice para todas las zonas que conforman el área de estudio fue calculado sin precipitación (índice de humedad teórico. W_i) y con precipitación (índice de humedad variable. W_{ip}), en este último caso fueron considerados los valores de precipitación registrados por el sensor TRMM (período 1998-2009). La tabla 4.5, incluye los valores de índices de humedad teóricos y variables para ambos flancos. En cuanto al flanco norandino, el mayor valor de W_i , lo tiene la cuenca Coloncito (0,10), siguiendo la cuenca Mimbós (0,07), San Pedro (0,04), Tucaní (0,03), Chama (0,004) y AguaViva-Ch (0,002). Para los índices de humedad W_{ip} , sigue el mismo patrón, con Coloncito (0,13), Mimbós (0,06), San Pedro (0,04), Tucaní (0,01), AguaViva-Ch(0,003) y Chama(0,004).

En cuanto a los índices de humedad para el flanco surandino, el mayor valor de W_i lo tiene la cuenca Uribante (0,17), le sigue Michay (0,12), Capitanejo (0,06), Guache (0,04), Canaguá (0,02), Santo Domingo (0,02), Boconó (0,01), Guanare (0,01) y Caparo (0,004). Para los valores de W_{ip} , se tiene nuevamente a Uribante (0,33) con el mayor valor y le siguen las cuencas Michay (0,26), Boconó (0,09), Capitanejo (0,08), Guache (0,05), Canaguá (0,02), Guanare (0,01), Santo Domingo (0,01) y Caparo (0,006).

Los índices de transporte de sedimentos se utilizan para estimar el potencial topográfico para la erosión, por medio de una expresión que representa el cambio en la capacidad de transporte de sedimentos en la dirección de flujo. Dicho índice se calcula por medio de la ecuación $STI = 2 \times (A_s / 22,13) \times (\text{Sen}(S) / 0,0896)$, donde A_s es el área del drenaje y S la pendiente. A partir de los índices de transporte de

sedimentos se toma en cuenta el coeficiente de erodabilidad (K), por lo que dicho índice práctico y los índices de erosión prácticos que se calcularan para este trabajo de grado incluirán a la precipitación y al coeficiente de erodabilidad.

Con respecto a los valores de índice de transporte de sedimentos para ambos flancos, los cuales también se encuentran en la tabla 4.5, se observa que para el flanco norandino el índice de transporte teórico (STI) mayor lo tiene la cuenca Mimbós (87609,47), le sigue Coloncito (60857,63), Tucaní (56799,25), San Pedro (41130,7), Chama (9633, 25) y AguaViva-Ch (2736, 96). Para los valores de índices de transporte variables (STI_{PK}), el mayor valor lo tiene la cuenca Mimbós (69623,14), le sigue Coloncito (57608), Tucaní (44336,26), San Pedro (44124,24), Chama (8568,83) y AguaViva-Ch (2331,83). Siguiendo con los valores de STI para el flanco surandino, se tiene que la cuenca con mayor valor es Michay (1266,73), le sigue Santo Domingo (641,13), Canaguá (600,09), Guache (551,56), Boconó (263,04), Caparo (208,56), Capitanejo (188,92), Uribante (119,99) y Guanare (107,96). Por último los valores de STI_{PK} para el flanco surandino muestran que el mayor valor lo tiene la cuenca Michay (5182, 85), Canaguá (1440, 54), Guache (1157,30), Santo Domingo (966,31), Capitanejo (429,18), Boconó (465,28), Capitanejo (419,28), Uribante (250,08) y Guanare (218,43). La tabla 4.4 muestra los valores de índices de humedad teóricos y prácticos, así como los valores de índices de transporte teóricos y prácticos, para ambos flancos.

FLANCO NORANDINO								
Cuenca	WI		WI _p		STI		STI _p	
	Media/a	D.e/a	Media/a	D.e/a	Media/a	D.e/a	Media/a	D.e/a
Agua V	0,002	5,73E-04	0,004	0,001	2736,96	44744,13	2331,83	39117,22
Coloncito	0,10	0,02	0,13	0,09	60857,63	340115,6	57108,71	298942,97
Mimbos	0,07	0,01	0,06	0,04	87609,47	581840,34	69623,14	466246,68
Tucaní	0,03	0,01	0,01	0,01	56799,25	56799,25	44336,26	429332,24
San Pedro	0,04	0,01	0,04	0,01	41130,7	261938,7	44124,24	287542,21
Chama	0,004	0,001	0,003	9,66E-04	9633,25	157907,42	8568,83	144624,97
FLANCO SURANDINO								
Cuenca	WI		WI _p		STI		STI _p	
	Media/a	D.e/a	Media/a	D.e/a	Media/a	D.e/a	Media/a	D.e/a
Boconó	0,01	0,001	0,09	0,005	263,04	4859,68	465,28	8428,19
Canaguá	0,02	0,004	0,02	0,01	600,09	7085,59	1440,54	17384,06
Caparo	0,004	0,001	0,006	0,002	208,56	3785,44	522,30	9609,27
Capitane	0,06	0,01	0,08	0,05	188,92	1143,01	419,28	2695,56

Guache	0,04	0,01	0,05	0,02	551,56	551,56	1157,30	12124,52
Guanare	0,01	0,002	0,01	0,006	107,96	1134,35	218,43	2379,32
Michay	0,12	0,02	0,26	0,06	1266,73	8492,94	5182,85	35127,10
S.Domingo	0,02	0,004	0,01	0,01	641,13	8181,72	966,31	12135,37
Uribante	0,17	0,03	0,33	0,07	119,99	944,68	250,08	1994,45

Tabla 4.4. Valores de WI, WIP, STI y STIPK para el flanco norandino y el flanco surandino. Media= Valor promedio calculado; a=área de la cuenca; D.e= Desviación Estándar.

La figura 4.4 muestra imágenes de los índices de humedad teóricos y variables para el flanco norandino y el flanco surandino.

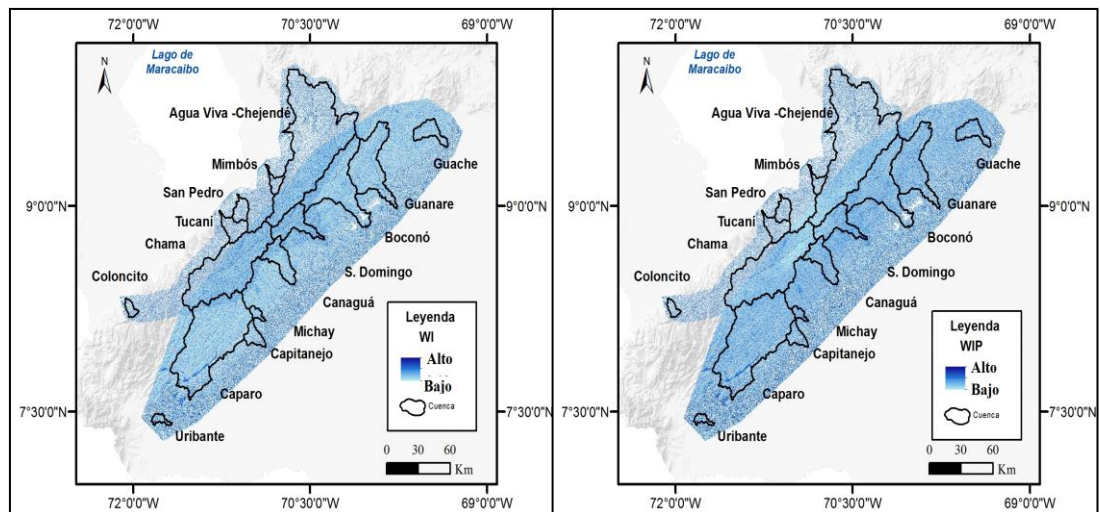


Figura 4.4. Imágenes de WI y WIP para el flanco norandino y el flanco surandino de los Andes Venezolanos.

La figura 4.5 muestra imágenes de los índices de transporte teóricos y prácticos para los flancos norandino y surandino Venezolanos.

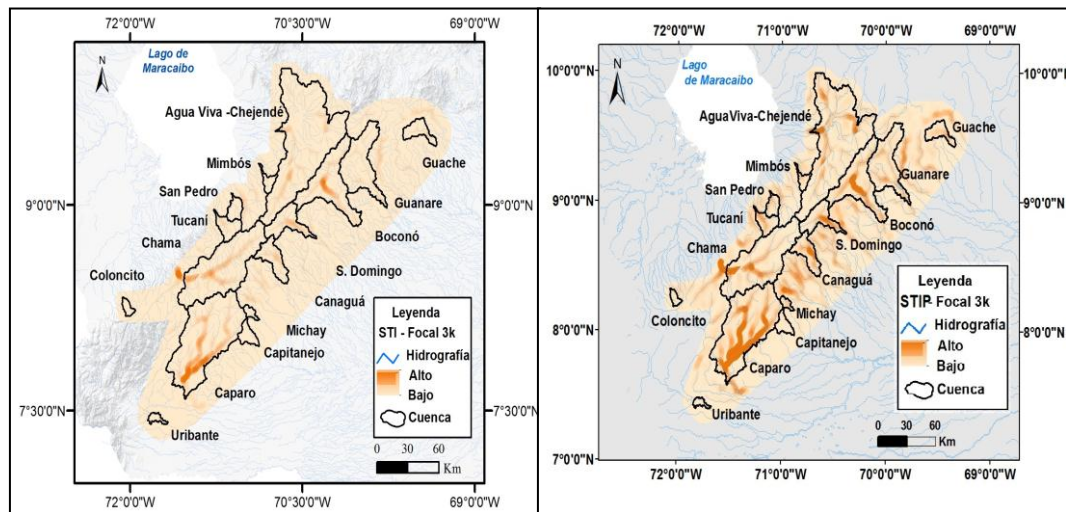


Figura 4.5. Imágen de STI y STI_P para el flanco norandino y surandino.

4.2.5 DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA (KM²) QUE OCUPAN LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE ERODABILIDAD (K) EN EL FLANCO NORANDINO Y FLANCO SURANDINO

En este trabajo de grado se calcularon los valores de los índices de erosión de forma teórica, donde la precipitación (P) y el coeficiente de erodabilidad (k), se consideran uniformes y también se realizaron los cálculos de estos mismos índices de forma práctica, donde la precipitación y el coeficiente de erodabilidad se consideran variables. Para esto, es necesario destacar la importancia a del factor de erodabilidad (k), que se relaciona directamente con la litología (Whipple, 2004).

Ambalagan et al., (2008), quien creó un mapa de deslizamiento, asignó valores de coeficiente de erodabilidad a cada tipo de roca, siendo para el material sedimentario $k= 2$, para el material metamórfico $k= 0,6$ y para el material ígneo $k=0,3$. En los diferentes estudios relacionados directamente con este trabajo (Bermúdez et al., 2013, López y Uzcátegui, 2014, Carmona y González, 2014, Figueira y Romero, 2014, Flores, 2013, Arcía y Viana, 2013, Lezama y Albornoz, 2014 y Calderón, 2015), el coeficiente de erodabilidad fue considerado como un valor uniforme ($k=1$) para todas las cuencas, de manera que dicho valor englobe toda la litología que se presenta en cada zona, justificando este hecho, debido a que las condiciones

geológicas y geográficas en general son muy similares para cada uno de los sectores estudiados. Sin embargo para este trabajo de grado se considera el coeficiente de erodabilidad como un coeficiente variable, asignando los valores correspondientes de acuerdo al tipo de roca en cada cuenca con el objetivo de complementar la información obtenida de los estudios anteriores.

Para determinar con mayor exactitud, los tipos de roca que condicionan cada cuenca, se realizó una distribución a través de ArcMap, tomando como referencia el mapa geológico del Servicio Geológico de los Estados Unidos para Venezuela (Hackley et al.,2005). La tabla 4.5, muestra el material o tipo de roca que predomina para las cuencas de interés del flanco norandino y el flanco surandino. En algunas cuencas se da el caso que hay zonas donde no se conocen los valores, debido al alcance de información del mapa, por lo que se colocó como valor desconocido.

FLANCO NORANDINO				
Cuenca	Área en Km 2			
	Ignea K	Metam K	Sedi K	Desco K
Aguaviche	156,83	0	4274,33	91,99
Coloncito	43,42	0	59,26	0
Mimbos	4,38	110,73	34,14	0
Tucaní	250,7	62,6	17,57	0
San Pedro	125,85	25,63	72,38	0
Chama	183,1	1368,96	1085,76	0
FLANCO SURANDINO				
Cuenca	Área en Km 2			
	Ignea K	Metam K	Sedi K	Desco K
Boconó	0	866,2	773,47	0
Canaguá	61,22	300,46	160,71	0
Caparo	586,93	125,7	2589,06	23,34
Capitanejo	3,25	83,45	136,92	0
Guache	20,73	85,19	223,89	0
Guanare	0	341,3	1074,62	0
Michay	2,3	1,92	88,3	0
Sto Domingo	448,17	0	0	165,31
Uribante	0	0	82,8	9,09

Tabla 4.5. Distribución del área en km², de acuerdo a la litología (Ignea K = Ignea, Metam K = Metamórfica, Sedi K = Sedimentaria, Desco K = Desconocido) para las cuencas estudiadas en ambos flancos de los Andes Venezolanos.

4.2.6 ÍNDICES DE EROSIÓN FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

Los índices de erosión son tres tipos: TSP: índice de poder de flujo total, USP: índice de poder de flujo unitario y SSP: índice de poder de flujo de cizalla. En este trabajo de grado el cálculo para estos índices se realizó de manera teórica (TSP, USP, SSP), donde la precipitación (P) y el coeficiente de erodabilidad (k) se consideran uniformes y de manera práctica (TSP_{PK} , USP_{PK} y SSP_{PK}), donde P y K se consideran variables. La tabla 4.6, muestra los resultados de los índices de erosión para el flanco norandino y el flanco surandino.

FLANCO NORANDINO												
Cuenca	TSP		USP		SSP		TSP _{PK}		USP _{PK}		SSP _{PK}	
	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a
AguaV	47,9	789,97	0,014	0,036	0,002	0,003	97,38	1519,1	0,025	0,06	0,004	0,006
Coloncit	1075,56	5944,59	0,8	1,24	0,14	0,14	1349,18	10162,	0,99	1,97	0,18	0,24
Mimbos	1548,08	10198,8	0,71	1,3	0,11	0,12	1253,94	7014,2	0,55	0,99	0,09	0,09
Tucaní	1011,00	9917,8	0,36	0,81	0,06	0,06	696,26	6654,8	0,27	0,64	0,02	0,03
San Pedro	727,7	4599,52	0,40	0,74	0,06	0,07	670,52	4342,4	0,36	0,63	0,06	0,06
Chama	169,37	2766,7	0,04	0,10	0,01	0,01	230,47	4344,5	0,043	0,15	0,006	0,01
FLANCO SURANDINO												
Cuenca	TSP		USP		SSP		TSP _{PK}		USP _{PK}		SSP _{PK}	
	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a
Boconó	226,35	4161,07	0,05	0,15	0,01	0,01	0,07	1,43	8,79E-04	0,004	6,16E-04	0,001
Canagu	551,12	6219,26	178000,00	48031,84	30235,18	39420,56	0,16	1,87	0,003	0,01	0,002	0,003
Caparo	121,02	2006,1	24300,00	7387,76	4324,55	5766,06	0,10	63813,6	7,78E-04	0,004	4,84E-04	8,35E-04
Capitan	181,38	1103,51	0,14	0,29	0,03	0,04	0,07	0,44	0,003	0,01	0,003	0,01
Guache	482,65	5160,42	0,18	0,41	0,04	0,04	0,24	2,73	0,004	0,01	0,003	0,005
Guanar	102,47	1060,13	0,04	0,08	0,01	0,01	0,05	0,55	0,001	0,003	8,20E-04	0,001
Michay	1220,69	7605,05	909581,94	140434,27	92,57	169601,38	92,57	8,26	0,04	0,07	0,03	0,03
S.Domi	644,13	8234,21	0,16	0,45	0,03	0,03	0,13	1,80	0,002	0,01	0,001	0,02
Uribante	16178,06	161780,67	28447,34	10206,30	13246,47	2584,15	0,05	0,43	0,001	0,004	0,002	0,003

Tabla 4.6. Índices de erosión teóricos y no teóricos (con Prec. y k) para el flanco norandino y el flanco surandino.

Los valores de índices de erosión teóricos para el flanco norandino son los siguientes: El mayor valor de TSP, lo posee la cuenca Mimbós (10548,08±10198,8), le sigue Coloncito (1075,56±5944,59), Tucaní (1011,00±9917,8), San Pedro (727,70±4599,52), Chama (169,37±2766,70) y Aguaviva-Chejendé (47,90±789,97). Los valores de USP son: Coloncito (0,80±1,24), Mimbós (0,71±1,30), San Pedro (0,40±0,74), Tucaní (0,36±0,81), Chama (0,04±0,10) y Aguaviva-Chejendé (0,01±0,03). Para los valores de SSP en el Flanco Norandino se tiene: Coloncito (0,14±0,14), luego Mimbós (0,11±0,12), San Pedro (0,06±0,07), Tucaní (0,06±0,06), Chama(0,01±0,01) y Aguaviva-Chejendé(0,002±0,003). Con respecto a los valores de índices de erosión prácticos, tenemos: El índice TSPpk: Coloncito (1648,82±10162,75), Mimbós (10684,82±7014,27), Tucaní (96,26±6654,86), San Pedro (670,52±4342,47), Chama (230,47±4344,55) y Aguaviva-Chejendé (89,20±1519,18). Para el índice USPpk, se tiene a Coloncito (0,99±1,97), Mimbós (0,55±0,99), San Pedro (0,36±0,63), Tucaní (0,27±0,64), Chama (0,043±0,15) y Aguaviva-Chejendé (0,025±0,06). Por último el índice SSPpk: Coloncito (0,18±0,24), Mimbós (0,09±0,09), San Pedro (0,06±0,06), Tucaní (0,02±0,03), Chama(0,006±0,01) y Aguaviva-Chejendé(0,004±0,006).

Siguiendo con los índices de erosión teóricos pero ahora para el flanco surandino se tiene: Los valores de TSP son: Uribante(16178,08±161780,67), Michay(1220,69±7605,05), Santo Domingo(644,13±8234,21), Canaguá(551,12±6219,26), Guache(482,65±5160,42), Boconó(226,35±4161,07), Capitanejo(181,38±1103,51), Caparo(121,02±2006,10), Guanare(102,47±1060,13). Para los valores de USP, se tiene: Michay(909581,94±140434,27), Canaguá(178000,00±48031,84), Uribante(28447,34±10206,30) y Caparo(24300,00±7387,76), Guache(0,18±0,41), Santo Domingo(0,16±0,45), Capitanejo(0,14±0,29), Boconó(0,05±0,15), Guanare(0,04±0,08). Con respecto a el índice SSP: Canaguá(30235,18±39420,56), Uribante(13246,47±2584,15), Caparo(4324,55±5766,06), Michay(92,57±169601,38), Guache(0,04±0,04), Capitanejo(0,03±0,04), Santo Domingo(0,03±0,03), Boconó(0,01±0,01),

Guanare(0,01±0,01). En cuanto a los índices de erosión prácticos tenemos: Con respecto a los valores de TSPpk, se tienen: Michay(92,57±8,26) ,Guache(0,24±2,37), Canaguá(0,16±1,87), Santo Domingo(0,13±1,80), Caparo(0,10±63813,67), Capitanejo(0,07±0,44), Boconó(0,07±1,43), Guanare(0,05±0,55) y Uribante(0,05±0,43). Para USPpk, se tiene : Michay (0,04±0,07), Guache (0,004±0,01), Capitanejo (0,003±0,01), Canaguá (0,003±0,01), Santo Domingo (0,002±0,01), Uribante (0,001±0,004), Guanare(0,001±0,004), Boconó (8,79E-4), Caparo (7,78E-4), y por último para los SSPpk: Michay(0,03±0,03), Capitanejo(0,003±0,01), Guache(0,003±0,005), Canaguá(0,002±0,003), Uribante(0,002±0,003), Santo Domingo(0,001±0,02), Guanare(8,20E-4±0,001), Boconó(6,16E-4±0,001), Caparo(4,84E-4±8,35E-4). Los mapas de índices de erosión teóricos para ambos flancos se observan en la figura 4.6.

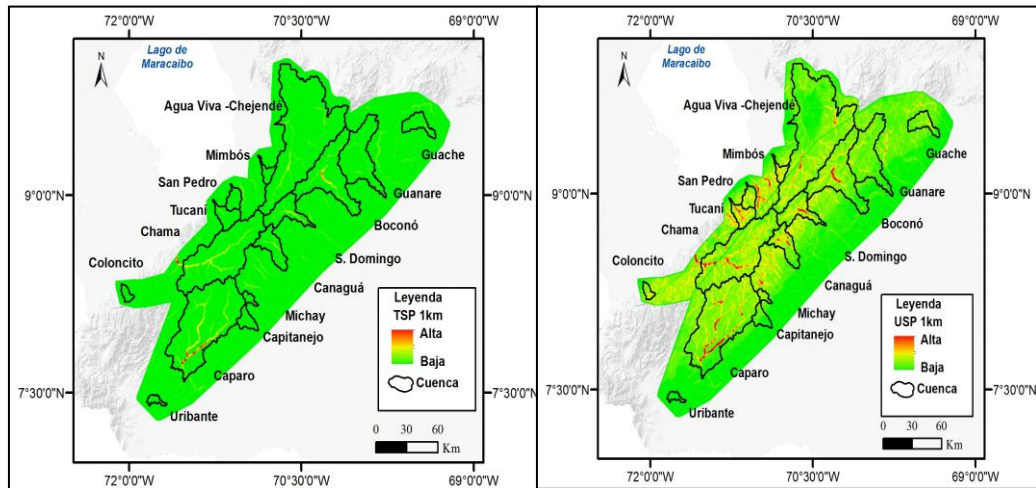


Figura 4.6. Imagen TSP. Flancos norandino y surandino y USP. Flancos norandino y surandino.

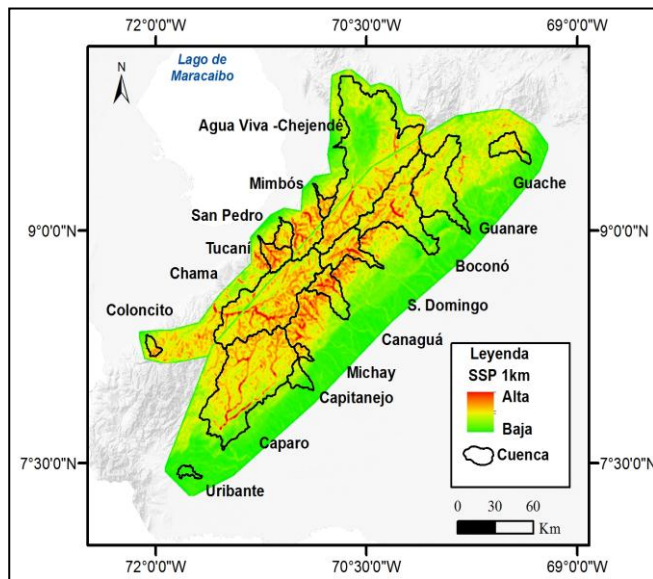


Figura 4.7. Imagen SSP. Flancos norandino y surandino.

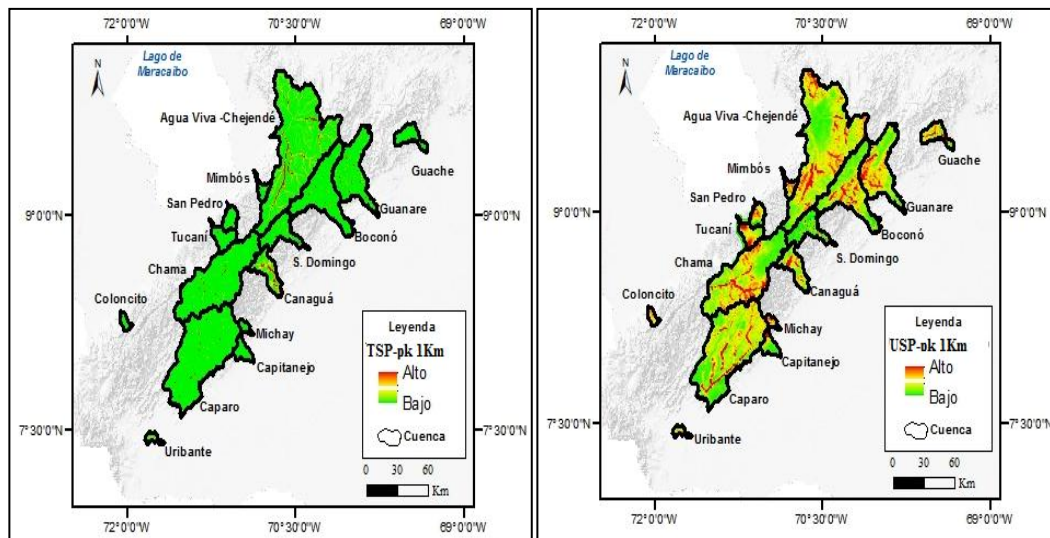


Figura 4.8. Imagen TSP-pk. Flanco norandino y surandino y USP-pk. Flanco norandino y surandino .

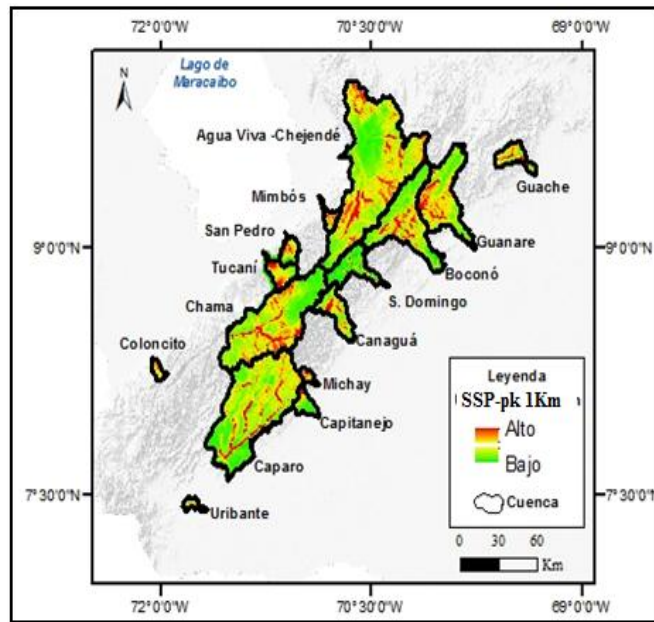


Figura 4.9. Imagen USP-pk Flanco norandino y surandino.

4.2.7 ESTUDIO DE LA DIMENSIÓN FRACTAL. FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

El estudio de la dimensión fractal para todas las cuencas de interés en la zona de estudio, se realizó calculando el coeficiente de D (coeficiente de dimensión fractal) para cada cuenca por medio del software MATLAB. El coeficiente de D ayuda a establecer diferencias entre los procesos controladores del relieve que estén ocurriendo en una zona determinada, por medio de la autosimilaridad. La tabla 4.7, muestra los valores de la dimensión fractal D, para las cuencas de interés en el flanco norandino y surandino.

FLANCO NORANDINO			FLANCO SURANDINO		
Cuenca	D.F	Desv.Est.	Cuenca	D.F	Desv.Est.
Agua Viva-Ch	1,61	0,20	Boconó	1,48	0,18

Coloncito	1,22	0,16	Canaguá	1,58	0,23
Mimbós	1,28	0,19	Caparo	1,60	0,2
Tucaní	1,34	0,23	Capitanejo	1,55	0,21
San Pedro	1,36	0,20	Guache	1,89	0,17
Chama	1,34	0,23	Guanare	1,59	0,19
			Michay	1,64	0,21
			S.Domingo	1,46	0,11
			Uribante	1,63	0,18

Tabla 4.7. Valores de dimensión fractal D para las cuencas del flanco norandino y el flanco surandino. D.F=Coeficiente de Dimensión Fractal (autosimilaridad) y Desv.Est.=Desviación Estandar.

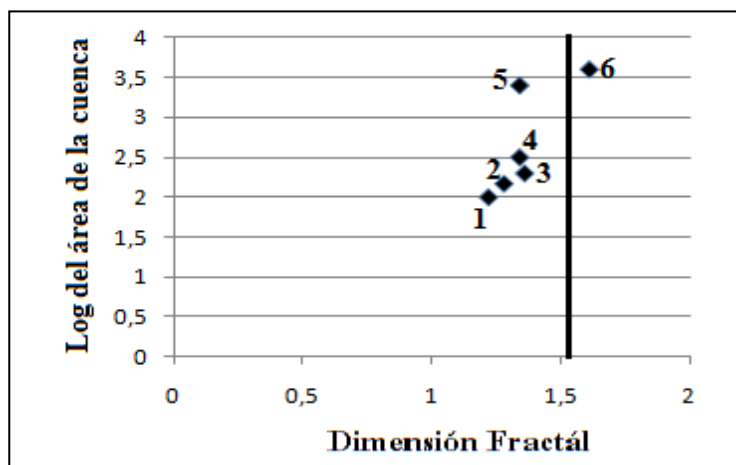


Figura 4.10. Grupos de cuencas de acuerdo al coeficiente de autosimilaridad para el flanco norandino. 1) Coloncito, 2) Mimbós, 3) San Pedro, 4) Tucaní, 5) Chama, 6) AguaViva-Chejendé.

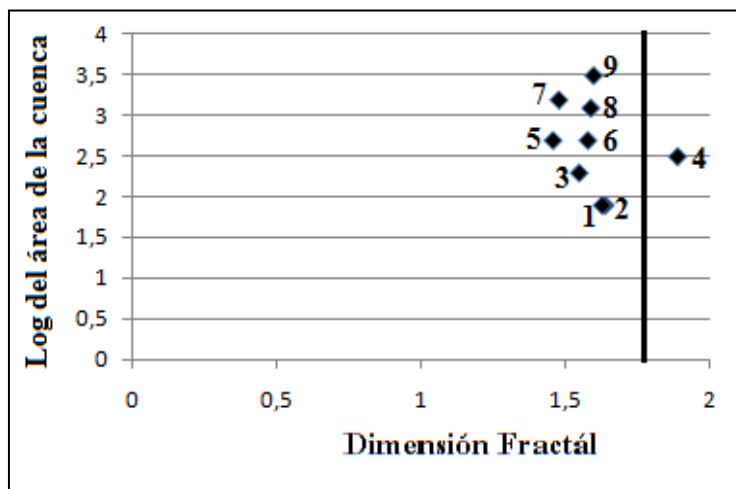


Figura 4.11. Grupos de cuencas de acuerdo al coeficiente de autosimilaridad para el flanco surandino. 1)Uribante, 2) Michay, 3) Capitanejo, 4)Guache, 5) Santo Domingo, 6) Canaguá, 7)Guanare,8) Boconó, 9) Caparo.

4.2.8 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD MINERALÓGICA. FLANCO SURANDINO

Esta sección del trabajo muestra los valores de esfericidad y redondez, el porcentaje mineral y los mapas de distribución (variabilidad mineralógica) de las muestras tomadas en el área de estudio. Se excluyen el Flanco Norandino, la cuenca Arauca, Santo Domingo y Aparamán, puesto que actualmente el proyecto Geociencia Integral de los Andes de Mérida (G.U.I.A.M.E.), no han analizado los minerales pesados para esas zonas. Estos datos fueron extraídos de trabajos de grados anteriores, realizados por diferentes tesis (Arcía y Viana (2013), Flores (2013), Carmona y González (2014), López y Uzcátegui (2014), Figueira y Romero (2014), Lezama y Albornoz (2014), Calderón (2015)) , del Laboratorio de Termocronología de la UCV, en conjunto con el Profesor Mauricio Bermúdez, los cuales analizaron las muestras por medio de varios procesos de separación, microscopía electrónica de barrido, entre otros, para determinar el tipo de mineral y su cantidad porcentual existente y a través del Software Image J generaron los parámetros de esfericidad y

redondez, para luego ser comparados visualmente a través de la tabla de Esfericidad y Redondez de Krumbein y Sloss (1945).

4.2.8.1 VALORES DE ESFERICIDAD, REDONDEZ Y PORCENTAJE MINERAL. FLANCO SURANDINO

La tabla 4.8, muestra los valores de porcentaje mineral presente en cada una de las cuencas estudiadas en el flanco surandino, a excepción de Santo Domingo.

PORCENTAJE MINERAL. FLANCO SURANDINO										
Cuencas	Apatit o	Circó n	Cuarz o	Cuprit a	Monacit a	Óxido s	Rutil o	Sillimanit a	Topaci o	Desconocid o
Guache	49	29	0	0	0	0	1	21	0	0
Guanare	32	35	0	0	0	0	0	33	0	0
Boconó	18,18	9,09	27,27	0	18,18	0	27,27	0	0	0
Canaguá	26,92	18	0	4	0	6	3	7	0	0
Michay	10,61	25,96	17,28	0	0	29,81	3,85	0	1,92	10,58
Capitanej o	28	46	0	0	1	0	10	15	0	0
Caparo	20,87	58,24	0	0	0	2,19	17,58	1,09	0	0
Uribante	4,96	27,27	4,13	0	0	50,41	0,83	0	0	12,4

Tabla 4.8. Porcentaje mineral existentes en las cuencas del flanco surandino con respecto a las muestras tomadas. Fuente: Arcía y Viana (2013); Carmona y González (2014); Figueira y Romero (2014).

La figura 4.12 muestra en diagramas de tortas los resultados de la tabla 4.8.

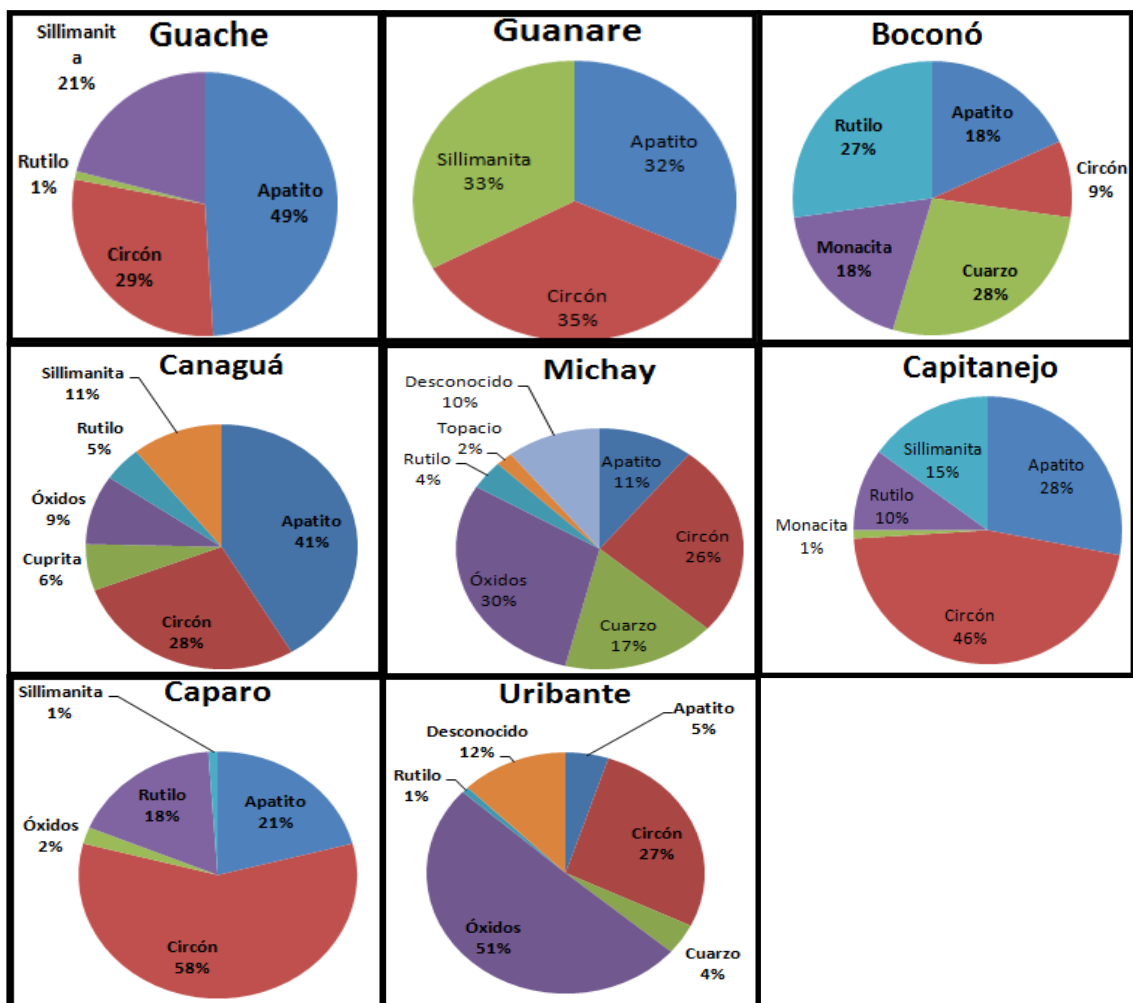


Figura 4.12. Porcentaje mineral representado en diagramas de torta para las cuencas pertenecientes al flanco surandino.

La tabla 4.8, muestra que para las cuencas estudiadas en este sector, los minerales de mayor presencia son Apatito, Circón, Rutilo (excepto en la cuenca Guanare) y Sillimanita (excepto en las cuencas Boconó y Uribante). Otros minerales como Cuarzo, Cuprita, Monacita, óxidos no identificados y Topacio, se encuentran en algunas cuencas con poco porcentaje existencial.

La tabla 4.9, muestra los valores de esfericidad promedio de las muestras tomadas para las cuencas de interés.

ESFERICIDAD. FLANCO SURANDINO										
Cuencas	Apatito	Circón	Cuarzo	Cuprita	Monacita	Óxidos	Rutilo	Sillimanita	Topacio	Desconocido
Guache	0,802	0,79	0	0	0	0	0,891	0,758	0	0
Guanare	0,796	0,817	0	0	0	0	0	0,757	0	0
Boconó	Promedio total de esfericidad para esta cuenca= 0,70									
Canaguá	0,788	0,747	0	0,77	0	0,79	0,801	0,765	0	0
Michay	0,758	0,765	0,817	0	0	0,776	0,816	0	0,769	0,785
Capitanejo	0,801	0,791	0	0	0	0	0,749	0,799	0	0
Caparo	0,784	0,774	0	0	0	0,835	0,766	0,738	0	0
Uribante	0,803	0,787	0,793	0	0	0,809	0,833	0	0	0,828

Tabla 4.9. Tabla de valores de esfericidad para las cuencas de interés del flanco surandino. Fuente: Arcía y Viana(2013), Carmona y González (2014), Figueira y Romero (2014).

La tabla 4.9, muestra los valores de esfericidad para los minerales presentes en las cuencas del flanco surandino, donde se observa que cada mineral posee altos valores de esfericidad. Con respecto a la cuenca Boconó, no se puede establecer un valor para cada mineral, puesto que los datos obtenidos presentan un promedio general de esfericidad para esta cuenca, sin embargo el promedio general indica alta esfericidad.

La tabla 4.10, muestra los valores de redondez promedio de las muestras tomadas en las cuencas de interés del flanco surandino.

REDONDEZ. FLANCO SURANDINO										
Cuencas	Apatito	Circón	Cuarzo	Cuprita	Monacita	Óxidos	Rutilo	Sillimanita	Topacio	Desconocido
Guache	0,748	0,699	0	0	0	0	0,442	0,677	0	0
Guanare	0,731	0,755	0	0	0	0	0	0,696	0	0
Boconó	Promedio total de redondez para esta cuenca= 0,34									
Canaguá	0,694	0,676	0	0,68	0	0,695	0,738	0,672	0	0
Michay	0,694	0,725	0,794	0	0	0,747	0,78	0	0,647	0,793
Capitanejo	0,709	0,662	0	0	0	0	0,638	0,758	0	0
Caparo	0,662	0,718	0	0	0	0,743	0,753	0,552	0	0
Uribante	0,774	0,667	0,729	0	0	0,775	0,821	0	0	0,779

Tabla 4.10. Valores de redondez para las cuencas estudiadas en el flanco surandino, a excepción de Santo Domingo. Fuente: Arcía y Viana (2013), Carmona y González (2014) y Figueira y Romero (2014).

La tabla 4.10, muestra los valores de redondez para los minerales presentes en las cuencas de interés en el flanco surandino, donde se observa que el Apatito se

encuentra en un parámetro de redondeada a bien redondeada, al igual que el Circón y la Sillimanita. Otros minerales como el cuarzo que sólo se encuentra en Michay y Uribante presentan muy buena redondez, así como la mayoría de los óxidos encontrados y los minerales que no se pudieron identificar. El Rutilo, presenta un rango que va de subredondeado a bien redondeado, y la Cuprita y el Topacio, que se presentan en las cuencas Canaguá y Michay respectivamente presentan buena redondez.

4.1.8.2 MAPA DE VARIABILIDAD MINERALÓGICA. FLANCO SURANDINO

La figura 4.13, muestra el mapa de variabilidad mineralógica para las cuencas Guache, Guanare, Boconó y Canaguá. Los puntos negros indican la zona donde fueron recogidas las muestras de cada cuenca.

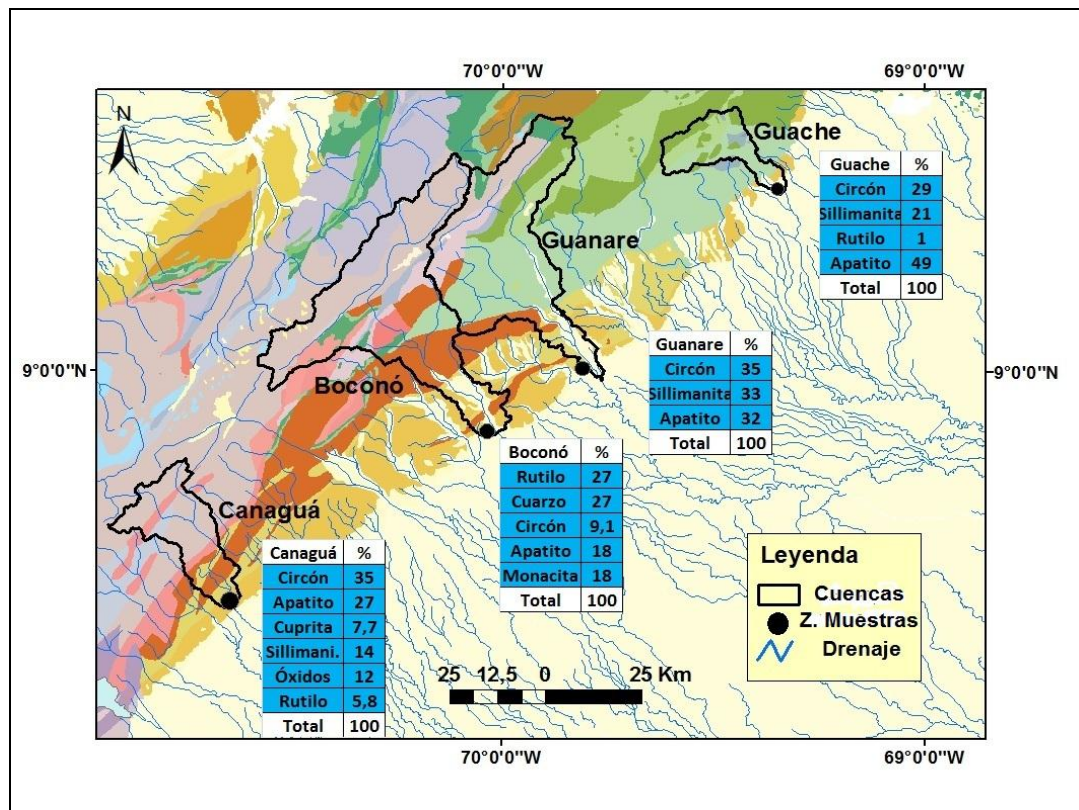


Figura 4.13. Variabilidad mineralógica para las cuencas Guache, Guanare, Boconó y Canaguá. Porcentaje mineral unidades litológicas y zona donde fueron tomadas las muestras.

El mapa de variabilidad mineralógica para este segmento de las cuencas estudiadas en el flanco surandino, muestra las siguientes cuencas cuyas unidades litológicas son las siguientes:

Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
GUACHE	Mamey, Yacambú, Volcancito	Cretácico Inferior	Esquistos cuarzosos, metaconglomerados, lutitas, metareniscas y cuarcita
	Barquisimeto	Cretácico Superior	Lutitas, limolitas y calizas
	Río Guache	Cretácico a Eoceno	Margas, lutitas calcáreas y mudstone
	Aluvión	Pleistoceno a Holoceno	Arenas, gravas y limos
	Río Yuca	Mioceno a Plioceno	Conglomerados y areniscas
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
	Palmarito	Carbonífero a Pérmico	Lutitas
	Sabaneta	Carbonífero a Pérmico	Areniscas y limolitas
	Apón	Cretácico Inferior	Calizas
	Mamey, Yacambú y Volcancito	Cretácico Inferior	Esquistos cuarzosos, metaconglomerados, lutitas, metareniscas y cuarcita
	La Luna, Colón y	Cretácico Superior	Lutitas negras, limolitas, calizas y

GUANARE	Mitu Juan		areniscas
	Barquisimeto	Cretácico Superior	Lutitas, limolitas y calizas
	Morán	Paleoceno a Eoceno	Areniscas y lutitas
	Pagüey	Eoceno	Lutitas
	Complejo Iglesias	Proterozoico Tardío	Biotita ortogneis, gneis migmatíticolit-par –lit y augengneis
	Río Guache	Cretácico a Eoceno	Margas, lutitas calcáreas y mudstone
	Grupo Roraima	Proterozoico Temprano a Medio	Rocas sedimentarias
	Aluvión	Pleistoceno a Holoceno	Arenas, gravas y limos
	Guanapa	Pleistoceno	Conglomerados, arcillas y limolitas
	Parángula	Oligoceno a Mioceno	Areniscas y limolitas
	Río Yuca	Mioceno a Plioceno	Conglomerados y areniscas
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
	Sabaneta	Carbonífero a Pérmico	Areniscas y limolitas
	Grupo Cogollo y Río Negro	Cretácico Inferior	Caliza, lutitas, areniscas calcáreas y conglomerados
	Apón	Cretácico Inferior	Calizas

BOCONÓ	La Luna, Colón y Mitu Juan	Cretácico Superior	Lutitas negras, limolitas, calizas y areniscas
	Conjunto Esnujaque	Paleozoico Superior	Filitas y esquistos
	Esnujaque	Pleistoceno a Holoceno	Gravas
	Pagüey	Eoceno	Lutitas
	Palmarito	Carbonífero a Pérmico	Lutitas
	Sabaneta	Carbonífero a Pérmico	Areniscas y limolitas
	Conjunto Las Torres	Paleozoico Inferior	Esquistos, cuarcitas y metaconglomerados
	Complejo Iglesias	Proterozoico Tardío	Biotita ortogneis, gneis migmatíticolit-par –lit y augengneis
	Río Guache	Cretácico a Eoceno	Margas, lutitas calcáreas y mudstone
	Conjunto Río Momboy	Carbonífero a Pérmico	Filitas
	Guanapa	Pleistoceno	Conglomerados, arcillas y limolitas
	Parángula	Oligoceno a Mioceno	Areniscas y limolitas
	Río Yuca	Mioceno a Plioceno	Conglomerados y areniscas
	Aluvión	Pleistoceno a Holoceno	Arenas, gravas y limos

Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
CANAGUÁ	Conjunto Mucuchahí	Carbonífero	Lutitas negras
	Complejo Iglesias	Proterozoico Tardío	Biotita ortogneis, gneis migmatítico-lit-par –lit y augengneis
	Parángula	Oligoceno a Mioceno	Areniscas y limolitas
	Pagüey	Eoceno	Lutitas
	Aluvión	Pleistoceno a Holoceno	Arenas, gravas y limos
	Río Yuca	Mioceno a Plioceno	Conglomerados y areniscas

Tabla 4.11. Unidades litológicas presentes en las cuencas Canagua, Boconó, Guanare y Guache. (Hackley et al .,2005).

La figura 4.14, presenta el mapa de variabilidad para las cuencas Michay, Caparo, Capitanejo y Uribante.

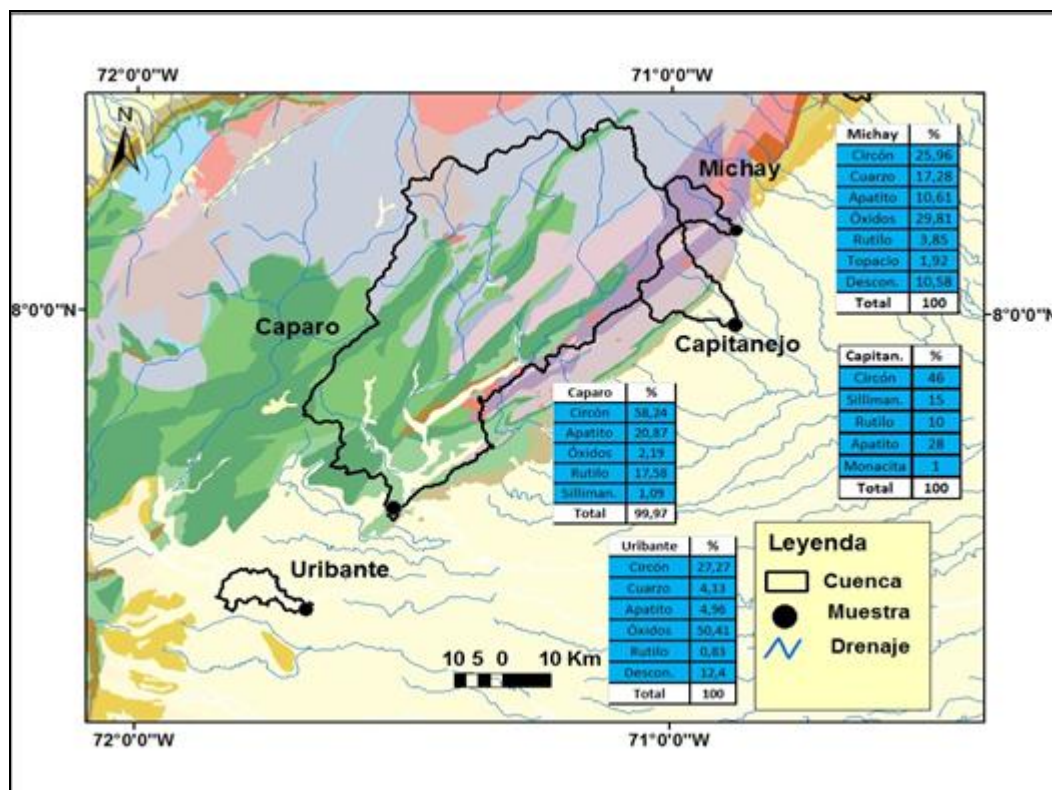


Figura 4.14. Variabilidad mineralógica para las cuencas Michay, Capitanejo, Caparo y Uribante. Se presenta el porcentaje mineral, zona de muestreo y unidades litológicas.

Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
MICHAY	Caparo y El Horno	Ordovícico a Silúrico	Mudstone, lutitas carbonáceas y areniscas silíceas
	Sabaneta	Carbonífero a Pérmico	Areniscas y limolitas
	Conjunto Bella Vista	Proterozoico Tardío	Esquistos y filitas
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
	Conjunto Mucuchahí	Carbonifero	Lutitas negras

CAPARO	Palmarito	Carbonífero a Pérmico	Lutitas
	Sabaneta	Carbonífero a Pérmico	Areniscas y limolitas
	La Quinta	Jurásico	Rocas volcánicas y sedimentarias
	Grupo Cogollo y Río Negro	Cretácico Inferior	Caliza, lutitas, areniscas calcáreas y conglomerados
	La Luna, Colón y Mitu Juan	Cretácico Superior	Lutitas negras, limolitas, calizas y areniscas
	Caparo y El Horno	Ordovícico a Silúrico	Mudstone, lutitas carbonáceas y areniscas silíceas
	Aluvi3n	Pleistoceno a Holoceno	Arenas, gravas y limos
	Grupo Orocu3	Paleoceno a Eoceno	Lutitas, arcillas, areniscas y carb3n
	Conjunto Bella Vista	Proterozoico Tardío	Esquistos y filitas
	Complejo Iglesias	Proterozoico Tardío	Biotita ortogneis, gneis migmatíticolit-par – lit y augengneis
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
	Sabaneta	Carbonífero a Pérmico	Areniscas y limolitas
	Caparo y El Horno	Ordovícico a Silúrico	Mudstone, lutitas carbonáceas y

CAPITANEJO			areniscas silíceas
	Complejo Iglesias	Proterozoico Tardío	Biotita ortogneis, gneis migmatíticolit-par – lit y augengneis
	Grupo Cogollo y Río Negro	Cretácico Inferior	Caliza, lutitas, areniscas calcáreas y conglomerados
	La Luna, Colón y Mitu Juan	Cretácico Superior	Lutitas negras, limolitas, calizas y areniscas
URIBANTE	La Cope	Plioceno Temprano	Conglomerados, areniscas y calizas.

Tabla 4.12. Unidades litológicas presentes en las cuencas Michay, Caparo, Capitanejo y Uribante.(Hackley et al .,2005).

4.3. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

4.3.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, ELEVACIÓN Y PENDIENTE

La figura 4.15, muestra la distribución de la precipitación para las cuencas de interés del flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.

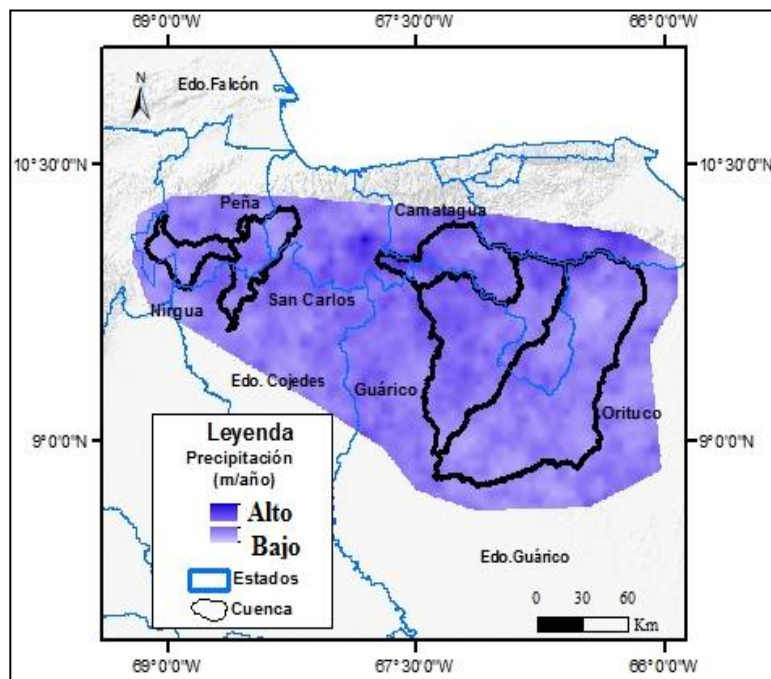


Figura 4.15. Precipitación para el Flanco Ramal Interior de la Cordillera de la Costa.

Los valores de precipitación, tomados del período 1998-2009, registrada por el sensor TRMM y compilados por el Dr. Bodo Bookhagen (2010), para este sector, presentan a la cuenca Camatagua (1,43) con el mayor valor, le sigue la cuenca Guárico (1,34), San Carlos (1,09), Orituco (1,05), Peña (1,03) y Nirgua (1,01). Estos valores se muestran en la tabla 4.16.

Los valores de área, para cada una de las cuencas, estudiadas en este sector de la zona de estudio, en orden decreciente, son los siguientes: Orituco (8895,00km²), Guárico (5744,00km²), Camatagua (2243,00km²), San Carlos (1528,64km²), Nirgua (975,00km²), Peña (66,60km²).

Los valores de pendiente, para las cuencas estudiadas en el Flanco Ramal Interior de la Cordillera de la Costa, en orden decreciente, son los siguientes: Camatagua (12,86°±7,93), San Carlos (11,32°±7,12), Nirgua (8,94°±7,45), Peña (8,59°±5,88), Guárico (4,21°±5,47), Orituco (2,31°±2,31).

Los valores de elevación, en orden decreciente para las cuencas estudiadas en este sector, son los siguientes: La cuenca del río Peña (909,52m±136,56) tiene el mayor, le sigue Camatagua (671,49m±259,66), San Carlos (729m±250), Nirgua (535,67m±284,55), Guárico (260,60m±165,07) y Orituco (219,16m±156). La tabla 4.13, muestra los valores de área, pendiente y elevación, para las cuencas estudiadas en este sector de la zona de estudio.

Cuenca	Precipitación(m)		Área Km ²	Pendiente(°)		Elevación(m)	
	media	Desv.Est		media	Desv.Est	media	Desv.Est
Camatagua	1,43	0,28	2243	12,86	7,93	671,49	259,66
Guárico	1,34	0,24	5744	4,21	5,47	260,6	165,07
Nirgua	1,01	0,22	975	8,94	7,45	535,67	284,55
Orituco	1,05	0,28	8895	2,31	2,31	219,16	156,00
Peña	1,03	0,12	66,60	8,59	5,88	909,52	136,53
San Carlos	1,09	0,26	1528,64	11,32	7,12	729	250

Tabla 4.13. Precipitaciones anuales promedio derivado del modelo TRMM 2B31 para el período 1998-2009 (Bookhagen, 2010).

4.3.2 RELIEVE. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

La tabla 4.12 muestra los valores de relieve para cada cuenca del flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa y también el valor máximo de relieve para cada radio dividido entre el área, el cual va a ser utilizado para la correlación, puesto que se toman los valores para círculos de 1km, 3km, 5km y 7km correspondientes a H_r , al momento de ejecutar las estadísticas focales y luego sustraerlo al MED, representado por h (Ec. $R=H_r - h$). Para el relieve máximo de 1km dividido entre el área de la cuenca, se tiene con mayor valor a la cuenca Peña (5,06m), luego le sigue Nirgua (0,51m), San Carlos (0,30m), Camatagua (0,28m), Guárico (0,12m), Orituco (0,01m). Siguiendo con el relieve máximo de 3km dividido entre el área de la cuenca se tiene a Peña (8,12m), Nirgua (0,79m), San Carlos (0,64m), Camatagua (0,46m), Guárico (0,16m) y Orituco (0,08m). Con respecto al relieve máximo dividido entre el área de la cuenca, se tiene con

mayor valor a la cuenca Peña (8,33m), Nirgua (0,91m), San Carlos (0,72m), Camatagua (0,51m), Guárico (0,18m) y Orituco (0,1m).

Cuencas	Relieve 1 km					Relieve 3 km					Relieve 5 km					Relieve 7 km				
	min	Máx	mean	d.e	max /a	min	max	mean	d.e	max/a	min	max	mean	d.e	max/a	min	max	mean	d.e	max/a
Nirgua	0	504	124	97,6	0,51	0	773	256	163	0,79	0	896	368	196	0,91	0	975	473	210	1
Peña	0	337	135	71,1	5,06	0	541	298	110	8,12	0	555	387	133	8,33	0	555	399	137	8,33
SanCarlos	0	465	151	82,3	0,3	0	989	299	139	0,64	0	1113	403	184	0,72	0	1214	485	218	0,79
Camatagua	0	646	190	105	0,28	0	1049	370	174	0,46	0	1150	498	215	0,51	0	1227	617	238	0,54
Guárico	0	734	58,9	72,8	0,12	0	934	116	129	0,16	0	1043	257	236	0,18	0	1117	329	286	0,19
Orituco	0	507	30,6	55,2	0,01	0	797	60,3	101	0,08	0	912	83,8	131	0,1	0	968	108	161	0,1

Tabla 4.14. Valores de relieve para el Flanco Ramal Interior de la Cordillera de la Costa, incluyendo los valores máximos de relieve divididos entre el área de cada cuenca, para cada envolvente de diámetro.

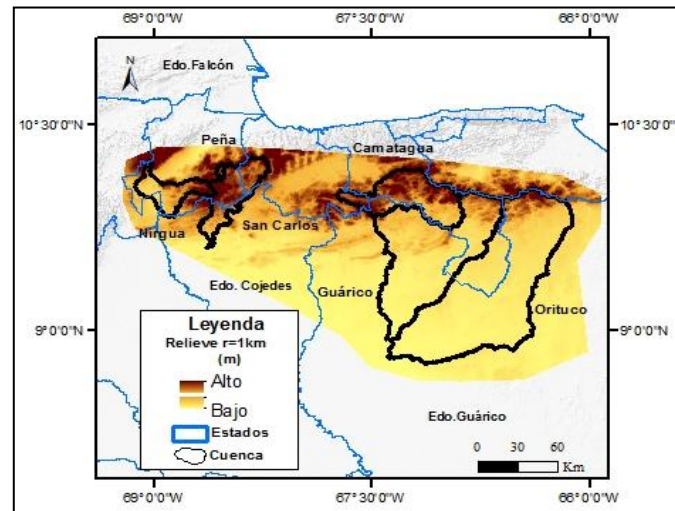


Figura 4.16. Relieve del flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa. Radio 1km.

4.3.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

La tabla 4.15, muestra los valores de integral hipsométrica para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa, donde se observan los siguientes valores: San Carlos tiene el mayor valor con (0,36), le sigue Peña (0,27), Camatagua (0,25), Guárico (0,10) y Orituco (0,10).

Cuenca	Hi	Prom. Hi
Camatagua	0,25	0,27
Guárico	0,10	
Orituco	0,10	
Nirgua	0,19	
Peña	0,27	
San Carlos	0,36	

Tabla 4.15 Valores de Integral Hipsométrica para este sector de la zona de estudio, además el promedio general de Hi.

La figura 4.17, muestra el grupo de curvas hipsométricas de Hi para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa, generadas a través del “Ad-in” CalHypso producido por Pérez-Peña et al., (2009). Disponible en <http://servidorgeodin.urg.es/arpa/index.php/calhypso-para-arcgis-10-1/>.

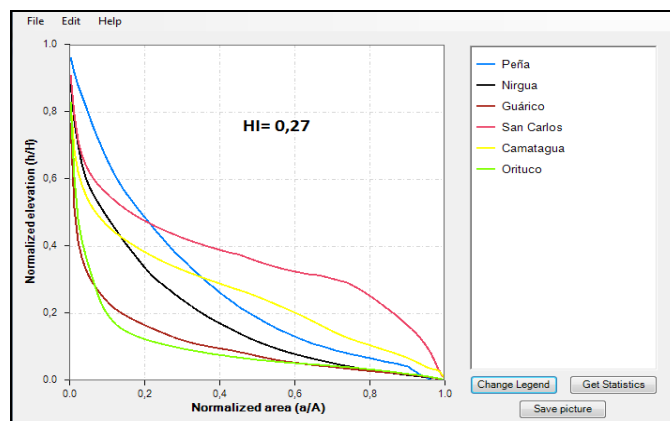


Figura 4.17. Comparación valores H_i para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.

4.3.4 ÍNDICES DE HUMEDAD, ÍNDICES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

Al igual que en el sector anterior, los valores de índices de erosión, índice de transporte e índices de humedad fueron calculados de forma teórico y prácticos, tomando en cuenta para los índices de humedad e índice de transporte de sedimentos la precipitación y para los índices de erosión la precipitación y el coeficiente de erodabilidad (K), el cual fue calculado por medio de los valores asignados por Ambalagan et al., (2008). Comenzando por los índices de humedad teóricos (WI), se tiene que la cuenca con mayor valor es Peña ($0,16 \pm 0,04$), le sigue Nirgua ($0,01 \pm 0,003$), San Carlos ($0,01 \pm 0,002$), Camatagua ($0,005 \pm 0,001$), Guárico ($0,002 \pm 0,0005$) y Orituco ($0,001 \pm 0,0003$). Para los índices de humedad prácticos (WI_p), se tiene el mayor valor para la cuenca Peña ($0,18 \pm 0,051$), Nirgua ($0,01 \pm 0,003$), San Carlos ($0,007 \pm 0,002$), Camatagua ($0,006 \pm 0,002$), Guárico ($0,002 \pm 7,9e-4$) y Orituco ($0,001 \pm 4,44e-4$).

Con respecto a los índices de transporte teóricos (STI), se tiene que el mayor valor lo posee la cuenca Peña ($20547,10 \pm 130576,6$), le sigue San Carlos ($13662,10 \pm 215521,5$), Nirgua ($7228,54 \pm 105452,4$), Camatagua ($3807,98 \pm 72275,61$), Guárico ($796,04 \pm 17187,05$) y Orituco ($358,07 \pm 8351,33$). Para los valores de STI_p se

tiene el mayor valor, la cuenca Peña ($50710,5 \pm 1144277,78$), le sigue San Carlos ($15063,44 \pm 239864,06$), Nirgua ($8599,00 \pm 128958,97$), Camatagua ($5691,57 \pm 108884,80$), Guárico ($1113,55 \pm 23786,86$) y Orituco ($379,69 \pm 8567,61$). La tabla 4.16, muestra los valores de índice de humedad e índice de transporte para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.

CUENCA	WI		WIp		STI		STIp	
	Media/ a	D.Est/ a	Media/ a	D.Est/ a	Média/á	D.est/a	Média/á	D.est/a
Camatagua	0,005	0,001	0,006	0,002	3807,98	72275,61	5691,57	108884,80
Guárico	0,002	0,0005	0,002	7,9e-4	796,04	17187,05	1113,55	23786,86
Nirgua	0,01	0,003	0,01	0,003	7228,54	105452,4	8599,00	128958,97
Orituco	0,001	0,0003	0,001	4,44e-4	358,07	8351,33	379,69	8567,61
Peña	0,16	0,04	0,18	0,051	20547,1	130576,6	50710,5	1144277,78
S.Carlos	0,01	0,002	0,007	0,002	13662,10	215521,5	15063,44	239864,06

Tabla 4.16. Índices de Humedad (WI) y (WIp) e Índices de Transporte (STI) y (STIp), para el Flanco Ramal Interior de la Cordillera de la Costa.

La figura 4.18, muestra los mapas de índices de humedad teóricos y prácticos, además de los mapas de índice de transporte teóricos y prácticos para este sector perteneciente a la zona de estudio.

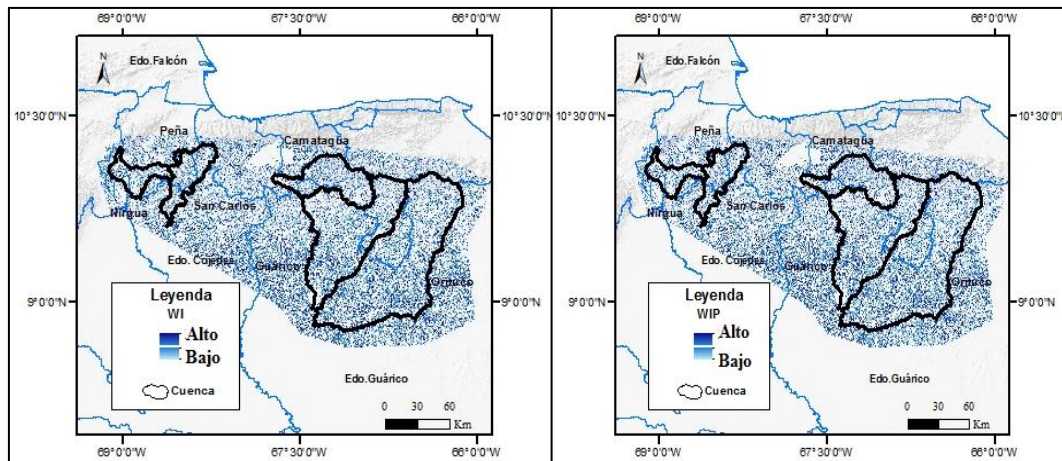


Figura 4.18. Índices de humedad WI (Izq.) y WIp (Der).

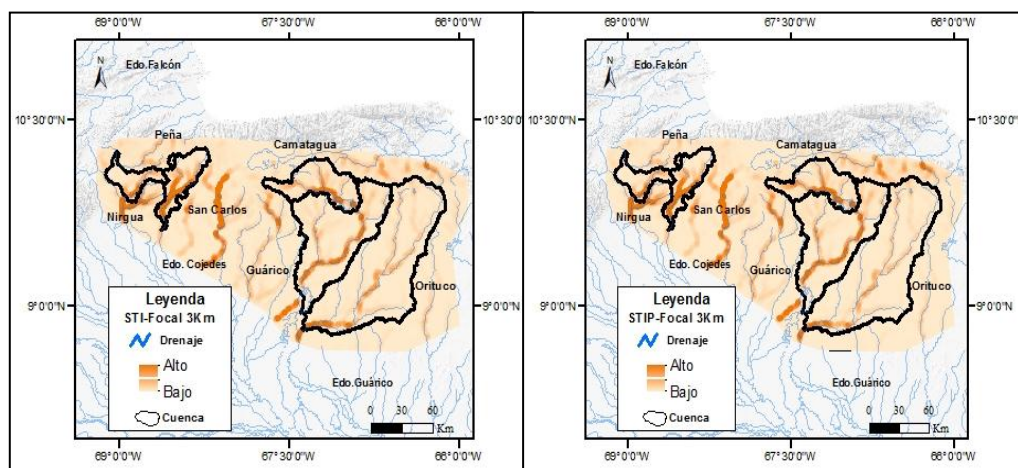


Figura 4.19. Índices de transporte STI (Izq.) y STIp (Der.), para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.

4.3.5 DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA (KM²) QUE OCUPAN LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE ERODABILIDAD (K) EN EL FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

RAMAL INTERIOR C.C.				
Cuenca	ÁREA EN KM ²			
	Ignea K	Metam K	Sedi K	Desco K
Camatagua	191,58	1357,99	591,28	104,14
Guárico	16,96	190,12	5405,47	132,06
Nirgua	0,49	679,7	296,61	0
Orituco	10,78	48,24	8814,23	16,85
Peña	0	59,23	7,45	0
San Carlos	22,44	1156,18	352,51	0

Tabla 4.17. Distribución del área en km², de acuerdo a la litología (Ignea K =Ígnea, Metam K= Metamórfica, Sedi K= Sedimentaria, Desco K= Desconocido) para las cuencas estudiadas en el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.

4.3.6 ÍNDICES DE EROSIÓN. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

Los valores de índices de erosión teóricos para este sector son los siguientes: Para el TSP, se tiene el mayor valor la cuenca Camatagua (11012037,45±212769950,96), le sigue Guárico(2089136,49±48572423,40), Orituco(1469359,33±1469359,49), Peña(363,36±2297,30), San Carlos(241,39±3820,39) y Nirgua(128,21±1866,67). Para el USP, se tiene el mayor la cuenca Camatagua(2180±7712,88), le sigue Guárico(268±1206,48), Orituco(101,63±505,90), Peña(0,38±0,36), Nirgua(0,033±0,12) y San Carlos(0,03±0,13). Por último para los SSP, el mayor valor lo tiene la cuenca Camatagua(9,27±14,40), Guárico(1,45±3,05), Orituco(0,62±1,48), Peña(0,10±0,12), Nirgua(0,01±0,01) y San Carlos(0,01±0,01).

En cuanto a los valores de índices de erosión teóricos, se tiene: Para el TSPp, en orden decreciente Peña (441,93±3762,98), San Carlos (362,49±6834,51), Camatagua (176,30±3734,50), Nirgua(153,57±1966,21), Orituco(28,88±618,33) y Orituco(0,0003±0,001). Con respecto a los USPPK, el mayor valor lo tiene la cuenca Peña (0,31±0,67), le sigue San Carlos (0,27±1,46), Guárico (0,005±0,03), Nirgua(0,003±0,11), Orituco(0,002±0,01) y Camatagua(0,001±0,09). Por último para los valores de SSPPK, se tiene a Peña(0,09±0,16), con el mayor valor, le sigue San Carlos(5,33E-2±0,18), Guárico(0,001±0,003), Orituco(0,001±0,001), Nirgua(6,32E-3±1,08E-2) y Camatagua(3,64E-3±0,01). La Tabla 4.16, muestra los valores de índices de erosión con P y K uniformes y P y K variables, para el Flanco Ramal Interior de la Cordillera de la Costa.

FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA												
Cuenca	TSP		USP		SSP		TSPpk		USPpk		SSPpk	
	mean/ a	d.e/a	mean/ a	d.e/a	mean/ a	d.e/a	mean/ a	d.e/a	mean/ a	d.e/a	mean/ a	d.e/a
Camat.	11012037,45	211769950,96	2180	7712,88	9,27	14,40	176,30	3734,50	1,87E-02	0,09	3,64E-03	0,01
Guárico	2089136,49	48572423,40	268	1206,48	1,45	3,05	0,0003	0,001	0,005	0,03	0,001	0,003
Nirgua	128,21	1866,67	3,36E-02	0,12	0,01	0,01	153,57	1966,21	3,08E-02	0,11	6,32E-03	1,08E-02
Orituco	1469359,33	22147273,75	101,63	505,90	0,62	1,48	28,88	618,33	0,002	0,01	0,001	0,001
Peña	363,36	2297,30	0,38	0,63	0,10	0,12	441,93	3762,98	0,31	0,67	0,09	0,16
San Carlos	241,39	3820,39	0,03	0,13	0,01	0,01	362,49	6834,51	0,27	1,46	5,33E-02	0,18

Tabla 4.18. Valores de Índices de Erosión TSP, USP, SSP, TSPPK, USPPK y SSPPK, para el Flanco Ramal Interior de la Cordillera de la Costa.

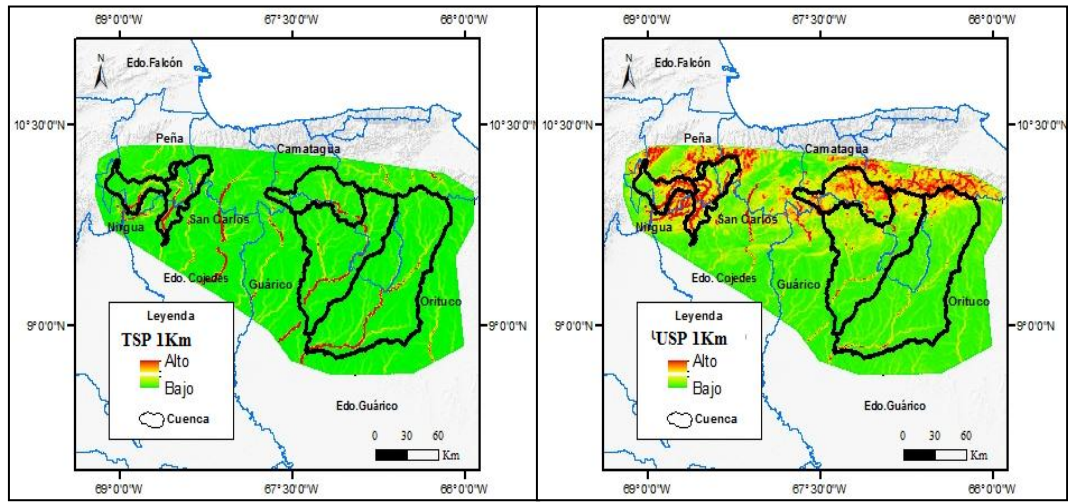


Figura 4.20. Índices de erosión para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa: TSP (Izq.), USP(Der.).

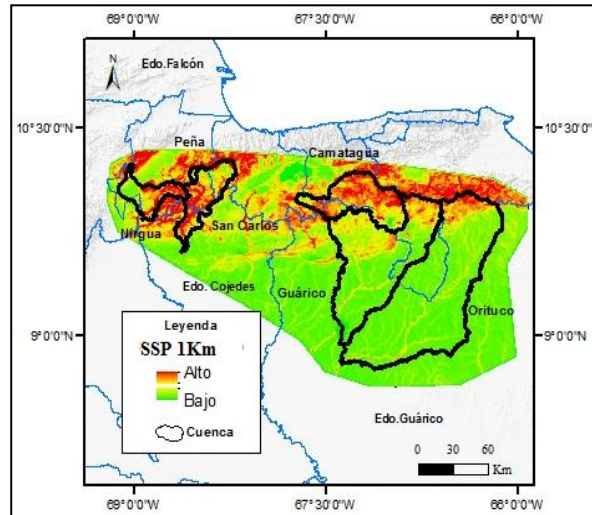


Figura 4.21. Índice de erosión para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa SSP.

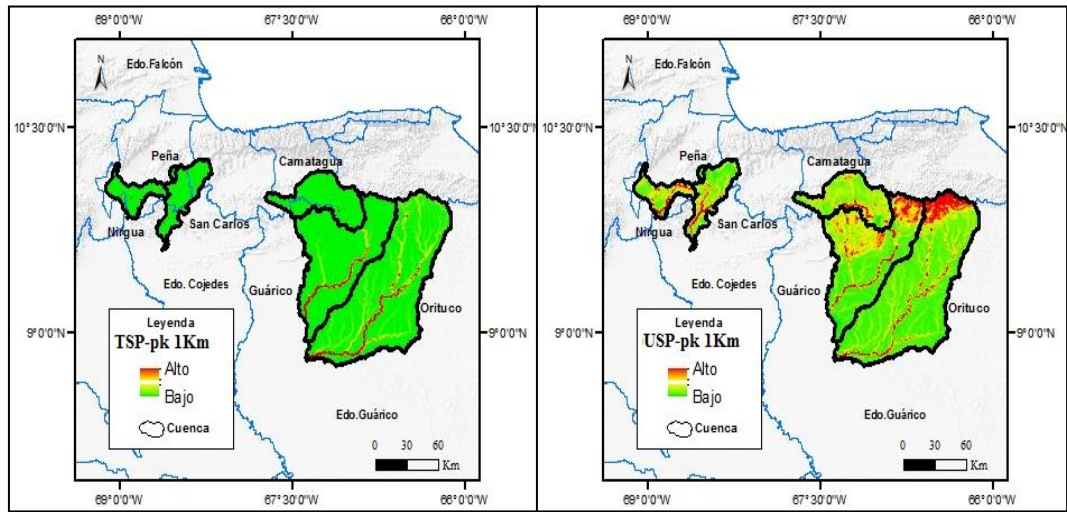


Figura 4.22. Índices de erosión para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa: TSP-pk (Izq) y USP-pk (Der).

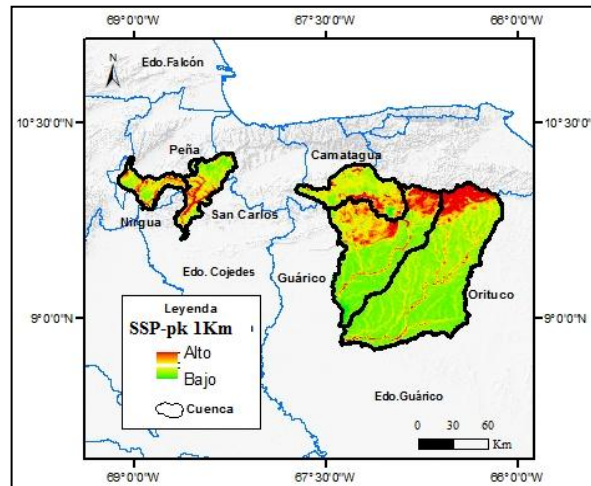


Figura 4.23. Índice de erosión para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa SSP-pk.

4.3.7 ESTUDIO DE LA DIMENSIÓN FRACTAL. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

Para este sector, al igual que en el sector andino, el cálculo del coeficiente D de la dimensión fractal se realizó a través del software MATLAB, en el cual se obtuvieron los siguientes resultados, tanto numéricos como gráficos. La tabla 4.19, muestra el coeficiente D para cada cuenca.

Cuenca	D. Fractal	Desv.Est
Camatagua	1,57	0,15
Guárico	1,66	0,26
Orituco	1,70	0,12
Nirgua	1,62	0,22
Peña	1,76	0,08
San Carlos	1,28	0,19

Tabla 4.19. Valores de D para las cuencas de interés estudiadas en el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.

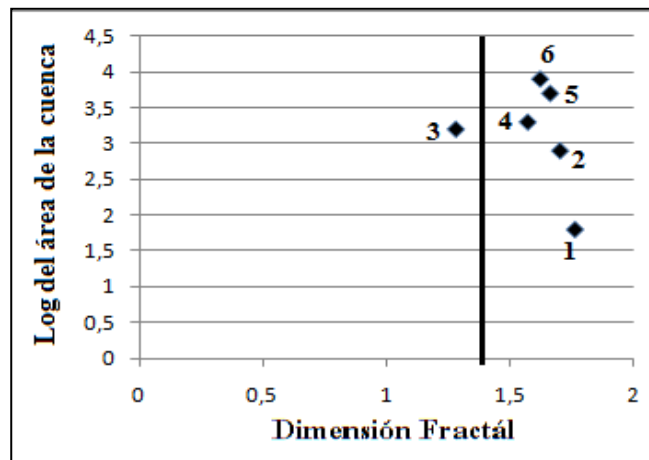


Figura 4.24. Grupo de cuencas de acuerdo al coeficiente de autosimilaridad.

En la figura 4.24, se observa el grupo de cuencas de acuerdo con la autosimilaridad para este sector, donde las cuencas Peña (1) y San Carlos (3) marcan diferencia con el resto.

4.3.8 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD MINERALÓGICA. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

4.2.8.1 VALORES DE ESFERICIDAD, REDONDEZ Y PORCENTAJE MINERAL

PORCENTAJE MINERAL. FLANCO RAMAL INTERIOR CORDILLERA DE LA COSTA								
Cuencas	Albita	Apatito	Circón	Cuarzo	Esfena	Monacita	Rutilo	Desconocido
Camatagua	7,14	0	0	14,29	28,57	0	21,43	0
Guárico	0	0	1,05	16,84	11,57	2,1	22,1	27,36
Orituco	0	1,58	3,17	1,58	1,58	6,34	19,04	17,46
Peña	0	0	8,33	25	0	0	16,67	0
San Carlos	0	29	45	0	0	1	10	0
Nirgua	7,14	0	0	14,29	28,57	0	21,43	0

Tabla 4. 20. Porcentaje mineral existentes en las cuencas estudiadas en este sector. Fuente: Arcía y Viana (2013), Figueira y Romero (2014), Flores (2013).

Los resultados mostrados en la tabla 4.19, se presentan a modo de diagramas de torta en la siguiente figura (figura 4.25).

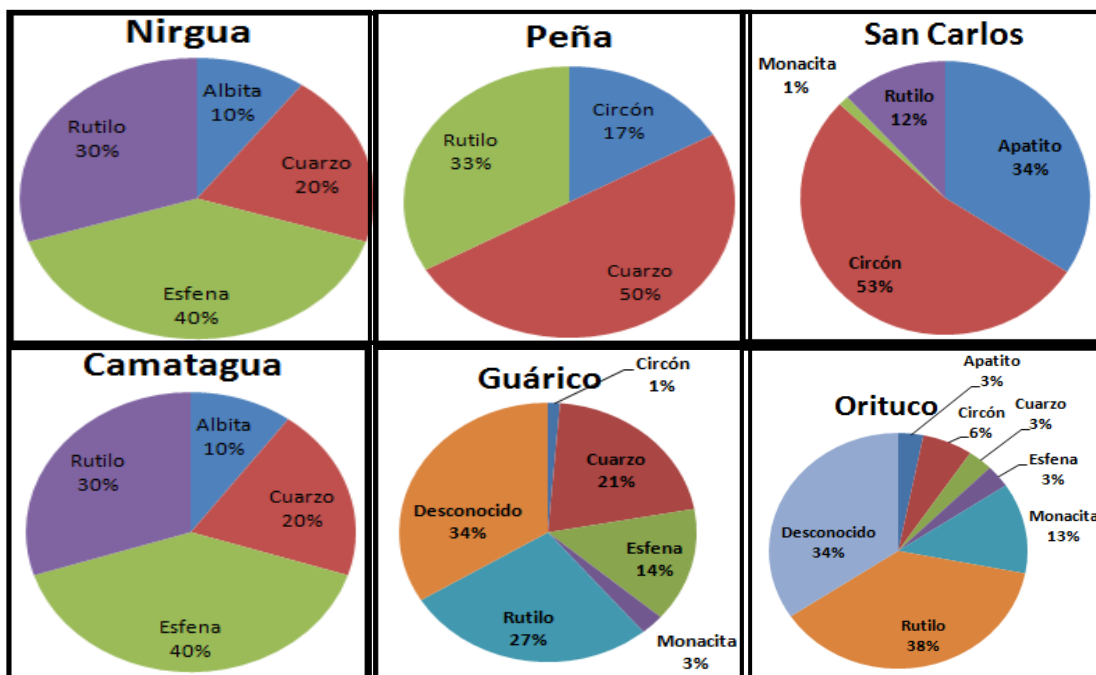


Figura 4.25. Diagramas de torta del porcentaje mineral de las cuencas pertenecientes al flanco ramail interior de la Cordillera de la Costa.

La tabla 4.21, muestra que los minerales predominantes en la zona son Cuarzo, Circón, Apatito, Rutilo, Esfena y también otros minerales en menor cantidad como la Albita, Apatito y Monacita.

ESFERICIDAD. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA								
Cuencas	Albita	Apatito	Circón	Cuarzo	Esfena	Monacita	Rutilo	Desconocido
Camatagua	Promedio general de Esfericidad = 0,697							
Guárico	Promedio general de Esfericidad = 0,569							
Orituco	Promedio general de Esfericidad = 0,641							
Peña	Promedio general de Esfericidad = 0,63							
San Carlos	0	0,772	0,754	0	0	0,792	0,736	0
Nirgua	Promedio general de Esfericidad = 0,60							

Tabla 4.21. Esfericidad para cada mineral presente en las cuencas pertenecientes al ramal interior de la Cordillera de la Costa.

La tabla 4.21, muestra valores promedios de esfericidad para las cuencas de interés en este flanco y el valor de esfericidad para los minerales que predominan en la cuenca San Carlos. Se observa que los valores promedios mayores los tienen las

cuencas Camatagua y Orituco y en San Carlos el promedio de esfericidad entre los minerales presentes es 0,763.

REDONDEZ. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA								
Cuencas	Albita	Apatito	Circón	Cuarzo	Esfena	Monacita	Rutilo	Desconocido
Camatagua	Promedio general de Redondez = 0,456							
Guárico	Promedio general de Redondez = 0,494							
Orituco	Promedio general de Redondez = 0,554							
Peña	Promedio general de Redondez = 0,38							
San Carlos	0	0,650	0,578	0	0	0,721	0,652	0
Nirgua	Promedio general de Redondez = 0,41							

Tabla 4.22. Promedio general de redondez para las cuencas Camatagua, Guárico, Orituco, Peña y San Carlos y promedio para cada mineral presente en la cuenca San Carlos.

La tabla 4.22, muestra el promedio de redondez para las cuencas presentes en la zona de estudio y el promedio de redondez para cada mineral presente en la cuenca San Carlos, donde se observa que los mayores valores lo tienen las cuencas Orituco y Guárico y el promedio general para la cuenca San Carlos es de 0,65.

4.2.8.2 MAPA DE VARIABILIDAD MINERALÓGICA. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

La figura 4.26, muestra el mapa de variabilidad mineralógica para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.

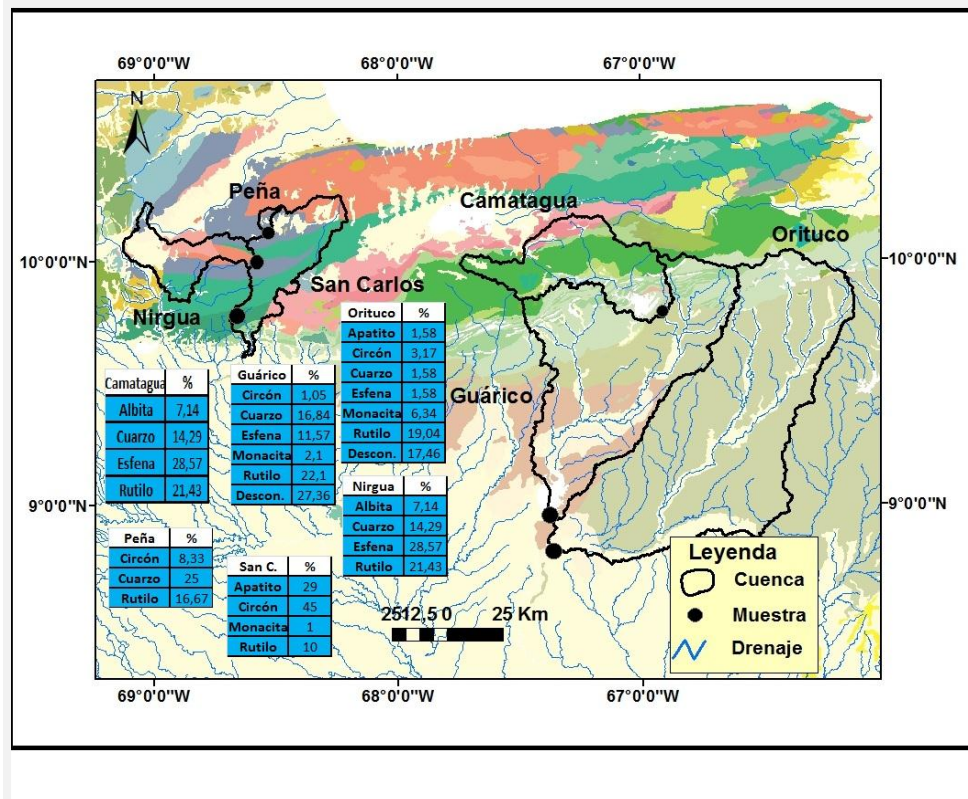


Figura 4.26. Mapa de variabilidad mineralógica que comprende la zona de muestreo y el porcentaje mineral de las cuencas Nirgua, Peña, San Carlos, Camatagua, Guárico y Orituco.

Las cuencas de interés pertenecientes a este sector, presentan las siguientes unidades litológicas:

Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
	Esquistos Las Mercedes y Esquistos	Jurásico a Cretácico	Esquisto Calcáreo

NIRGUA	Chuspita		
	Aluvión	Pleistoceno a Holoceno	Arenas, gravas y limos
	Complejo Nirgua y Conjunto Metamórfico La Costa	Cretácico	Esquistos cuarzosos, cuarcita, anfibolita y gneis
	El Pegón y Guacimare	Mioceno a Plioceno	Gravas, areniscas, calizas y lutitas
	Equistos Aroa	Mesozoico	Esquistos y Filitas
	Complejo San Julián y Complejo Yaritagua	Paleozoico	Esquistos y gneis
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
PEÑA	Complejo Nirgua y Conjunto Metamórfico La Costa	Cretácico	Esquistos cuarzosos, cuarcita, anfibolita y gneis
	Complejo Nirgua y Conjunto Metamórfico La Costa	Cretácico	Esquistos cuarzosos, cuarcita, anfibolita y gneis
	Aluvión	Pleistoceno a Holoceno	Arenas, gravas y limos
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
	Esquistos Las Mercedes y Esquistos Chuspita	Jurásico a Cretácico	Esquisto Calcáreo
	Aluvión	Pleistoceno a Holoceno	Arenas, gravas y limos

SAN CARLOS	Complejo Nirgua	Cretácico	Esquistos cuarzosos, cuarcita, anfibolita y gneis
	Complejo El Tinaco	Paleozoico	Trondjemita
	Complejo San Julián	Paleozoico	Esquistos y gneis
	Cojedes, Agua Blanca y Araure	Cretácico Inferior	Calizas y Conglomerados
	Mucaria	Cretácico Superior	Lutitas Carbonáticas
	Peridotitas del Tinaquillo	Mesozoico	Peridotitas
	Maporita	Mioceno a Plioceno	Conglomerados, areniscas, calizas, arcillas y mármol
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
	Complejo Volcanosedimentario Villa de Cura	Jurásico a Cretácico	Metatobas, metabasitas, esquisto grafitoso, esquisto cuarzoso y cuarzo granofélsico
	Guinimita	Cretácico Inferior	Esquistos, metaconglomerados y calizas
	Complejo El Tinaco	Paleozoico	Paragneis, anfibolitas y mármol
	Filitas de Paracotos	Cretácico Superior	Turbiditas conglomeráticas, calizas y lutitas
	Filitas de Tucutunemo	Paleozoico	Turbiditas conglomeráticas,

CAMATAGUA			calizas y lutitas
	Garrapata	Cretácico Superior	Turbiditas conglomeráticas, calizas y lutitas
	Complejo Ofiolítico Loma de Hierro	Cretácico	Gabros y rocas ultramáficas
	Mucaria	Cretácico Superior	Lutitas carbonáceas
	Miembro Caramacate, Fm Guárico	Cretácico a Eoceno	Areniscas calcáreas y calizas
	Guárico	Cretácico a Eoceno	Areniscas y lutitas
	Miembro Los Cajones	Cretácico a Eoceno	Mármol, lutitas calcáreas y mudstone
	Escorzonera	Cretácico Superior	Lutitas, calizas, areniscas, basalto y andesita
	Aluvi3n	Pleistoceno a Holoceno	Arenas, gravas y limos
	Quebrad3n, Quiamare y Naricual	Oligoceno a Mioceno	Lutitas, carb3n, calizas y areniscas
	Roblecito	Eoceno a Mioceno	Lutitas
Cuenca	Formaciones	Edad	Litolog3a
	Complejo Volcanosedimentario Villa de Cura	Jurásico a Cretácico	Metatobas, metabasitas, esquistos grafitoso, esquistos cuarzosos y cuarzo

GUÁRICO			granofélsico
	Guinimita	Cretácico Inferior	Esquistos, metaconglomerados y calizas
	Compleja Chacual	Cretácico a Oligoceno	Lutitas, calizas y areniscas
	Garrapata	Cretácico Superior	Turbiditas conglomeráticas, grauwackas, limolitas y lutitas
	Mucaria	Cretácico Superior	Lutitas carbonáceas
	Guárico	Cretácico a Eoceno	Areniscas y lutitas
	Miembro Los Cajones	Cretácico a Eoceno	Mármol, lutitas calcáreas y mudstone
	Quebradón, Quiamare, Urichito, Capaya, La Pica y Chaguaramas	Oligoceno a Mioceno	Lutitas, carbón, calizas y areniscas
	Roblecito	Eoceno a Mioceno	Lutitas
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
	Fm. Guinimita	Cretácico Inferior	Esquisto, Metaconglomerados y calizas
	Complejo Chacual	Cretácico-Oligoceno	
	Fm.El Cantil	Cretácico Inferior	Caliza fosilífera, arenisca y lutita
	Fm. Mucaria	Cretácico Superior	Lutitas carbonáceas
	Fm Guárico	Cretácico-Eoceno	Areniscas y Lutitas
	Fm. Quebradón	Oligoceno-Mioceno	Lutita, carbón y arenas
	Fm Quiamare	Oligoceno-	Lutita, carbón y

ORITUCO		Mioceno	arenas
	Fm.Uchirito	Oligoceno-Mioceno	Lutita, carbón y arenas
	Fm.Capaya	Oligoceno-Mioceno	Lutita, carbón y arenas
	Fm.La Pica	Oligoceno-Mioceno	Lutita, carbón y arenas
	Fm.Chaguaramas	Oligoceno-Mioceno	Lutita, carbón y arenas
	Fm.Roblecito	Eoceno-Mioceno	Lutitas

Tabla 4.23. Unidades litológicas presentes en las cuencas Nirgua, Peña, San Carlos, Camatagua, Guárico y Orituco. (Hackley et al., 2005).

4.4 APURE Y ARAUCA

Las cuencas que se describen a continuación son cuencas que se solapan y se extienden desde el flanco surandino de los Andes Venezolanos hacia el este ocupando una extensa área cuyos drenajes desembocan en el río Orinoco. La cuenca Apure incluye el flanco sur de los Andes Venezolanos, la Serranía del Interior, La Cordillera de la Costa y el Arco del Baúl, mientras que la cuenca Arauca, ocupa gran parte del flanco surandino, entre los estados Mérida y Táchira, extendiéndose al este pasando por los estados Barinas Apure.

4.4.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, ELEVACIÓN Y PENDIENTE. APURE Y ARAUCA

A continuación se presentan los valores promedios de precipitación, área, elevación y pendiente para estas dos cuencas.

Comenzando por la precipitación, la tabla 4.23, muestra los valores de ambas cuencas, obtenidos de la campaña TRMM (período 1998-2009) y compilados por el Dr. Bookhagen (2010). Se observa que el mayor valor de precipitación lo tiene la cuenca Arauca ($1,56\pm 0,64$) y el menor valor la cuenca Apure ($1,44\pm 0,58$). La figura 4.27, muestran los mapas de precipitación para estas cuencas antes mencionadas.

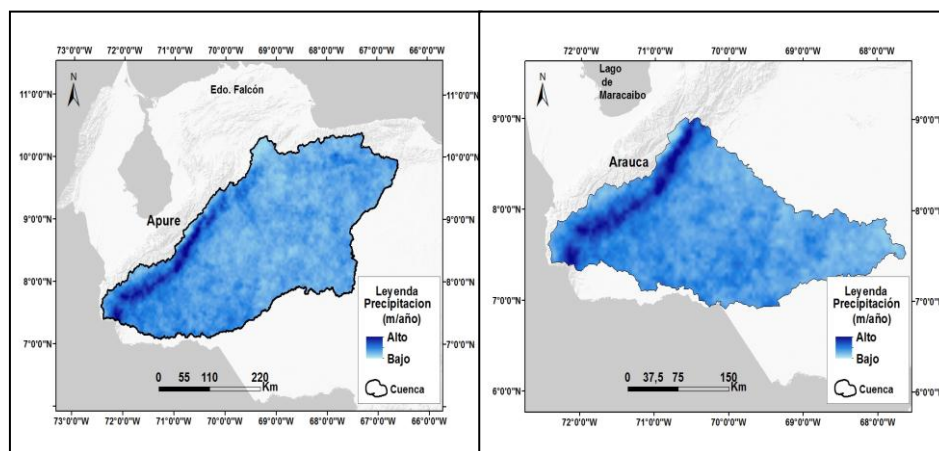


Figura 4.27. Precipitaciones anuales promedio para el período 1998-2009 (Bookhagen, 2010).

Con respecto al área de cada cuenca se tiene Apure (122931,55km²) con mayor superficie que Arauca (60680,10km²). Para los valores de pendiente se tiene a Apure (4,79°±8,15) y Arauca (4,59°±8,92). Por último los valores de elevación son los siguientes: Arauca (397,23m±690,03) y Apure (380,52m±577,60). La tabla 4.24, muestra los valores de precipitación, área, pendiente y elevación para ambas cuencas.

Cuenca	Precipitación(m)		Área Km ²	Pendiente(°)		Elevación (m)	
	Media	D.est		media	D.est	media	D.est
Arauca	1,56	0,64	60680,10	4,59	8,92	397,23	690,03
Apure	1,44	0,58	122931,55	4,79	8,15	380,52	577,60

Tabla 4.24. Valores de precipitación, área, pendiente y elevación. Arauca y Apure.

4.4.2 RELIEVE. APURE Y ARAUCA

Los valores de relieve máximo dividido entre el área de cada cuenca es el siguiente: Para el relieve de 1km se tiene: Arauca(0,02km) y Apure(0,01km). Para el relieve 3km se tiene: Arauca(0,03km) y Apure(0,02km). Para el relieve de 5km se tiene: Arauca(0,04km) y Apure(0,02km). Por último para el relieve de 7km se tiene: Arauca(0,04km) y Apure(0,02km). La tabla 4.25, muestra los valores de relieve calculados para las cuencas Apure y Arauca.

APURE Y ARAUCA																				
Cuenca s	Relieve 1 km					Relieve 3 km					Relieve 5 km					Relieve 7 km				
	Min	Max	Medi a	D. e	Max/ a	Min	Max	Medi a	D. e	Max/ a	Min	Max	Medi a	D. e	Max/ a	Min	Max	Medi a	D. e	Max/ a
Apure	0	1014	70,2	119	0,01	0	1941	148	244	0,02	0	2350	208	331	0,02	0	2650	260	400	0,02
Arauca	0	1014	67,7	133	0,02	0	1941	141	274	0,03	0	2350	195	373	0,04	0	2621	243	453	0,04

Tabla 4.25. Valores de relieve para las cuencas Apure y Arauca.

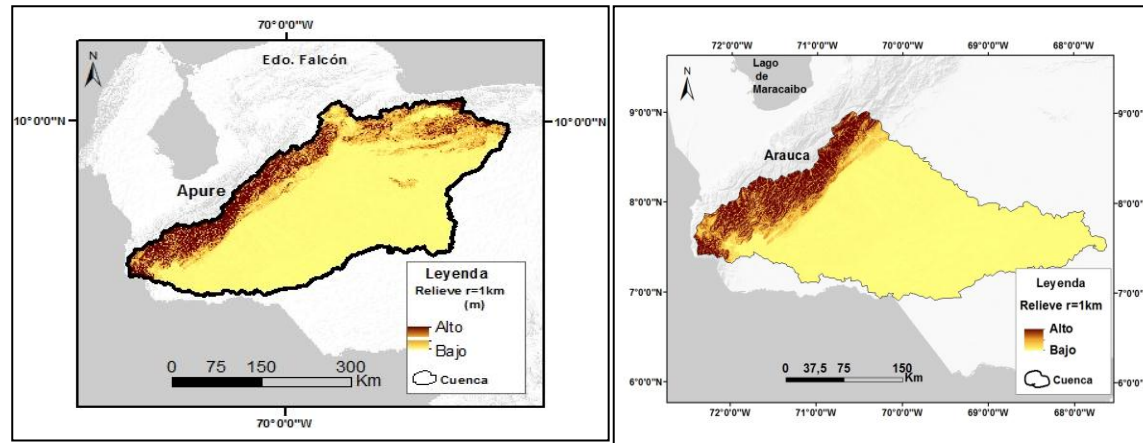


Figura 4.28. Relieve para las cuencas Apure y Arauca: Apure 1km (Izq.), Arauca 1km (Der).

4.4.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA. APURE Y ARAUCA

Las curvas hipsométricas para ambas cuencas así como las de los sectores anteriores fueron obtenidas a través del “Ad-in” CalHypso producido por Pérez-Peña et al 2009. Los valores de integral hipsométrica son los siguientes, Apure 0,07 y Arauca 0,07. La figura 4.29, muestra las gráficas de curvas hipsométricas para estas cuencas.

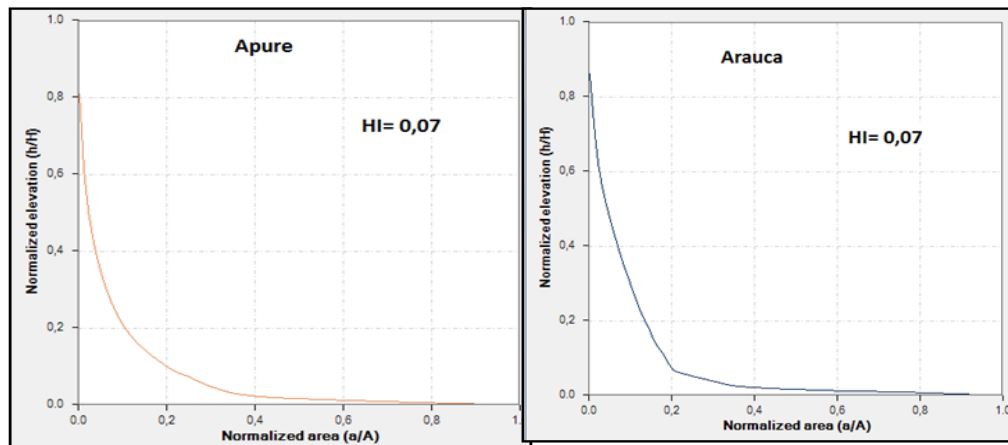


Figura 4.29. Gráficas de curvas hipsométricas para las cuencas de los ríos Arauca (Izq) y Apure (Der).

4.4.4 ÍNDICES DE HUMEDAD, ÍNDICES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. APURE Y ARAUCA

Los índices de humedad para estas cuencas son los siguientes: Para los índices de humedad teóricos (WI) se tiene Arauca($2,44E^{-4}$) y Apure($1,19E^{-4}$), con respecto a los índices de humedad prácticos (WI_p), Arauca($4,76E^{-4} \pm 1,46E^{-4}$) y por último Apure($0,001 \pm 7,93E^{-4}$). Para los índices de transporte teóricos (STI), se tiene Arauca($4,98 \pm 150,72$) y Apure($3,21 \pm 102,14$) y por último para los índices de transporte prácticos (STI_p) se tiene: Arauca($9,76 \pm 300,76$) y Apure($5,26 \pm 173,59$). La tabla 4.26, muestra los valores de índices de humedad e índices de transporte para las cuencas Arauca y Apure.

CUENCA	WI		Wip		STI		STIp	
	Media/a	Media/a	Média/a	D.est/a	Média/a	D.est/a	Média/a	D.est/a
Arauca	2,44E-04	5,01E-05	4,76E-4	1,46E-4	4,98	150,72	9,76	300,76
Apure	1,19E-04	2,46E-05	0,001	7,93E-4	3,21	102,14	5,26	173,59

Tabla 4.26. Valores de índices de humedad e índices de transporte para Arauca y Apure.

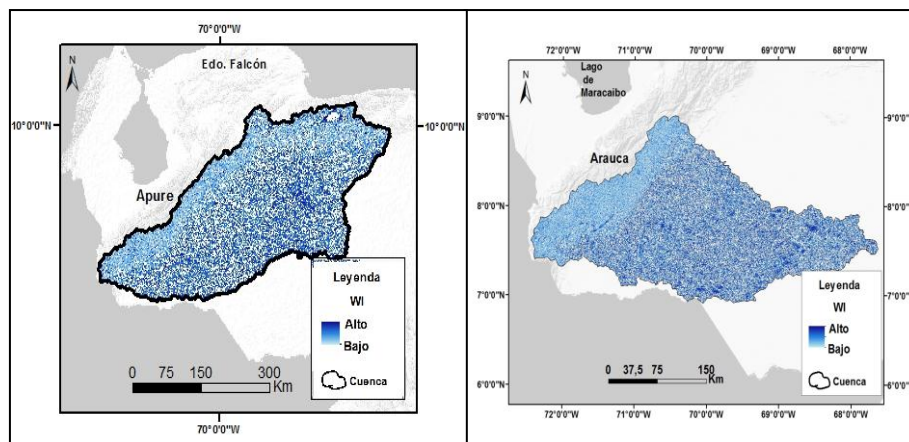


Figura 4.30a. Índices de humedad WI.Apure(Izq.) y WI.Arauca (Der.) .

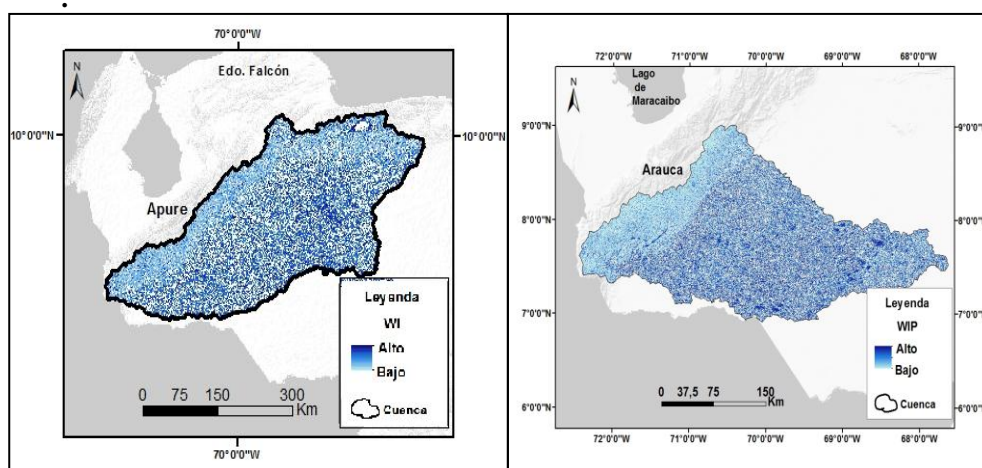


Figura 4.30b. Índices de humedad WIp. Apure (Izq.) y WIp. Arauca (Der).

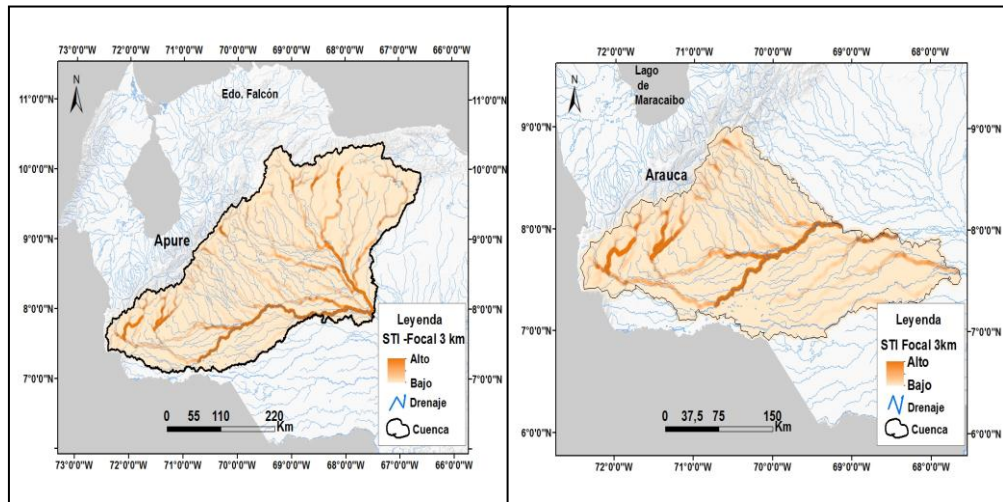


Figura 4.31a. Índices de transporte: STI. Apure(Izq.); STI. Arauca (Der.).

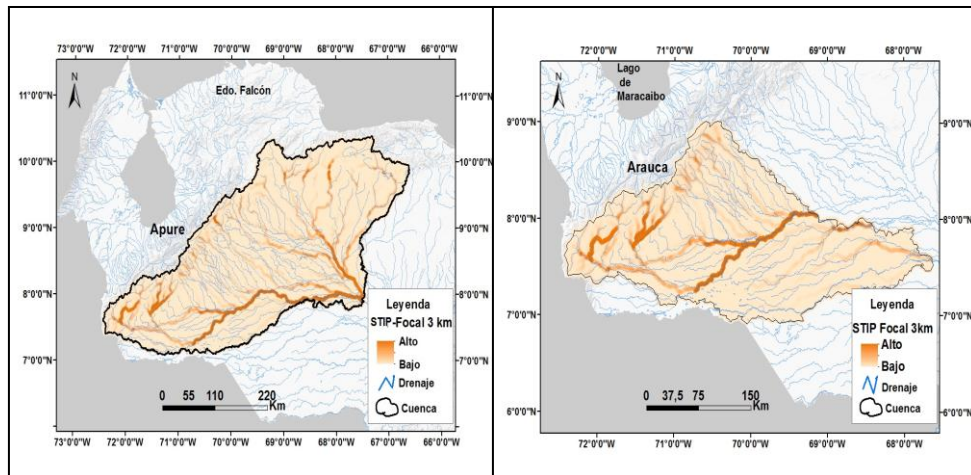


Figura 4.31b. Índices de transporte: STIPk. Apure(Izq.); STIPk Arauca (Der.).

4.4.5 DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA (KM²) QUE OCUPAN LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE ERODABILIDAD (K) PARA LAS CUENCAS APURE Y ARAUCA

APURE Y ARAUCA				
Cuenca	ÁREA EN KM ²			
	Ignea K	Metam K	Sedi K	Desco K
Arauca	1865,05	2104,34	55722,98	939,87
Apure	2935,4	13673,72	104715,93	1619,28

Tabla 4.27. Área que ocupan los valores del coeficiente de erodabilidad (K), en las cuencas Apure y Arauca. Ignea K= rocas ígneas, Metam K= rocas metamórficas, Sedi K = rocas sedimentarias, Desco K= desconocido.

4.4.6 ÍNDICES DE EROSIÓN. APURE Y ARAUCA

Los resultados de índices de erosión teóricos y prácticos para estas cuencas son los siguientes: Para los TSP, se tiene a Arauca(4,94±149,43) y Apure(3,19±101,27). Siguiendo con los USP se tiene a Arauca(3,77E-4±0,003) y Apure(1,87E-4±0,001). Por último para los SSP, Arauca(0,0001±0,0002) y Apure(0,00004±0,0001). Con respecto a TSPpk se tiene a Arauca(16,68±521,15), Apure(9,39±324,78), para los USPpk, Arauca (8,61E-4) y Apure(0,0004±0,003). Por último para los SSPpk, Arauca(1,46E-4±0,0004) y Apure(0,10E-4±0,20E-4). La tabla 4.28, muestra los índices de erosión teóricos y prácticos para estas dos cuencas.

Cuenca	TSP		USP		SSP		TSPpk		USPpk		SSPpk	
	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d. est/a	media/ a	d.est/a
Arauca	4,94	149,43	3,77E-04	0,003	0,0001	0,0002	16,68	521,15	8,61E-04	0,01	1,46E-04	0,0004
Apure	3,19	101,27	1,87E-04	0,001	0,00004	0,0001	9,39	324,78	0,0004	0,003	0,0001	0,0002

Tabla 4.28. Valores de índices de erosión teóricos y prácticos para las cuencas de los ríos Arauca y Apure.

La figura 4.32, muestra los mapas de índices de erosión teóricos para las cuencas Arauca y Apure.

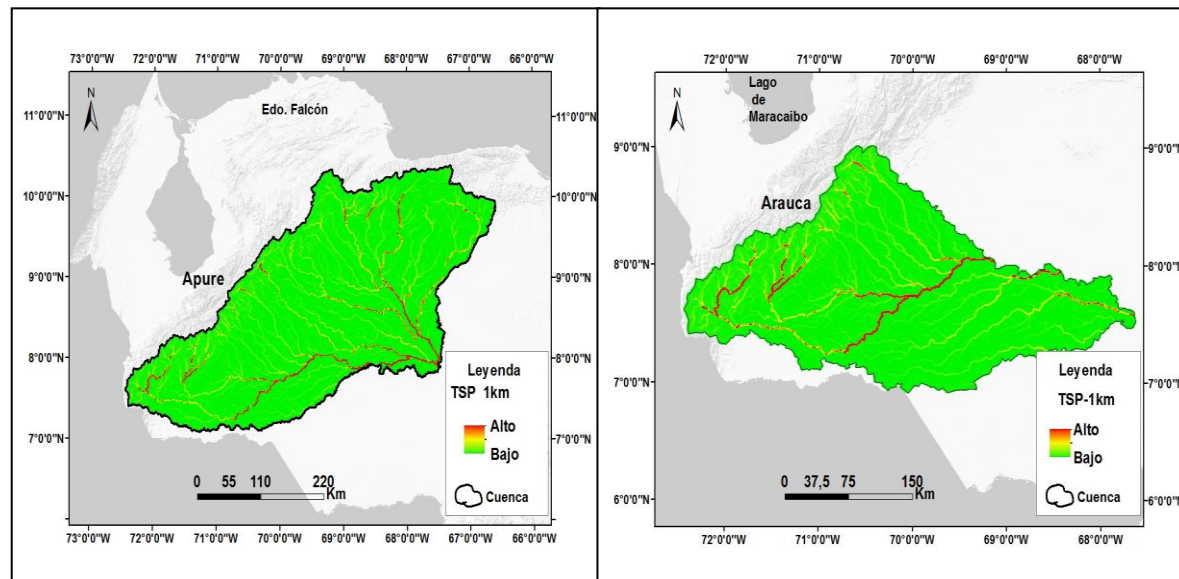


Figura 4.32a. Índices de erosión teóricos TSP. Apure y TSP. Arauca.

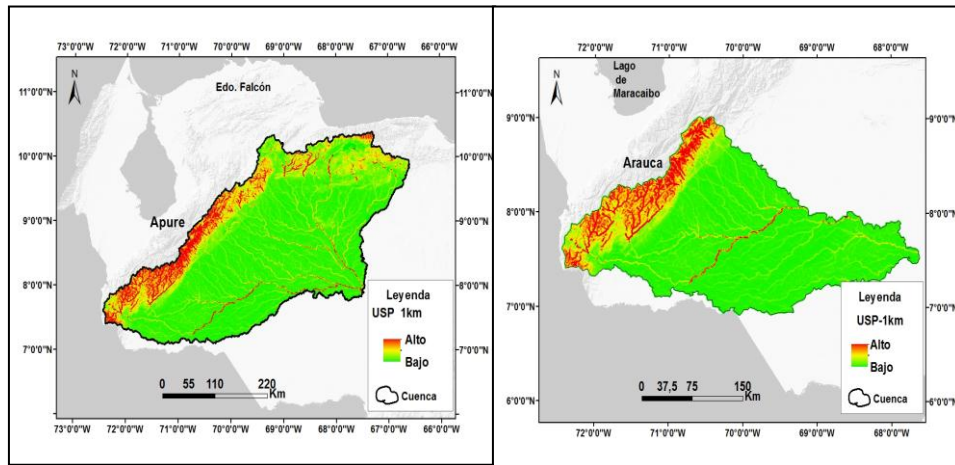


Figura 4.32b. Índices de erosión teóricos USP. Apure y USP. Arauca.

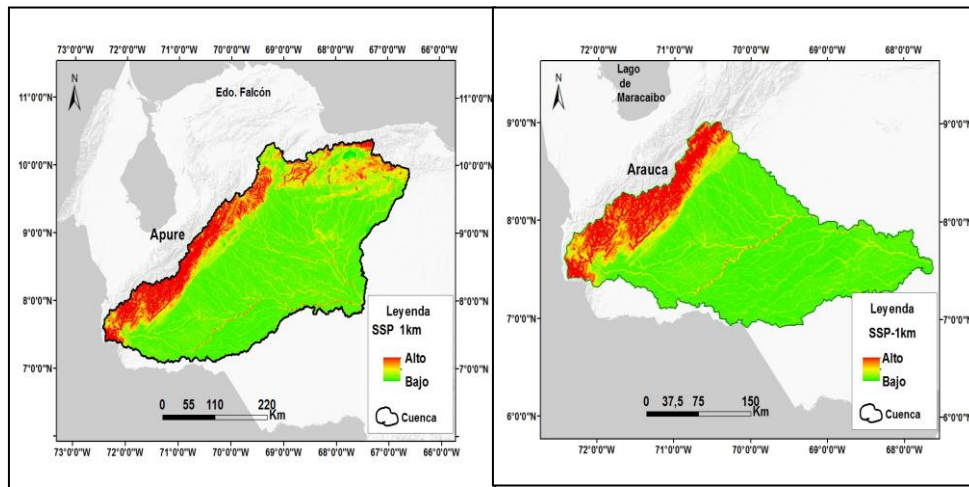


Figura 4.32c. Índices de erosión teóricos SSP. Apure y SSP. Arauca.

4.4.7 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD MINERALÓGICA. APURE

4.4.7.1 VALORES DE ESFERICIDAD, REDONDEZ Y PORCENTAJE MINERAL

La tabla 4.29, muestra los minerales encontrados y su porcentaje en la muestra obtenida en la cuenca Apure. Se observa que predominan minerales como Cuarzo, Fayalita y Calcita, los demás minerales presentes se encuentran en bajo porcentaje.

PORCENTAJE MINERAL. APURE								
Cuencas	Apatito	Circón	Cuarzo	Biotita	Ilmeni.	Heulan.	Rutilo	Esfena
Apure	6,15	4,61	20	1,53	1,53	1,53	7,69	3,07
	Descon.	Hemat.	Fayalita	Calcita	Ortosa	Andalu.	Anortita	-----
	20	4,61	12,3	7,69	1,53	3,07	3,61	-----

Tabla 4.29. Porcentaje mineral para la cuenca del río Apure. Fuente Arcia y Viana (2013).

La figura 4,33 muestra en un diagrama de torta los valores de porcentaje mineral presentes en la tabla 4.28.

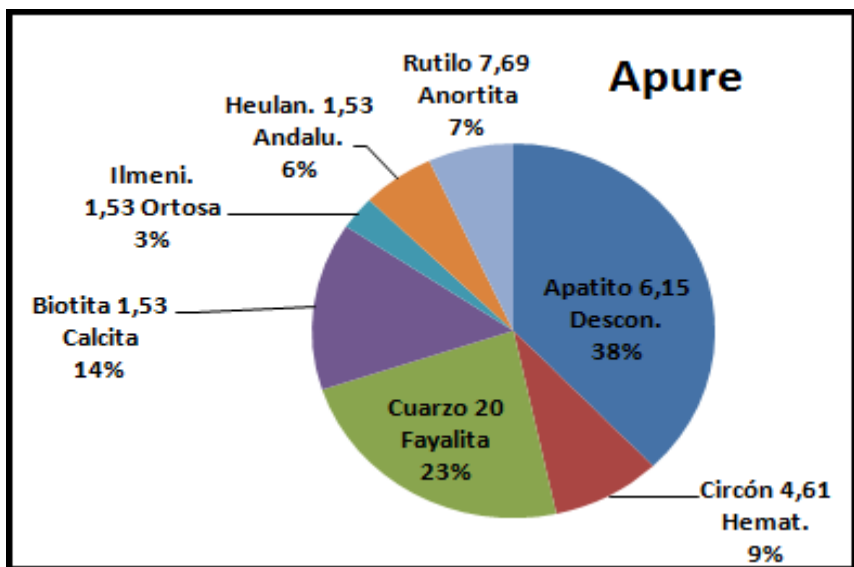


Figura 4.33. Diagrama de torta del porcentaje mineral en la cuenca Apure.

La tabla 4.30 muestra el promedio de esfericidad y redondez para la cuenca del río Apure, donde posee una esfericidad promedio general de 0,75 y redondez promedio general 0,40.

Cuencas	ESFERICIDAD. APURE
---------	--------------------

Apure	Promedio general de esfericidad= 0,75
	REDONDEZ. APURE
	Promedio general de redondez=0,40

Tabla 4.30. Valores promedios de esfericidad y redondez para la cuenca Apure. Fuente Arcía y Viana (2013).

4.3.7.2 MAPA DE VARIABILIDAD MINERALÓGICA. APURE

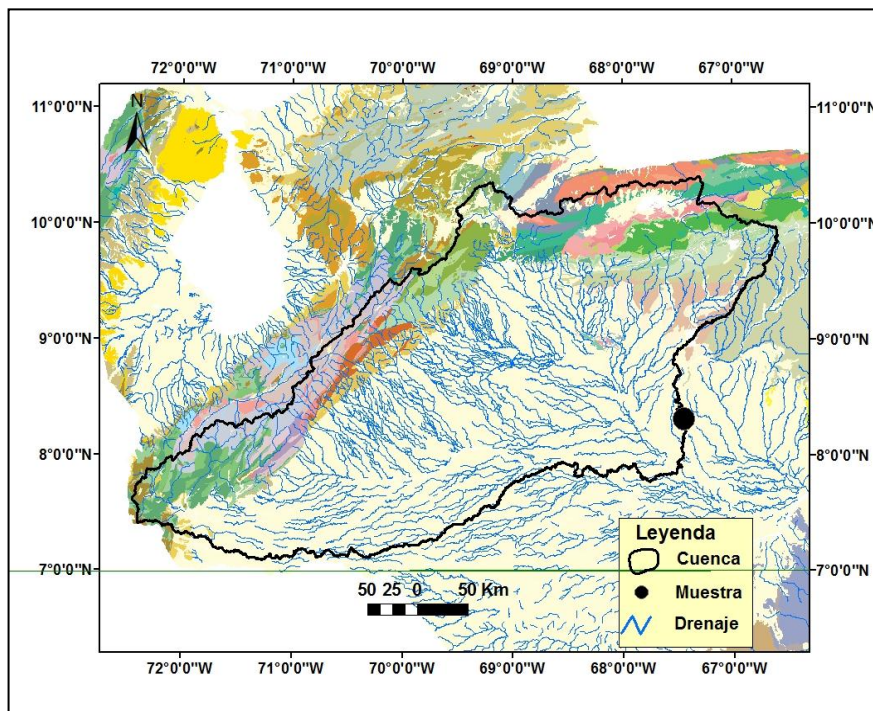


Figura 4.34. Mapa de variabilidad mineralógica para la cuenca Apure.

La cuenca Apure, presenta las siguientes unidades litológicas:

	Fm. Palmarito	Paleozoico Tardío	Lutitas, limos, areniscas y margas
	Fm. Guanapa	Pleistoceno	Conglomerados, areniscas y arcillas
	Fm. Sabaneta	Paleozoico Tardío	Areniscas
	Esquisto Las Brisas	Jurásico-Cretácico	Esquistos y gneis

APURE	Fm. Esquistos Las Mercedes	Jurásico-Cretácico	Esquistos Calcáreos
	Fm. La Quinta	Jurásico	Arenisca, limolita, caliza, basalto, andesita
	Fm. Guinimita	Cretácico Inferior	Esquisto, Metaconglomerados y calizas
	Grupo Guayabo	Mioceno-Plioceno	Areniscas y Lutitas
	Grupo Cogollo	Mioceno Superior-Plioceno	Calizas y Lutitas
	Fm. Río Negro	Barremiense	Areniscas, conglomerados y lutitas
	Complejo Nirgua	Cretácico	Esquistos cuarzosos anfibolita, cuarcita y gneis
	Complejo El Tinaco	Paleozoico	Paragneiss, anfibolita y mármol
	Complejo Chacual	Cretácico-Oligoceno	Lutitas
	Fm. Mítu Juan	Maastrichtiense Tardío	Arcillas
	Fm. Colón	Maastrichtiense	Lutitas y calizas
	Fm. La Luna	Cretácico Tardío	Calizas y Lutitas
	Fm. Garrapata	Cretácico Superior	
	Complejo San Julián	Cretácico	Esquistos y gneiss
	Fm. Carvajal	Pleistoceno	Arenas y gravas macizas.
	Grupo Cogollo	Mioceno Superior-Plioceno	Calizas y Lutitas
	Fm. Río Negro	Barremiense	Areniscas, conglomerados y lutitas
	Fm. Cojedes	Albiense	Areniscas, calizas y gneises.
	Fm. Agua Blanca	Aptiense	Calizas, filitas y areniscas.
	Fm. Araure	Cretácico Inferior	Calizas y conglomerados
Fm. El Pegón	Mioceno-Plioceno	Gravas pobremente consolidadas, areniscas, calizas y lutitas	
Fm. Guamacire	Mioceno-Plioceno	Gravas pobremente consolidadas, areniscas, calizas y lutitas	

Tabla 4.31. Unidades litológicas presentes en la cuenca Apure (Hackley et al., 2005).

4.5 MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

Esta zona perteneciente al área de estudio, consta de tres sectores los cuales son: “Formación Mesa”, que comprende las cuencas Borbón Detrítico, Borbón de Roca, Fundo Mata Linda, Peñón Aro y Moitaco. Luego está la zona denominada “zona al suroeste del río Orinoco, que comprende las cuencas Cataniapo, Parguaza, Mesa y un fragmento de la cuenca del río Orinoco. Por último se tiene el “sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán”, que comprende las cuencas de los ríos Akanán y Aparamán. Cabe destacar que debido a que las cuencas de este último sector cuentan con superficies muy pequeñas, la resolución obtenida de los mapas en la zona a través del programa ArcMap 10.0 fue muy baja y no proporcionaba lecturas significativas para interpretar los resultados en la región, por lo tanto dichos mapas no fueron tomados en cuenta para este trabajo de grado; sin embargo igualmente en la zona se interpretaron los datos cuantitativos con los cuales se realizó la caracterización de ambas cuencas.

4.5.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, ELEVACIÓN Y PENDIENTE. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

La figura 4.35, muestra la distribución de la precipitación para las cuencas de interés estudiadas en el margen central del río Orinoco.

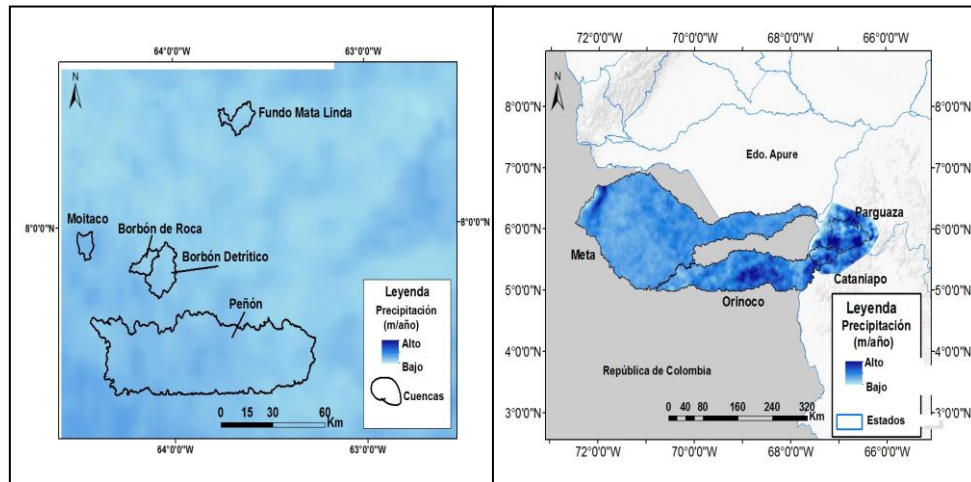


Figura 4.35. Precipitación para el margen central de la cuenca del río Orinoco: Formación Mesa (Izq.); Zona al suroeste del río Orinoco (Der.).

Nuevamente igual que en los sectores antes trabajados, los valores de precipitación fueron extraídos de la compilación del Dr. Bookhagen (2010), de los datos tomados por el sensor TRMM (1998-2009). Para la Formación Mesa, se tienen los siguientes valores de precipitación: El mayor valor lo tiene la cuenca Peñón ($1357,29 \pm 267,54$), le sigue Moitaco ($1172,29 \pm 135,41$), Borbón de Roca ($1035,10 \pm 120,45$), Borbón Detrítico ($927,74 \pm 78,65$) y Fundo Mata Linda ($916,19 \pm 138,71$). Para la zona al suroeste del río Orinoco, los valores son los siguientes: Orinoco ($1051,45 \pm 289,40$) Parguaza ($292,12 \pm 52,63$), Cataniapo ($280,04 \pm 42,49$) y Meta ($157,52 \pm 39,43$). Con respecto al sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán, se tiene: Aparamán ($188,53 \pm 4,54$) y Akanán ($188,45 \pm 31,57$).

Los valores de área, elevación y pendiente para el margen central del río Orinoco, son los siguientes: En cuanto al área para la Formación Mesa, se tiene que la cuenca con mayor superficie es: Peñón ($3658,75 \text{ km}^2$), le sigue Borbón de Roca ($268,25 \text{ km}^2$), Fundo Mata Linda ($141,28 \text{ km}^2$), Borbón Detrítico ($97,44 \text{ km}^2$) y Moitaco ($81,03 \text{ km}^2$). Con respecto a los valores de pendiente, el mayor valor lo tiene la cuenca Peñón Aro ($6,68^\circ \pm 7,49$), le siguen, Borbón de Roca ($3,82^\circ \pm 3,34$), Borbón Detrítico ($2,74^\circ \pm 2,34$), Moitaco ($2,60^\circ \pm 2,58$) y Fundo Mata Linda ($0,72^\circ \pm 0,67$). Con

respecto a los valores de elevación, el mayor lo posee la cuenca Peñón Aro (1357,29m±276,54), le siguen, Fundo Mata Linda (136,61m±7,43), Borbón Detrítico (115,63m±18,22), Borbón de Roca (92,25m±33,49) y Moitaco (64,54m±26,07).

Siguiendo con los valores de área, pendiente y elevación para la zona al suroeste del río Orinoco se tiene lo siguiente: Para el área de cada cuenca, el mayor valor es para la cuenca Meta (48359,41 km²), le sigue Orinoco (18135,83 km²), Parguaza (3826,12 km²) y Cataniapo (1587,87km²). Con respecto a los valores de pendiente se tiene a cuenca del río Parguaza (12,06°±8,55), con el mayor valor, le siguen, Cataniapo (8,80°±7,88), Meta (2,09°±6,01) y Orinoco (1,08°±1,99). Por último para los valores de elevación el mayor valor lo tiene la cuenca Parguaza (593,13m ± 364,02), le siguen Meta (275,77m ± 565,58), Cataniapo (270,80m ± 193,96) y Orinoco (109,23m ± 24,15).

Con respecto a los valores de área, pendiente y elevación del sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán, se tiene que la cuenca de mayor superficie es Akanán (32,23 km²) y luego le sigue Aparamán (21,49 km²). Para los valores de pendiente, la cuenca con mayor valor es Aparamán (1,55°±1,33) y menor valor Akanán (1,19°±1,56), caso contrario a los valores de elevación, donde Akanán (477,26m±10,45) posee mayor elevación y Aparamán (473,01m±8,47) el menor valor. La tabla 4.32, muestra los valores de precipitación, área, pendiente y elevación de este sector.

FORMACIÓN MESA							
Cuenca	Área Km²	Precipitación(m)		Pendiente(°)		Elevación(m)	
		media	d.est.	media	d.est.	media	d.est.
B.Detrítico	97,44	0,92	0,07	2,74	2,34	115,63	18,22
B.Roca	268,25	1,03	0,12	3,82	3,34	92,25	33,49
Fundo ML	141,28	0,91	0,13	0,72	0,67	136,61	7,43
Moitaco	81,03	1,17	0,13	2,60	2,58	64,54	26,07
Peñón	3658,75	1,35	0,26	6,86	7,49	1357,29	276,54
SECTOR SUROESTE DE LA CUENCA DEL RÍO ORINOCO							
Cuenca	Área Km²	Precipitación(m)		Pendiente(°)		Elevación	
		media	d.est.	media	d.est.	media	d.est.

Meta	48359,41	0,15	0,03	2,09	6,01	275,77	565,58
Orinoco	18135,83	1,05	0,28	1,08	1,99	109,23	24,15
Cataniapo	1587,87	0,28	0,04	8,80	7,88	270,80	193,96
Parguaza	3826,12	0,29	0,05	12,06	8,55	595,13	364,03
SECTOR CIRCUNDANTE A LOS RÍOS AKANÁN Y APARAMÁN							
Cuenca	Área Km²	Precipitación(m)		Pendiente(°)		Elevación(m)	
		media	d.est.	media	d.est.	media	d.est.
Akanán	32,23	0,18	0,03	1,19	1,56	473,01	8,74
Aparamán	21,49	0,18	0,03	1,55	1,33	477,26	10,45

Tabla 4.32. Valores de área, precipitación, pendiente y elevación para el margen central del río Orinoco.

4.5.2 RELIEVE. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

En esta sección al igual que las secciones anteriores, se calculó el relieve para las cuencas de interés en distintos radios de envolvente (1 km, 3 km, 5 km y 7 km) y se toma principalmente para la descripción de los valores, el máximo relieve calculado para cada radio dividido entre el área de cada cuenca, puesto que será utilizado para el análisis final y las correlaciones. En la tabla 4.33, se observan los valores de relieve (1 km, 3 km, 5km y 7 km) para las cuencas pertenecientes a este sector, donde se observa que para la Formación Mesa, en orden decreciente tiene los siguientes valores: Para el máximo relieve de 1km de radio dividido entre el área: Moitaco (1,19 km), Borbón Detrítico (0,96 km), Borbón de Roca (0,48 km), Fundo Mata Linda (0,23 km) y Peñón (0,10 km), luego para el máximo relieve de 3 km dividido entre el área se tiene : Moitaco(1,69 km), Borbón Detrítico(1,11 km), Borbón de Roca(0,56 km), Fundo Mata Linda(0,33 km) y Peñón(0,16 km). Con respecto al máximo relieve de 5 km dividido entre el área el mayor valor lo tiene la cuenca Moitaco (2,18 km), le sigue Borbón Detrítico (1,24 km), Borbón de Roca(0,61 km), Fundo Mata Linda(0,33 km) y Peñón(0,17 km). Por último los valores del máximo relieve de 7 km dividido entre el área de cada cuenca son: Moitaco (2,93 km), Borbón Detrítico (1,37 km), Borbón de Roca (0,76 km), Fundo Mata Linda (0,35 km) y Peñón (0,17 km).

Con respecto a la zona al suroeste del río Orinoco, los valores máximos de relieve 1 km dividido entre el área de cada cuenca son: Cataniapo (0,37 km), Parguaza (0,22 km), Meta (0,02 km) y Orinoco (0,02 km), para el máximo relieve de 3 km dividido entre el área de cada cuenca se tiene: Cataniapo (0,39 km), Parguaza (0,29 km), Meta (0,04 km) y Orinoco (0,02 km). Siguiendo con el máximo relieve de 5 km dividido entre su respectiva área se tiene a: Cataniapo (0,49 km), Parguaza (0,34 km), Meta (0,05 km) y Orinoco (0,03 km). Por último para el máximo relieve de 7 km dividido entre el área se tiene a: Cataniapo (0,53 km), Parguaza (0,36 km), Meta (0,05 km) y Orinoco (0,03 km).

Por último, para el máximo relieve de 1 km dividido entre su área se tiene: Aparamán (24,10 km) y Akanán (16,80 km). Luego para el máximo relieve de 3 km dividido entre el área se tiene a: Aparamán (24,12 km) y Akanán (16,83 km). Siguiendo con el máximo relieve de 5 km dividido entre el área, se tiene: Aparamán (32,50 km) y Akanán (21,00 km). Por último Para el máximo relieve de 7 km dividido entre el área se tiene: Aparamán (33,40km) y Akanán (21,50 km).

MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO																				
FORMACIÓN MESA																				
Cuencas	Relieve 1 km					Relieve 3 km					Relieve 5 km					Relieve 7 km				
	min	max	mean	d.e	max/a	min	max	mean	d.e	max/a	min	max	mean	d.e	max/a	min	max	mean	d.e	max/a
Bde trítico	0	94	20,7	48,3	0,96	0	109	38,4	22,9	1,11	0	121	50,7	26,3	1,24	3	134	62,4	30,3	1,37
Borbón roca	0	131	31	21,1	0,48	0	151	73,2	31,5	0,56	0	166	104	27,7	0,61	0	205	124	29,9	0,76
Fundo ML	0	33	4,68	3,57	0,23	0	47	8,55	5,09	0,33	1	48	12,5	5,24	0,33	2	50	17	5,81	0,35
Moitaco	0	97	22,9	18,4	1,19	3	138	68,4	32,1	1,69	32	178	110	24,3	2,18	84	239	150	36,1	2,93
Peñón	0	393	58,1	48,3	0,1	0	608	140	88,2	0,16	0	618	198	105	0,17	0	624	244	113	0,17
ZONA AL SUROESTE DE LA CUENCA DEL RÍO ORINOCO																				
Cuencas	Relieve 1 km					Relieve 3 km					Relieve 5 km					Relieve 7 km				
	min	max	mean	d.e	max/a	min	max	mean	d.e	max/a	min	max	mean	d.e	max/a	min	max	mean	d.e	max/a
Orinoco	0	400	14,6	24,8	0,02	0	441	29,4	45,6	0,02	0	456	39,4	58,3	0,03	0	480	46,8	67,1	0,03
Meta	0	1182	31,9	95,2	0,02	0	1716	63,7	182	0,04	0	2186	95,5	270	0,05	0	2429	122	333	0,05
Cataniapo	0	601	120	92,1	0,37	0	620	234	124	0,39	0	789	317	138	0,49	0	852	375	143	0,53
Parguaza	0	869	169	111	0,22	0	1131	333	173	0,29	0	1310	439	194	0,34	0	1399	505	206	0,36
SECTOR CIRCUNDANTE A LOS RÍOS AKANÁN Y APARAMÁN																				
Cuencas	Relieve 1 km					Relieve 3 km					Relieve 5 km					Relieve 7 km				
	min	max	mean	d.e	max/a	min	max	mean	d.e	max/a	min	max	mean	d.e	max/a	min	max	mean	d.e	max/a
Akanan	449	540	470	11,3	16,8	449	540	470	11,3	16,8	462	678	478	103	21	487	693	508	114	21,5
Aparaman	468	517	477	10,5	24,1	468	517	477	10,5	24,1	503	698	493	107	32,5	528	717	512	127	33,4

Tabla 4.33. Valores de relieve calculado en diferentes radios de envolvente (1 km, 3 km, 5 km y 7 km), además de los valores óptimos para la correlación (máximo relieve dividido entre el área de cada cuenca) de las cuencas de interés pertenecientes al margen central del río Orinoco.

La figura 4.36, muestra los mapas de relieve para las cuencas estudiadas en el margen central del río Orinoco, calculados en radios de envolvente de 1km.

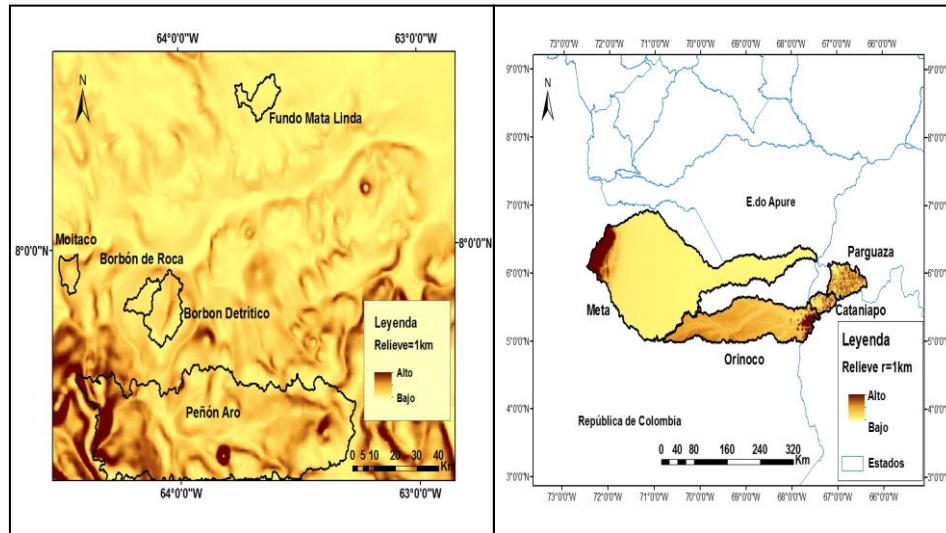


Figura 4.36. Relieve para el margen central del río Orinoco: Formación Mesa 1km(Izq.); Zona al suroeste del río Orinoco 1km (Izq.).

4.5.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

A continuación se muestran las gráficas de curvas hipsométricas y el valor de integral hipsométrica, para las cuencas de interés del margen central del río Orinoco, que al igual que en los sectores anteriores fueron generadas a través del “Ad-in” CalHypso (Pérez-Peña et al.,2009).

Comenzando con las cuencas pertenecientes al sector de la Formación Mesa, se tienen los siguientes resultados de integral hipsométrica (Hi): Fundo Mata Linda (0,70), Borbón Detrítico (0,65), Moitaco (0,55), Borbón de Roca (0,55) y Peñón Aro (0,34). El promedio de Hi obtenido de estas cuencas es 0,65. Para las cuencas pertenecientes a la zona al suroeste del río Orinoco, se tiene: Parguaza(0,31), Cataniapo (0,22), Orinoco (0,12) y Mesa (0,05). El promedio de Hi para estas

cuencas es de 0,17. Finalmente los valores de Hi para el sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán, se tiene a Akanán con 0,22 y Aparamán con 0,51, cuyo promedio general es 0,22. La tabla 4.34 muestra los valores de Hi y el promedio de Hi para cada sector perteneciente al margen central del río Orinoco.

FORMACIÓN MESA			ZONA AL SUROESTE RÍO ORINOCO			S. C. R. AKANÁN Y APARAMÁN.		
Cuenca	HI	Prom HI	Cuenca	HI	Prom HI	Cuenca	HI	Prom HI
B.Detrítico	0,65	0,65	Cataniapo	0,22	0,17	Akanan	0,22	0,22
B de Roca	0,51		Parguaza	0,31		Aparaman	0,51	
Fundo ML	0,70		Meta	0,05				
Moitaco	0,55		Orinoco	0,12				
Peñón	0,34							

Tabla4.34. Valores de Hi junto al promedio de Hi para las cuencas de interés del margen central del río Orinoco.

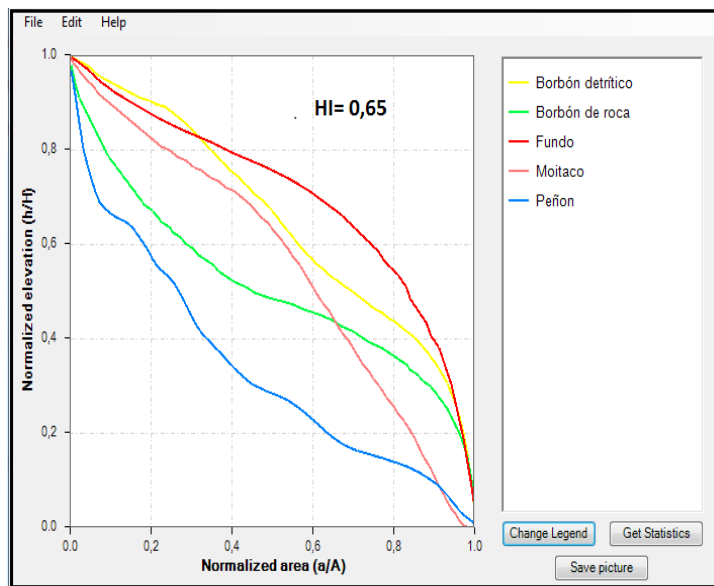


Figura 4.37. Promedio de curvas hipsométricas para la Formación Mesa.

Lafigura 4.37, muestra las gráficas pertenecientes a las cuencas que se estudiaron en la zona al suroeste del río Orinoco.

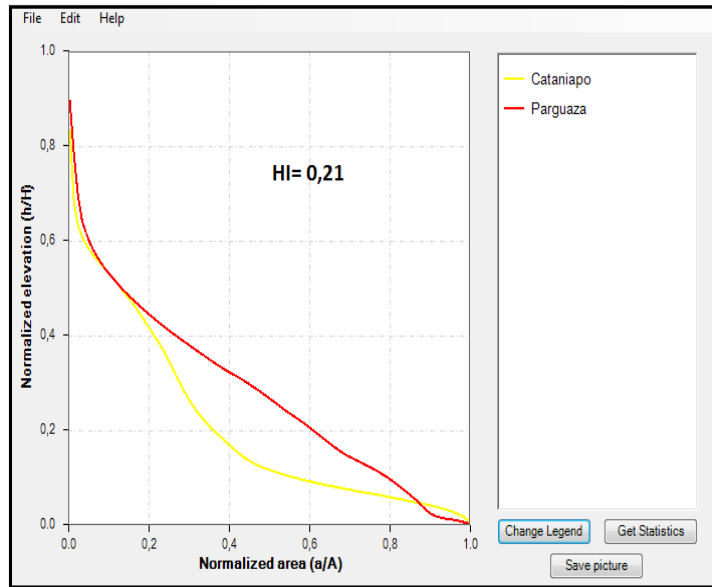


Figura 4.38a. Promedio de curvas hipsométricas de Cataniapo y Parguaza.

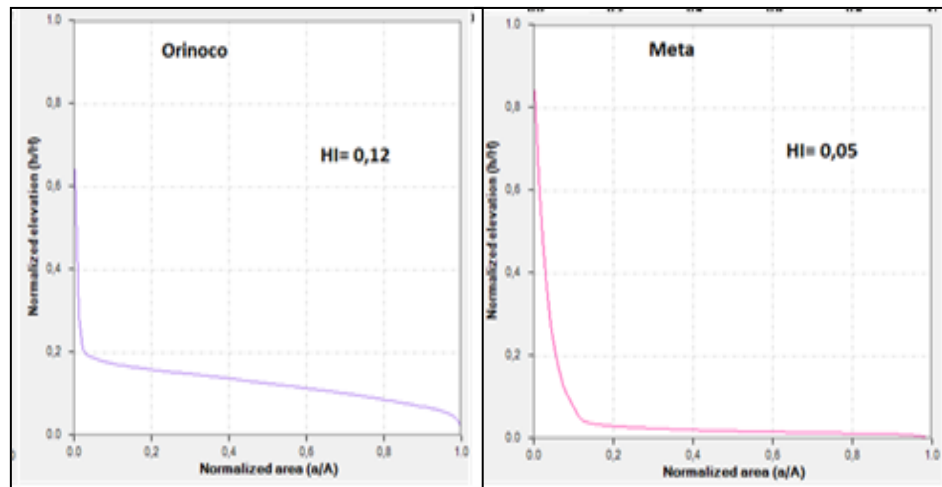


Figura 4.38b. Curvas hipsométricas de Orinoco y Meta.

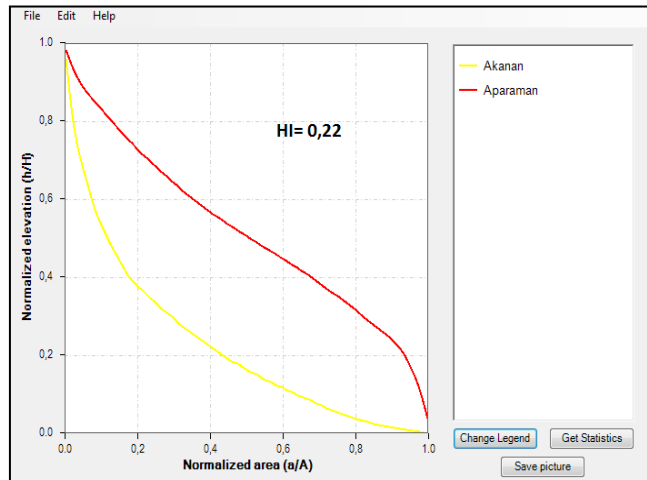


Figura 4.38c. Promedio entre las curvas hipsométricas de Akanán y Aparamán.

4.5.4 ÍNDICES DE HUMEDAD E ÍNDICES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

A continuación se presentan los valores de índices de humedad e índices de transporte para el margen central del río Orinoco.

Para la Fm Mesa, los valores de índices de humedad, considerando P uniformes (WI), son: Moitaco($0,14 \pm 0,03$), Borbón Detrítico($0,12 \pm 0,02$), Fundo Mata Linda($0,09 \pm 0,01$), Borbón de Roca($0,05 \pm 0,01$) y Peñón Aro ($0,003 \pm 0,0007$). En el caso de los índices de humedad considerando P variable (WI_p), se tiene: Moitaco ($20,49 \pm 4,29$), Peñón Aro($17,46 \pm 4,92$), Borbón de Roca ($14,64 \pm 2,94$), Fundo Mata Linda($14,34 \pm 2,64$) y Borbón Detrítico ($14,14 \pm 3,12$). Con respecto a los valores de índices de humedad con P uniformes para el Sector al Suroeste del Río Orinoco, se tiene: Cataniapo($0,01 \pm 0,002$), Parguaza($0,003 \pm 0,001$), Orinoco($0,001 \pm 0,0001$) y Meta($3,20E^{-4} \pm 5,73E^{-5}$). En cuanto a los valores de índices de humedad con P variable, se tiene: Cataniapo($0,01 \pm 0,002$), Parguaza($0,01 \pm 7,06E^{-4}$), Orinoco($8,98E^{-4} \pm 1,38E^{-4}$) y Meta($3,33E^{-4} \pm 5,75E^{-4}$). Finalmente en el Sector Circundante a los Ríos Akanan y Aparamán, para los valores de WI se tiene a Aparamán($0,51 \pm 0,13$) con el

mayor valor, luego le sigue Akanán(0,36±0,07). Para los valores de WIp se tienen: Aparamán (0,55±0,13) y Akanán (0,39±0,07).

La Formación Mesa presenta los siguientes valores: para los índices de transporte de sedimentos con P uniformes (STI): Borbón Detrítico (7076,15±69478,13), Moitaco (6503,64±45731,31), Fundo Mata Linda (1357,18±9921,91), Peñón(1170,90±24604,62) y Borbón de Roca(707,46±2747,65). Para los valores de índices de transporte con P variable, se tiene: Moitaco(11527,12±71092,35) Borbon Detrítico(8505,18±83624,10), Peñón(2139,40±49157,85), Fundo Mata Linda(1434,87±10990,05) y Borbón de Roca(816,04±83624,10. Los valores de índice de transporte, para las cuencas estudiadas en el Sector al Suroeste del Río Orinoco, son los siguientes: Parguaza (59,61±953,03), Cataniapo(40,36±536,42), Orinoco(26,20±736,89) y Meta(9,40±418,68). Para los resultados de STIp, se tiene a Parguaza (213625,92±3415925,27), Cataniapo(139382,95±1877979,31), Orinoco(62,45±1741,65) y Meta(17,59±786,67). Por último, para el Sector Circundante a los Ríos Akanán y Aparamán, se tiene que en esta zona los valores de STI, son los siguientes: Aparamán (3275,19±64054,54) y Akanán (29093,73±281052,31) y con respecto a STIp se tienen: Aparamán (103540,39±155881,25) y Aparamán (65427,12±735196,40). La Tabla 4,34, muestra los valores de Precipitación, WI, WIP, STI y STIp para las cuencas estudiadas en el sector denominado Margen Central de la cuenca del río Orinoco.

FORMACIÓN MESA										
Cuenca	PRECIPITACIÓN		WI		WIP		STI		STIp	
	media	d.est	media/ a	d.est/ a	media/a	d.est/ a	media/ a	d.est/ a	media/ a	d.est/ a
Bdetrítico	0,92	0,07	0,12	0,02	0,12	0,02	7076,15	69478,13	8505,18	83624,1
B. Roca	1,03	0,12	0,05	0,01	0,05	0,01	707,46	2747,65	816,04	3050,83
Fundo ML	0,91	0,13	0,09	0,01	0,09	0,01	1357,1	9921,91	1434,8	10990,0
Moitaco	1,17	0,13	0,14	0,03	0,15	0,03	6503,6	45731,3	11527,1	71092,3
Peñón	1,35	0,26	0,003	0,0007	0,003	6,56E-04	1170,9	24604,6	2139,40	49157,8
ZONA AL SUROESTE DE LA CUENCA DEL RÍO ORINOCO										
Cuenca	PRECIPITACIÓN		WI		WIP		STI		STIp	
	media	d.est	media/ a	d.est/ a	media/ a	d.est/ A	media/ a	d.est/ a	media/ a	d.est/ a
Meta	0,15	0,03	3,20E-04	5,73E-05	3,33E-04	5,75E-05	9,40	418,68	17,59	786,67
Orinoco	1,05	0,28	0,001	0,0001	8,98E-04	1,38E-04	26,20	736,89	62,45	1741,65
Cataniapo	0,28	0,04	0,01	0,002	0,01	0,002	40,36	536,42	139382,95	1877979,31
Parguaza	0,29	0,05	0,003	0,001	0,01	7,06E-04	59,61	953,03	213625,92	3415925,27
SECTOR CIRCUNDANTE A LOS RÍOS AKANÁN Y APARAMÁN										
Cuenca	PRECIPITACIÓN		WI		WIP		STI		STIp	
	media	d.est	media/ a	d.est/ A	media/ a	media/ a	media/ a	d.est/ a	media/ a	d.est/ a
Akanán	0,18	0,03	0,36	0,07	0,39	0,07	29093,79	281052,31	65427,12	735196,40
Aparamán	0,18	0,03	0,51	0,13	0,55	0,13	43275,19	64054,54	103540,39	155881,25

Tabla 4.35. Valores de Precipitación, Índices de Humedad (WI) y (WIP), e Índices de Erosión (STI) y (STIp).

La figura 4.39, muestra los mapas de índices de humedad e índices de transporte para las cuencas estudiadas en Formación Mesa.

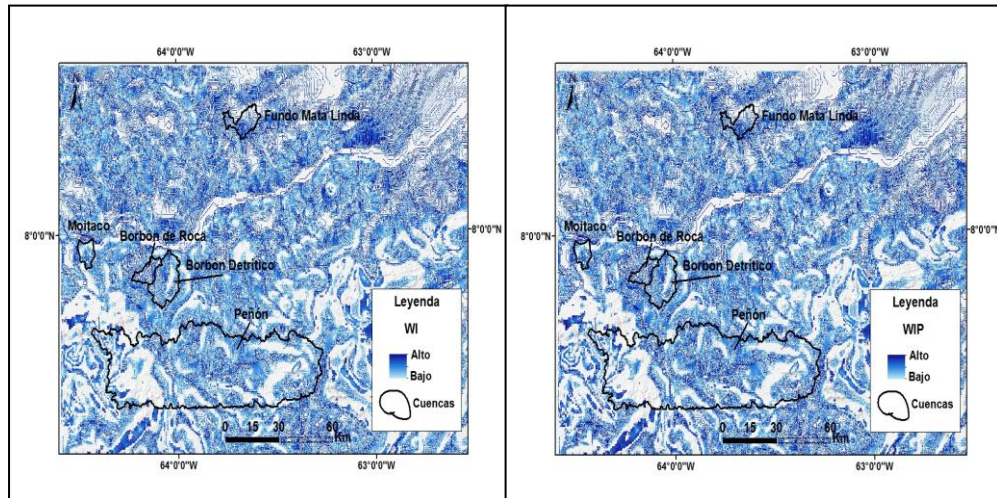


Figura 4.39a. Índices de humedad WI y WIP para Formación Mesa: Fm. Mesa WI (Izq.); Fm Mesa WIP (Der.).

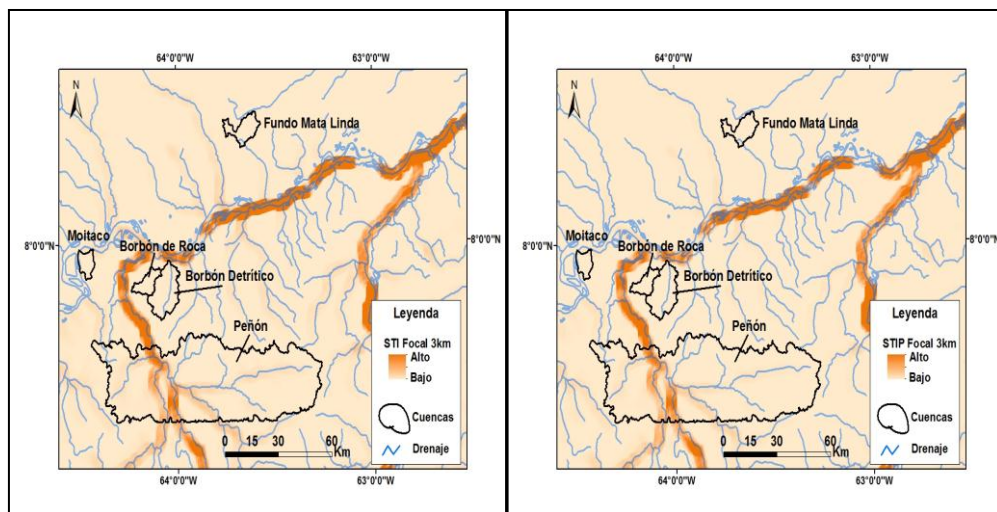


Figura 4.39b. Índices de transporte STI y STIP para Formación Mesa: Fm. Mesa STI (Izq.), Fm. Mesa STIP (Der.).

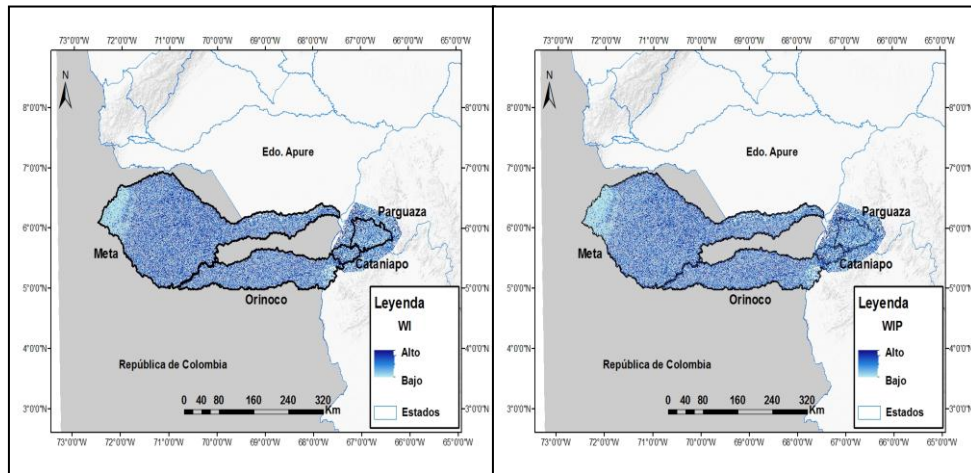


Figura 4.39c. Índices de humedad WI y WIP para la zona al suroeste del río Orinoco: WI (Izq.) y WIP (Der.).

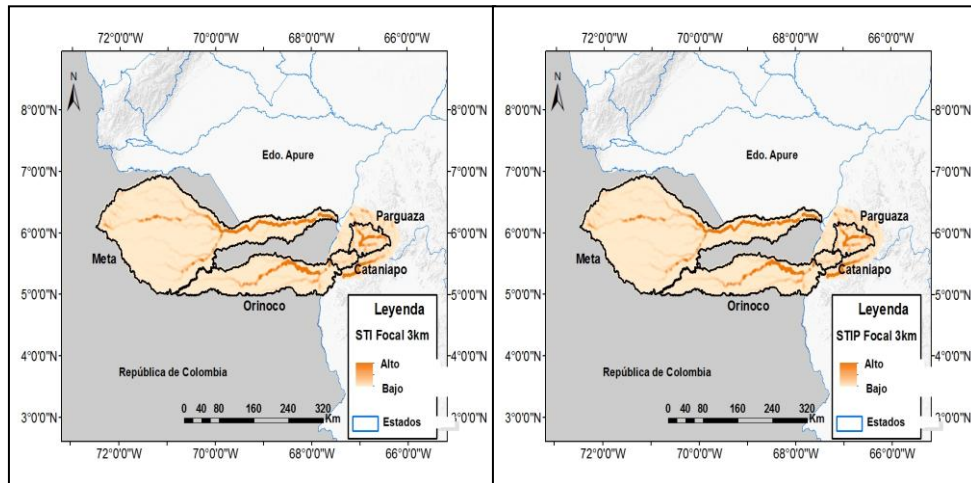


Figura 4.39d. Índices de transporte de sedimentos STI y STIP para la zona al suroeste del río Orinoco: STI (Izq.) y STIP (Der.).

4.5.5 DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA (KM²) QUE OCUPAN LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE ERODABILIDAD (K) PARA LAS CUENCAS DE INTERÉS EN EL MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

FORMACIÓN MESA				
Cuenca	Área en Km 2			
	Ignea K	Metam K	Sedi K	Desco K
Bdetrítico	6,78	99,03	162,6	0
Borbón roca	0	2,33	95,04	0
Fundo ML	0	0	141,56	0
Moitaco	0	15,26	65,43	0,3
Peñón	406,8	3144,66	23,25	54,65
ZONA AL SUROESTE DEL RÍO ORINOCO				
Cuenca	Área en Km 2			
	Ignea K	Metam K	Sedi K	Desco K
Cataniapo	1530,53	0	56,01	0,0001
Parguaza	3500,8	9,24	300,98	9,2
Meta	2,69	0	45103,44	3402,46
Orinoco	50,96	0	16447,34	119,2
S. C. R. AKANÁN Y APARAMÁN				
Cuenca	Área en Km 2			
	Ignea K	Metam K	Sedi K	Desco K
Akanan	7,17	0	25,89	0
Aparaman	0,005	0	21,14	0

Tabla 4.36. Área que ocupan los valores del coeficiente de erodabilidad (K), en las cuencas que pertenecen al margen central del río Orinoco. Ignea K= rocas ígneas, Metam K= rocas metamórficas, Sedi K = rocas sedimentarias, Desco K= desconocido.

4.5.6 ÍNDICES DE EROSIÓN. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

Los valores en las cuencas de la Fm Mesa, presentan para los TSP, a Borbón Detrítico(122,45±1202,28) Moitaco(112,55±569,73), Fundo Mata

Linda(23,48±171,69), Peñón(20,26±425,76) y Borbón de Roca(). Para los TSPpk, se tienen: Moitaco(366,03±2437,21), Borbón Detrítico(147,18±1447,09), Fundo Mata Linda(47,10±346,46), Borbón de Roca(27,73±103,12) y Peñón(25,78±606,61). Los valores de TSP para el Sector al Suroeste del Río Orinoco son: Cataniapo(42438,35±564,08), Parguaza(62,69±1002,17), Orinoco(25,98±730,57) y Meta(9,32±415,08). Con respecto a los valores de TSPpk, se tienen: Parguaza(103873,30±2450946,29), Cataniapo(69247,29±1750898,34) Orinoco(103,35±3123,51) y Meta(28,22±1208,30). Para el Sector Circundante a los Ríos Akanán y Aparamán, se tienen los valores siguientes de TSP Aparamán (749,31±1109,12), luego sigue Akanán (503,58±4863,77). Con respecto a los valores de TSPpk, se tiene lo siguiente: Aparamán (3507,66±5377,33) y Akanán (1047,68±2657,00).

En cuanto a los valores de USP, para la Fm Mesa se tiene a Moitaco(0,09±0,11), Borbón Detrítico(5,50E-2±0,11), Peñón(0,003±0,01), Fundo Mata Linda(1,20E-2±0,03) y Borbón de Roca(1,02E-2±0,02). Con respecto a los valores de USPpk, se tienen: Peñón(0,46±0,002), Moitaco(0,21±0,32), Borbón Detrítico(0,009±0,23), Borbón de Roca(0,021±0,04) y Fundo Mata Linda(0,001±0,03). Los valores de USP para el Sector al Suroeste del Río Orinoco son: Parguaza (11531,20±3941,58), Cataniapo (1613,59±44480,53), Meta (0,002±0,003) y Orinoco (0,001±0,01). Con respecto a los valores de USPpk, se tiene: Cataniapo(0,30±1,09) , Parguaza(0,22±1,00), Orinoco(0,002±0,02) y Meta(7,32E-4±0,01). En cuanto al índice USP, para el Sector Circundante a los Ríos Akanán y Aparamán, se tiene a Aparamán (0,87±0,86) y Akanán (0,38±0,54). Con respecto a los valores de USPpk, se tienen: Aparamán (2,62±2,71) y Akanán (0,84±1,14).

Para los valores de SSP, la Fm Mesa tiene a Moitaco(0,03±0,03), Borbón Detrítico(0,02±0,02), Borbón de Roca(0,01±0,01), Fundo Mata Linda(0,01±0,01) y Peñón(0,001±0,001). Con respecto a SSPpk, se tiene a Moitaco(0,08±0,08), Borbón de Roca (0,01±0,01), Borbón Detrítico(0,003±0,05), Fundo Mata Linda(0,001±0,001)

y Peñón($0,001 \pm 0,001$). En cuanto a los valores de SSP del Sector al Suroeste del Río Orinoco, se tiene a: Cataniapo($3990,02 \pm 5786,98$), Parguaza($2357,51 \pm 3658,21$), Meta($0,0001 \pm 0,0002$) y Orinoco($0,0001 \pm 0,0005$). Para SSPpk, se tiene a Cataniapo($0,02 \pm 0,03$), Parguaza($0,01 \pm 0,02$), Orinoco($0,0003 \pm 0,001$) y Meta($0,0001 \pm 0,0004$). Por último, los índices SSP para el Sector Circundante a los Ríos Akanán y Aparamán son: Aparamán ($0,27 \pm 0,20$) y Akanán ($0,13 \pm 0,12$) y en los índices SSPpk, los resultados fueron: Aparamán ($0,70 \pm 0,57$) y Akanán ($0,26 \pm 0,27$). La Tabla 4.37, muestra los resultados de los índices de erosión para todo el sector denominado Margen Central de la Cuenca del río Orinoco.

FORMACIÓN MESA												
Cuenca	TSP		USP		SSP		TSPpk		USPpk		SSPpk	
	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a
Bdestrítico	122,45	1202,28	5,50E-02	0,11	0,02	0,02	147,18	1447,09	9,00E-02	0,23	3,57E-02	0,05
Borbón roca	12,24	47,55	1,02E-02	0,02	0,01	0,01	27,73	103,12	0,021	0,04	0,011	0,01
Fundo ML	23,48	171,69	1,20E-02	0,03	0,01	0,01	47,10	346,46	1,00E-02	0,03	1,39E-02	1,93E-02
Moitaco	112,55	569,73	0,09	0,11	0,03	0,03	366,03	2437,21	0,210	0,32	0,08	0,08
Peñón	20,26	425,76	0,003	0,01	0,001	0,001	25,78	606,61	0,460	0,002	0,001	0,001
SECTOR AL SUROESTE DE LA CUENCA DEL RÍO ORINOCO												
Cuenca	TSP		USP		SSP		TSPpk		USPpk		SSPpk	
	media/ a	d.e/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a
Cataniapo	42438,35	564,08	1613,59	44480,53	3990,02	5786,98	69247,29	1750898,34	0,30	1,09	0,02	0,03
Parguaza	62,69	1002,17	11531,20	3941,58	2357,51	3658,21	103873,3	2450946,29	0,22	1,00	0,01	0,02
Meta	9,32	415,08	2,75E-04	0,003	0,0001	0,0002	28,22	1208,30	7,32E-04	0,01	1,33E-04	4,39E-04
Orinoco	25,98	730,57	0,001	0,01	0,0001	0,0005	103,35	3123,51	0,002	0,02	0,0003	0,001
SECTOR CIRCUNDANTE A LOS RÍOS AKANÁN Y APARAMÁN												
Cuenca	TSP		USP		SSP		TSPpk		USPpk		SSPpk	
	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a	media/ a	d.est/a
Akanan	503,58	4863,77	0,38	0,54	0,13	0,12	1047,68	2657,00	0,840	1,14	0,26	0,274
Aparaman	749,31	1109,12	0,87	0,86	0,27	0,20	3507,66	5377,33	2,62	2,71	0,70	0,57

Tabla 4.37. Valores de Índices de Erosión TSP, USP, SSP, TSPpk, USPpk y SSPpk, para el Margen Central del Río Orinoco.

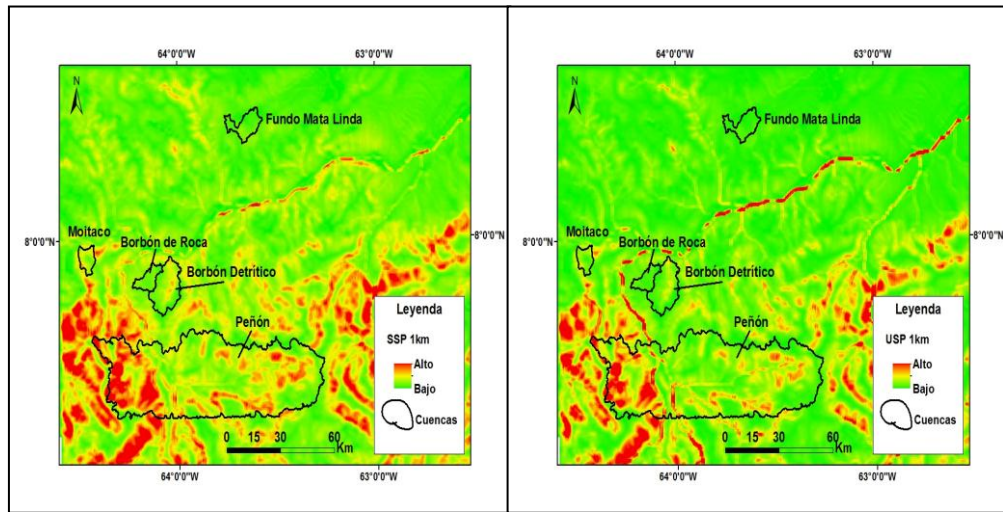


Figura 4.40a. Índices de erosión para Formación Mesa: TSP (Izq.) y USP (Der.).

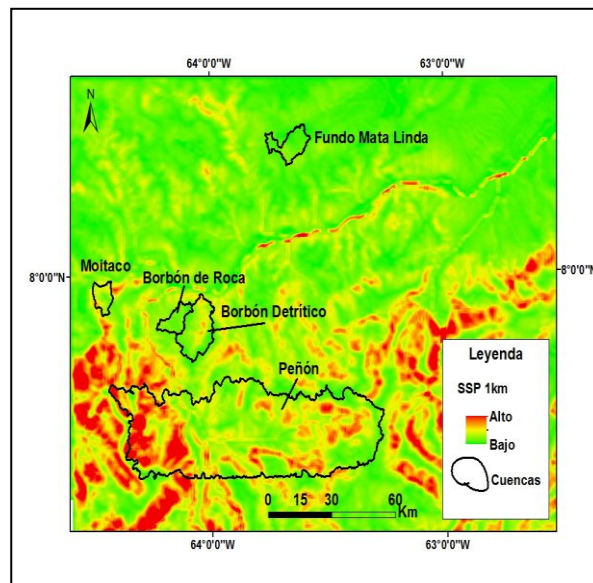


Figura 4.40b. Índice de erosión para Formación Mesa: SSP.

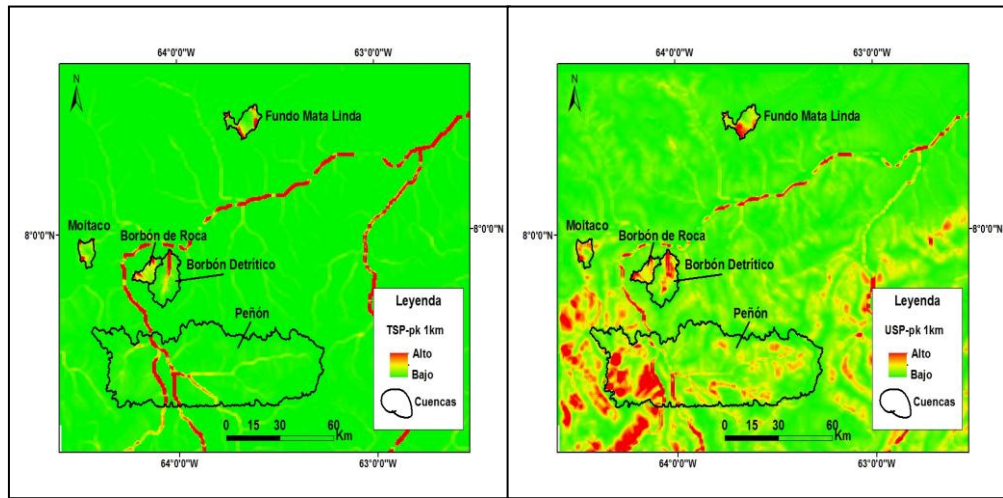


Figura 4.40c. Índices de erosión para Formación Mesa: TSPpk (Izq.) y USPpk (Der.).

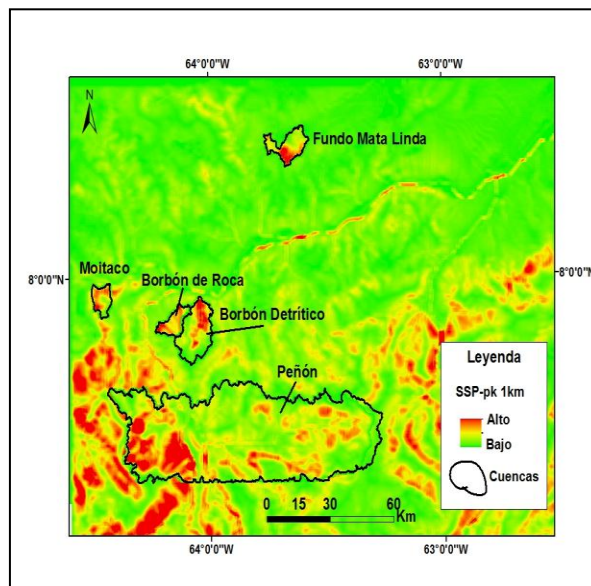


Figura 4.40d. Índices de erosión para Formación Mesa: SSPpk.

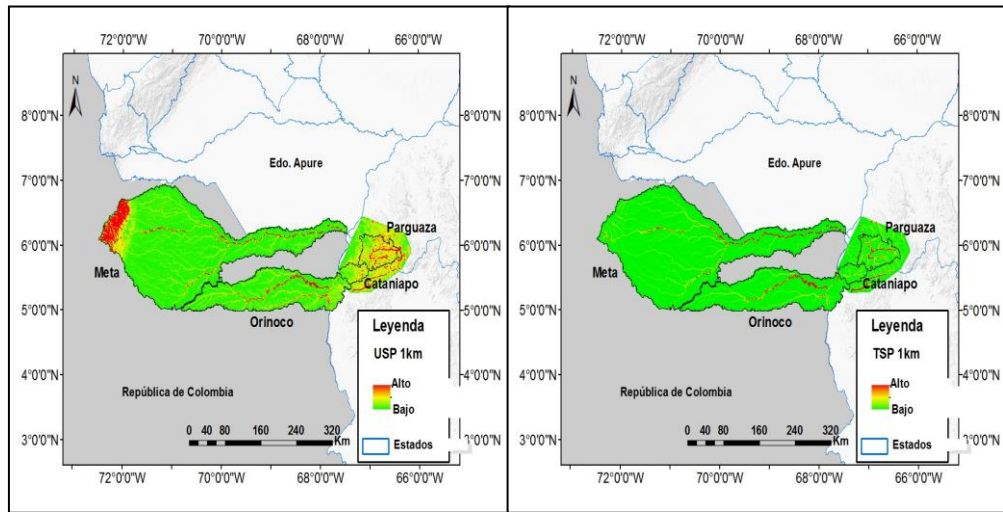


Figura 4.40e. Índices de erosión para la zona al suroeste del río Orinoco: TSP (Izq.) y USP (Der.).

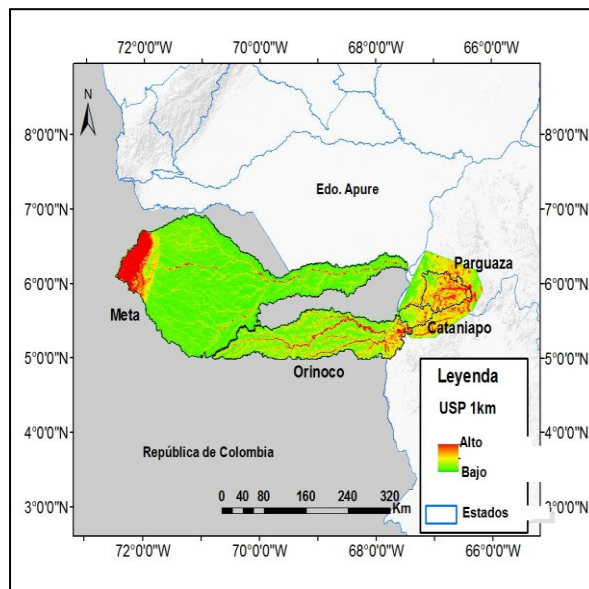


Figura 4.40f. Índice de erosión para la zona al suroeste del río Orinoco: SSP.

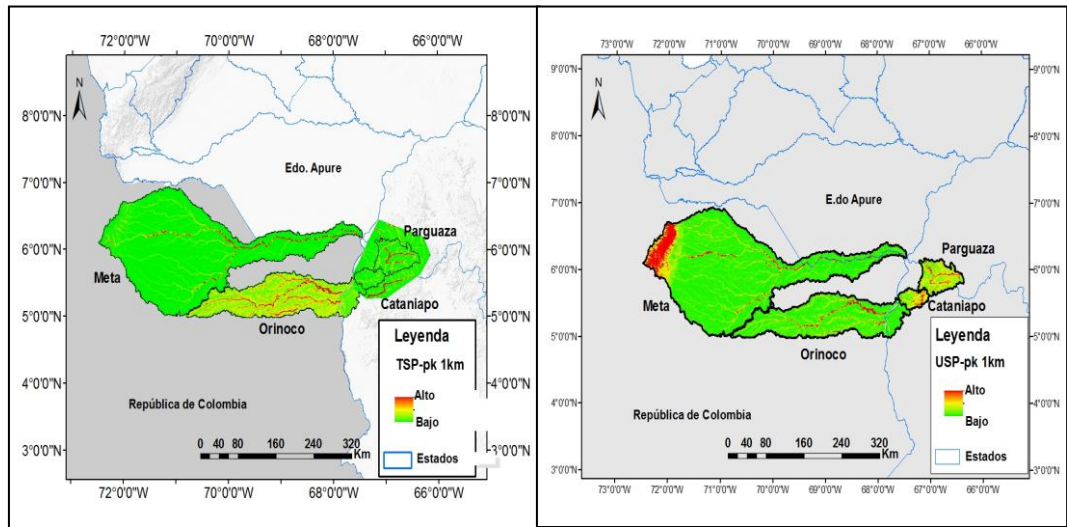


Figura 4.40g. Índice de erosión para el sector al suroeste del río Orinoco: TSPpk (Izq.) y USPpk (Der.).

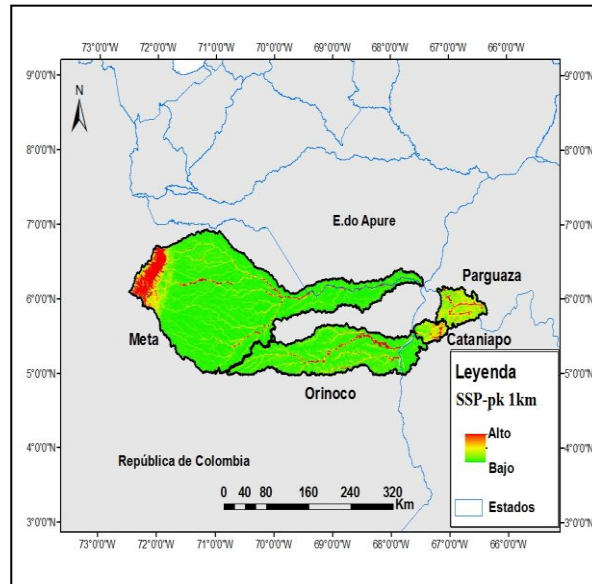


Figura 4.40h. Índice de erosión para el sector al suroeste del río Orinoco: SSPpk.

4.5.7 ESTUDIO DE LA DIMENSIÓN FRACTAL. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

Los valores de dimensión fractal para el margen central del río Orinoco, se observan en la tabla 4.38.

FORMACIÓN MESA			ZONA AL SUROESTE RÍO ORINOCO		
Cuenca	D. Fract.	d.est	Cuenca	D. Fract.	d.est
B.Detrítico	1,90	0,08	Cataniapo	1,64	0,11
B de Roca	1,61	0,12	Parguaza	1,74	0,07
Fundo ML	1,56	0,2	Meta	1,50	0,19
Moitaco	1,56	0,12	Orinoco	1,42	0,39
Peñón	1,63	0,2			

Tabla 4.38. Valores de dimensión fractal para las cuencas pertenecientes al margen central del río Orinoco.

La figura 4.40, muestra los coeficientes de dimensión fractal (D) para las cuencas que pertenecen a la Formación Mesa y para el sector al suroeste del río Orinoco, con respecto al sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán, no se realizó gráfico, debido a que al ser solo dos cuencas con valores similares, indica autosimilaridad directamente.

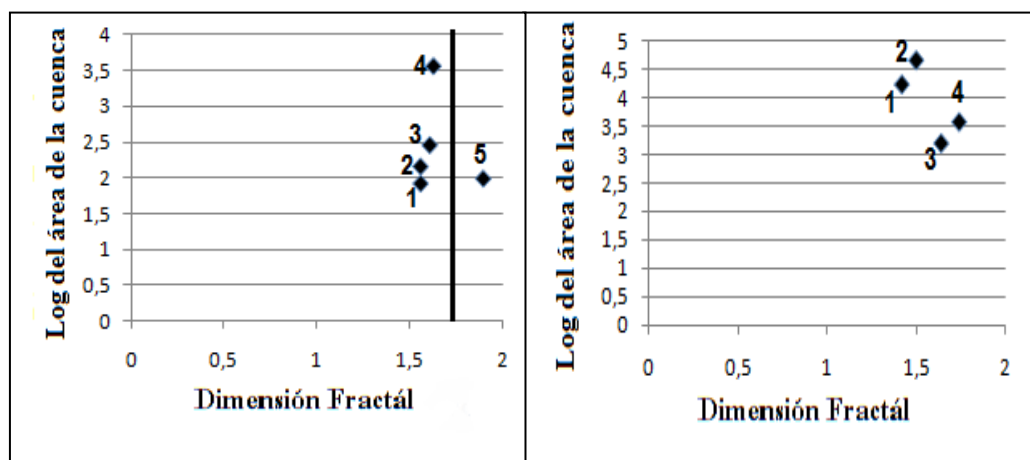


Figura 4.41. Grupo de cuencas de acuerdo al coeficiente de autosimilaridad para Formación Mesa (Izq.): 1) Moitaco, 2) Fundo M.L., 3) Borbón de Roca, 4) Peñón Aro, 5) Borbón Detrítico. Grupo de cuencas de acuerdo al coeficiente de autosimilaridad para el sector al suroeste del río Orinoco (Der.): 1) Orinoco, 2) Meta, 3) Cataniapo y 4) Parguaza.

En la figura 4.41, se observa para las cuencas pertenecientes a la Formación Mesa (lado izquierdo), cuatro cuencas agrupadas (1, 2, 3,4) las cuales indican autosimilaridad en cuanto a los procesos controladores del relieve y una cuenca dispersa (5), que indica diferencias con respecto a las tres cuencas antes mencionadas.

En cuanto a la dimensión fractal para la zona al suroeste del río Orinoco, se observa dos grupos autosimilares claramente. El primer grupo conformado por las cuencas Meta y Orinoco y el segundo grupo conformado por las cuencas Cataniapo y Parguaza, lo que puede indicar que en cada par de cuencas se están presentando procesos distintos que controlan el relieve.

Con respecto a las cuencas pertenecientes al sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán, al ser cuencas de área similar, muy cercanas, e incluso con coeficiente D muy parecidos, se puede decir que están siendo afectadas por el mismo factor controlador de relieve, ya sea principalmente tectónica, o clima o la combinación de ambos.

4.5.8 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD MINERALÓGICA. MARGEN CENTRAL DEL RIO ORINOCO

4.4.8.1 VALORES DE ESFERICIDAD, REDONDEZ Y PORCENTAJE MINERAL

La tabla 4.39 muestra los valores de porcentaje mineral para las cuencas de interés pertenecientes a la Formación Mesa, donde se observa que los minerales más abundantes son Circón, Esfena, Rutilo y Topacio, mientras que los minerales de menor porcentaje son algunos Óxidos, pirita, Anortita y Calco-Olivino.

PORCENTAJE MINERAL. FM. MESA								
Cuencas	Anortita	Calco-Olivino	Circón	Esfena	Óxido	Pirita	Rutilo	Topacio
Borbón Detr.	17,51	0	70,5	2,76	0	0	5,06	4,14
Borbón de R.	0,9	0	71	2,7	0	0	19,09	12,72
Moitaco	20,94	4,71	50,78	2,09	0	11,51	4,71	5,23
Fundo M.L.	0	0	63,76	0,91	4,12	0	23,85	7,33
Peñón Aro	0	0	71,07	11,76	0	0	10,78	6,37

Tabla 4.39. Valores de porcentaje mineral para las cuencas de interés de la Formación Mesa. Fuente: López y Uzcátegui (2014).

La figura 4.42 presenta en diagramas de torta, los resultados mostrados en la tabla 4.38.

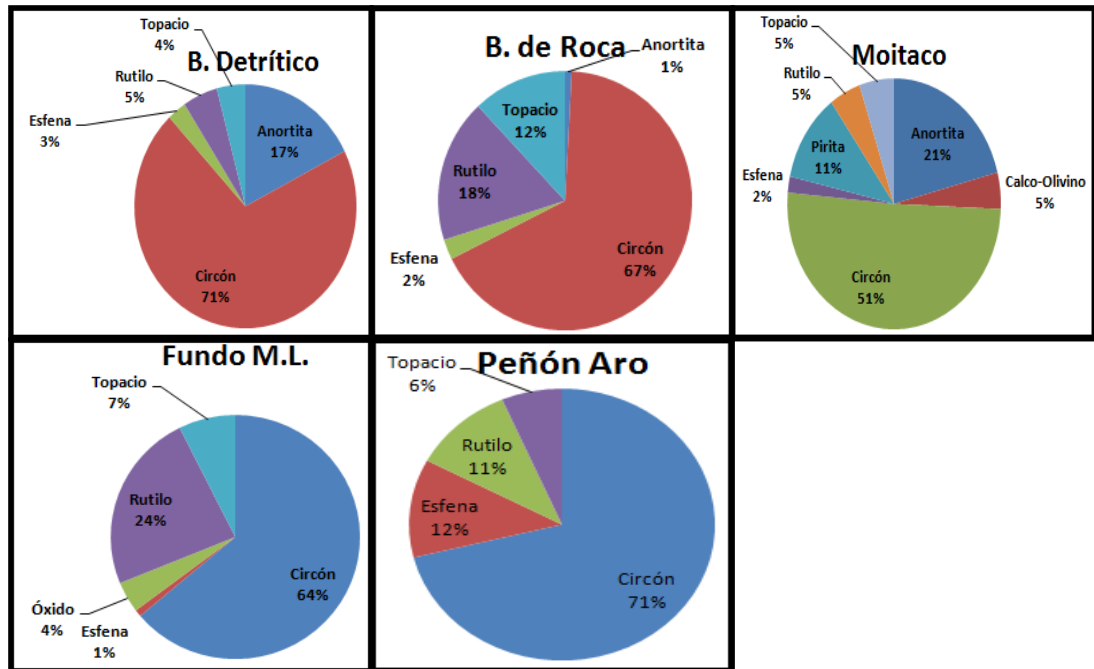


Figura 4.42. Diagramas de torta que muestran el porcentaje de mineral de las cuencas pertenecientes a Fm. Mesa.

La tabla 4.40, muestra el porcentaje mineral existente en las cuencas pertenecientes a la zona al suroeste del río Orinoco, donde predominan los minerales

como Circón, Óxidos y Cuarzo, mientras que los que se encuentran en menor proporción son Apatito, Rutilo y Topacio.

PORCENTAJE MINERAL. ZONA AL S. RÍO ORINOCO						
Cuencas	Apatito	Circón	Cuarzo	Óxido	Rutilo	Topacio
Cataniapo	1	75	20	1	2,5	0,5
Parguaza	3,51	84,42	3,51	2,01	6,03	0,5
Orinoco	5,47	47,76	3,98	21,89	6,96	13,93
Meta	1,62	39,45	7,02	41,62	9,72	0,54

Tabla 4.40. Valores de porcentaje mineral para las cuencas de interés en el sector al suroeste del río Orinoco. Fuente: Albornoz y Lezama (2014).

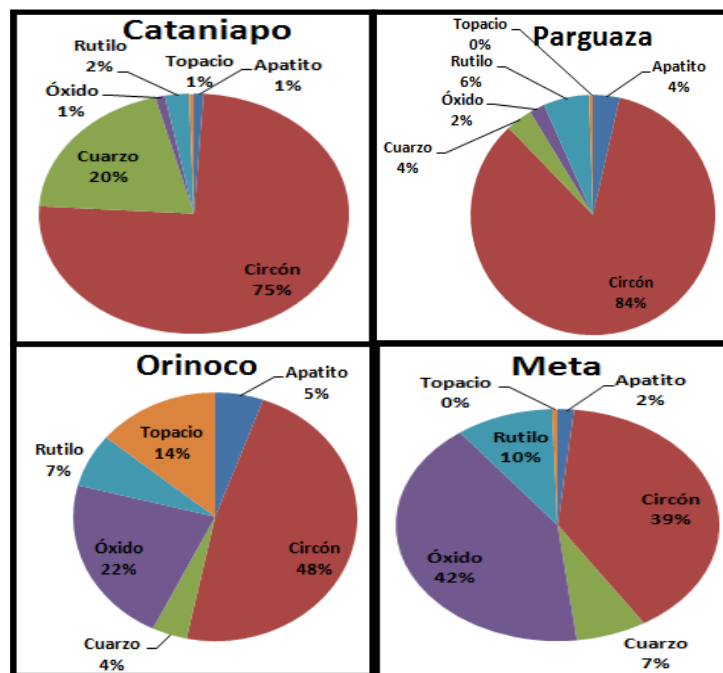


Figura 4.43. Diagramas de torta que muestran los valores de porcentaje mineral en las cuencas Cataniapo, Parguaza, Orinoco y Meta.

La tabla 4.41, muestra el porcentaje mineral encontrado en la cuenca Akanán, de la zona denominada sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán, donde se observa mayor presencia de Circon y algunos Óxidos, mientras que los minerales de menor abundancia son Cuarzo, Moscovita, Rutilo y Sillimanita.

PORCENTAJE MINERAL. CUENCA AKANÁN

Cuencas	Circón	Cuarzo	Moscovita	Óxido	Rutilo	Sillimanita
Akanán	48,23	7,05	1,17	29,41	8,23	5,88

Tabla 4.41. Valores de porcentaje mineral para la cuenca Akanán, perteneciente al sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán. Fuente: Calderón (2015).

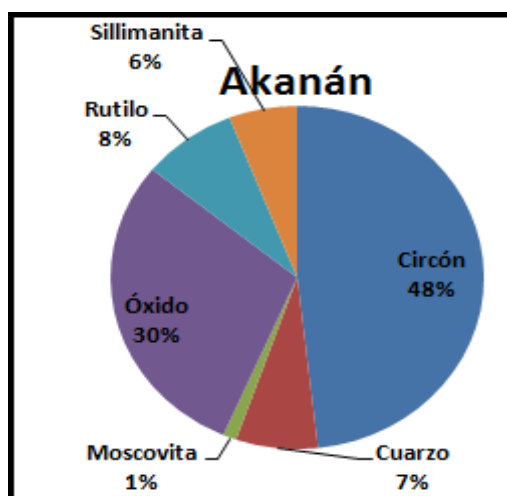


Figura 4.44. Diagramas de torta del porcentaje mineral de la cuenca Akanán.

La tabla 4.42, muestra los valores de esfericidad, para cada mineral pertenecientes a las cuencas estudiadas en la Formación Mesa.

ESFERICIDAD. FM. MESA								
Cuencas	Anortita	Calco-Olivino	Circón	Esfena	Óxido	Pirita	Rutilo	Topacio
Borbón Detr.	0,78	0	0,77	0,81	0	0	0,75	0,76
Borbón de R.	0	0	0,64	0	0	0	0	0,78
Moitaco	0,77	0,61	0,77	0,63	0,81	0,76	0,72	0,83
Fundo M.L.	0	0	0,81	0	0	0	0,83	0,8
Peñón Aro	0	0	0,81	0,83	0	0	0,83	0,79

Tabla 4.42. Valores de esfericidad para cada mineral estudiado en la Formación Mesa. Fuente: Lopez y Uzcátegui (2014).

La tabla 4.43, muestra los valores de esfericidad para las cuencas estudiadas en la zona al suroeste del río Orinoco.

ESFERICIDAD. ZONA AL S. RÍO ORINOCO						
Cuencas	Apatito	Circón	Cuarzo	Óxido	Rutilo	Topacio
Cataniapo	0,741	0,744	0,723	0,808	0,783	0,672
Parguaza	0,724	0,729	0,749	0,813	0,77	0,813
Orinoco	0,764	0,753	0,733	0,765	0,753	0,719
Meta	0,72	0,78	0,77	0,76	0,756	0,794

Tabla 4.43. Valores de esfericidad para las cuencas estudiadas en la zona al suroeste del río Orinoco. Fuente: Albornoz y Lezama (2014).

La tabla 4.44, muestra el promedio general de esfericidad para la cuenca Akanán, perteneciente al sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán.

ESFERICIDAD. CUENCA AKANÁN						
Cuencas	Circón	Cuarzo	Moscovita	Óxido	Rutilo	Sillimanita
Akanán	Promedio general de Esfericidad= 0,65					

Tabla 4.44. Valor promedio general de esfericidad para la cuenca Akanán. Fuente: Calderón (2015).

La tabla 4.45, muestra los valores de redondez para cada mineral de las cuencas estudiadas en la Formación Mesa.

REDONDEZ. FM.MESA								
Cuencas	Anortita	Calco-Olivino	Circón	Esfena	Óxido	Pirita	Rutilo	Topacio
Borbón Detr.	0,66	0	0,64	0,95	0	0	0,6	0,69
Borbón de R.	0	0	0,43	0	0	0	0	0,7
Moitaco	0,72	0,48	0,72	0,6	0	0,71	0,67	0,83
Fundo M.L.	0	0	0,73	0	0,7	0	0,78	0,73
Peñón Aro	0	0	0,74	0,79	0	0	0,82	0,79

Tabla 4.45. Valores de redondez para los minerales estudiados en la Formación Mesa. Fuente López y Uzcátegui (2014).

La tabla 4.46, muestra los valores de redondez para los minerales encontrados en las cuencas pertenecientes a la zona al suroeste del río Orinoco.

REDONDEZ. ZONA AL S. RÍO ORINOCO						
Cuencas	Apatito	Circón	Cuarzo	Óxido	Rutilo	Topacio
Cataniapo	0,652	0,616	0,739	0,756	0,814	0,517

Parguaza	0,56	0,61	0,78	0,699	0,785	0,6
Orinoco	0,75	0,69	0,76	0,766	0,759	0,762
Meta	0,59	0,69	0,83	0,786	0,77	0,82

Tabla 4.46. Valores de redondez para las cuencas estudiadas en el sector al suroeste del río Orinoco. Fuente: Albornoz y Lezama (2014).

La tabla 4.47, muestra el promedio general de redondez para la cuenca Akanán.

REDONDEZ. CUENCA AKANÁN						
Cuencas	%Circón	%Cuarzo	%Moscovita	%Óxido	%Rutilo	%Sillimanita
Akanán	Promedio General de Redondez= 0,62					

Tabla 4.47. Promedio general de redondez para la cuenca Akanán, perteneciente al sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán. Fuente: Calderón (2015).

4.5.8.2 MAPAS DE VARIABILIDAD MINERALÓGICA.

Los mapas de variabilidad mineralógica para el margen central del río Orinoco, son los siguientes:

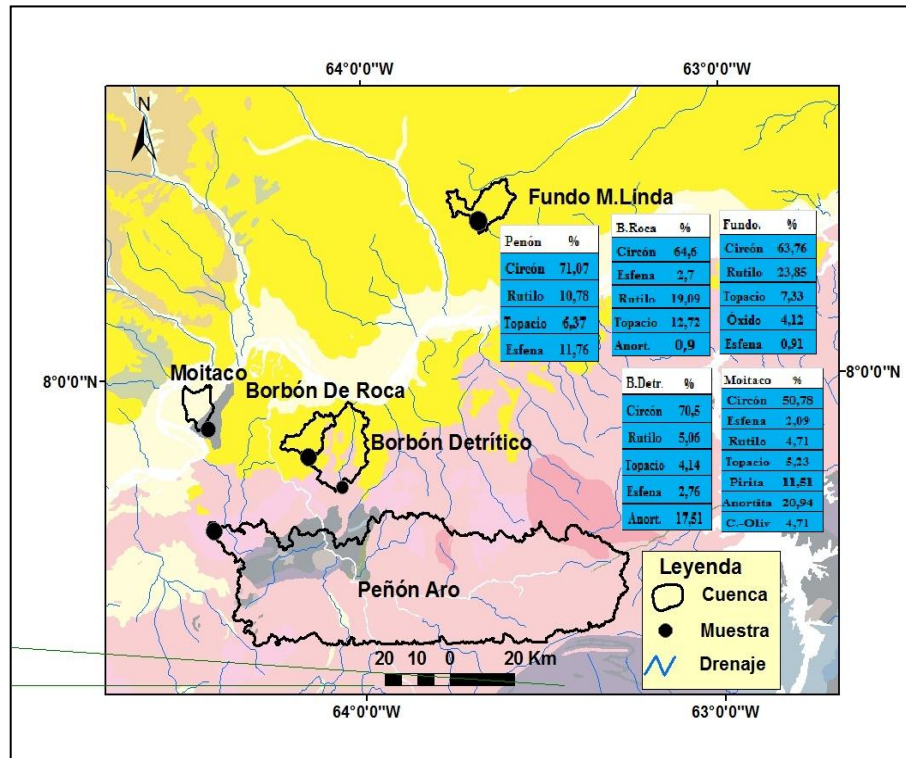


Figura 4.45. Variabilidad mialológica para las cuencas pertenecientes a la Formación Mesa. Se observan los puntos donde fueron obtenidas las muestras, las unidades litológicas presentes en la zona y el porcentaje mineral en cada cuenca.

Unidades litológicas presentes en la Formacion Mesa

Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
	Fm.Mesa	Pleistoceno	Arenisca y Grava

BORBÓN DETRÍTICO	Complejo Imataca	Precámbrico Temp	Gneiss, cuarzo felde- pático
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
MOITACO	Fm.Mesa	Pleistoceno	Arenisca y Grava
	Complejo Imataca	Precámbrico Temp	Gneiss, cuarzo felde- pático
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
FUNDO MATA LINDA	Fm.Mesa	Pleistoceno	Arenisca y Grava
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
PEÑÓN ARO	Complejo Imataca	Precámbrico Temp	Gneiss, cuarzo felde- pático
	Complejo Supamo	Precámbrico	Paragneisses, cuarzo feldespático
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
BORBÓN DE ROCA	Fm.Mesa	Pleistoceno	Arenisca y Grava
	Complejo Imataca	Precámbrico Temp	Gneiss, cuarzo felde- Pático

Tabla 4.48. Unidades litológicas presentes en las cuencas pertenecientes a la Fm Mesa (Hackley et al ., 2005).

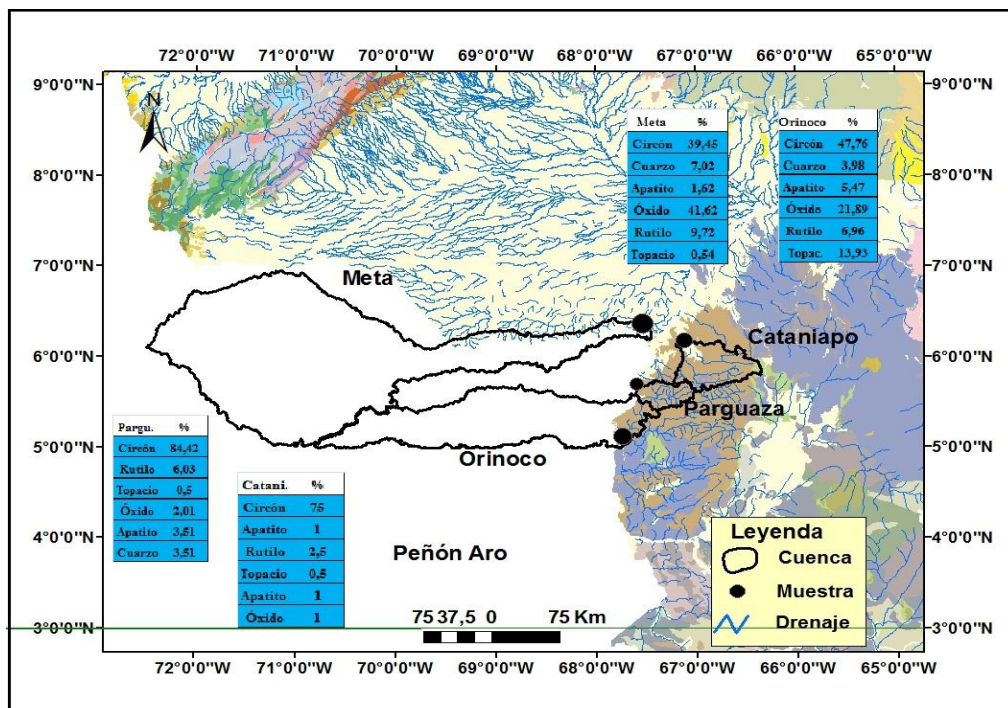


Figura 4.46 Variabilidad mineralógica para las cuencas estudiadas en la zona al suroeste del río Orinoco, donde se observa la zona donde fueron recogidas las muestras, las unidades litológicas presentes y el porcentaje mineral obtenido en el muestreo.

Unidades litológicas presentes en el sector al suroeste del río Orinoco

Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
PARGUAZA	Fm.Moriche	Precámbrico	Metaconglomerados, cuarcita y esquistos micáceos
	Fm.Cinaruco	Precámbrico	Metaconglomerados, cuarcita y esquistos micáceos
	Fm.Esmeralda	Precámbrico	Metaconglomerados, cuarcita y esquistos micáceos
	Grupo Roraima	Proterozoico Medio	Cuarzo arenitas y lutitas
	Granito de Parguaza	Precámbrico	Granito, textura rapakivi
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología

CATANIAPO	Granito de Parguaza	Precámbrico	Granito, textura rapakivi
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
	Granito de Parguaza	Precámbrico	Granito, textura rapakivi
	Fm. Guadalupe	Cretácico Superior	Arenisca intercalada con arcillas y limolita
	Fm. Palmichal	Cretácico Superior	Arenicas intercalada con arcillas y limolita
	Fm. Chipaque	Cretácico Superior	Arenicas intercalada con arcillas y limolita
	Fm. Gachetá	Cretácico Superior	Arenicas intercalada con arcillas y limolita
	Fm. Une	Cretácico Superior	Arenicas intercalada con arcillas y limolita
	Fm. Paja	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas
	Fm. San Gil	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas
	Fm. Trinchera	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas
	Fm. Socotá	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas
	Fm. Hilo	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas
	Fm. La Frontera	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas
	Fm. Churuvita	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas

META	Fm.San Rafael	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas
	Fm.Cucaita	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas
	Fm.Conejo	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas
	Fm.Villeta	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas
	Fm.Chipaque	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas
	Fm.Cumbre	Cretácico Inferior	Areniscas
	Fm.Rosablanca	Cretácico Inferior	Areniscas
	Fm.Ritoque	Cretácico Inferior	Areniscas
	Fm.Macanal	Cretácico Inferior	Areniscas
	Fm.Batá	Cretácico Inferior	Areniscas
	Fm.Las Juntas	Cretácico Inferior	Areniscas
	Fm.Cáqueza	Cretácico Inferior	Areniscas
	Fm.Fómeque	Cretácico Inferior	Areniscas
	Fm.La Naveta	Cretácico Inferior	Areniscas
	Fm.Bejucal	Cretácico Inferior	Areniscas
	Fm.Murca	Cretácico Inferior	Areniscas
	Fm.Pinzaima	Cretácico Inferior	Areniscas
	Fm.Regadera	Eoceno	Areniscas de grano grueso y conglomerado
	Fm.Concentración	Eoceno	Areniscas de grano grueso y conglomerado
	Fm.Bogotá	Eoceno	Areniscas de grano grueso y conglomerado
Fm.Picacho	Eoceno	Areniscas de grano grueso y conglomerado	

	Fm.Socha	Eoceno	Areniscas de grano grueso y conglomerado
	Fm.Guayabo	Mioceno	Arcillas y lutitas grisáceas
	Fm.Diablo	Mioceno	Arcillas y lutitas grisáceas
	Fm.León	Mioceno	Arcillas y lutitas grisáceas
	Fm.Carbonera	Mioceno	Arcillas y lutitas grisáceas
	Fm.San Fernando	Mioceno	Arcillas y lutitas grisáceas
Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
ORITUCO	Grupo Cuchivero	Precámbrico	Conglomerados, guijarros, esquistos cuarzosos
	Granito de Parguaza	Precámbrico	Granito Rapakivi
	Fm.Atabapo	Precámbrico	Conglomerados, guijarros, esquistos cuarzosos

Tabla 4.49. Unidades litológicas presentes en las cuencas Parguaza, Cataniapo, Meta y Orinoco

(Hackley et al., 2005; Tapias et al., 2007).

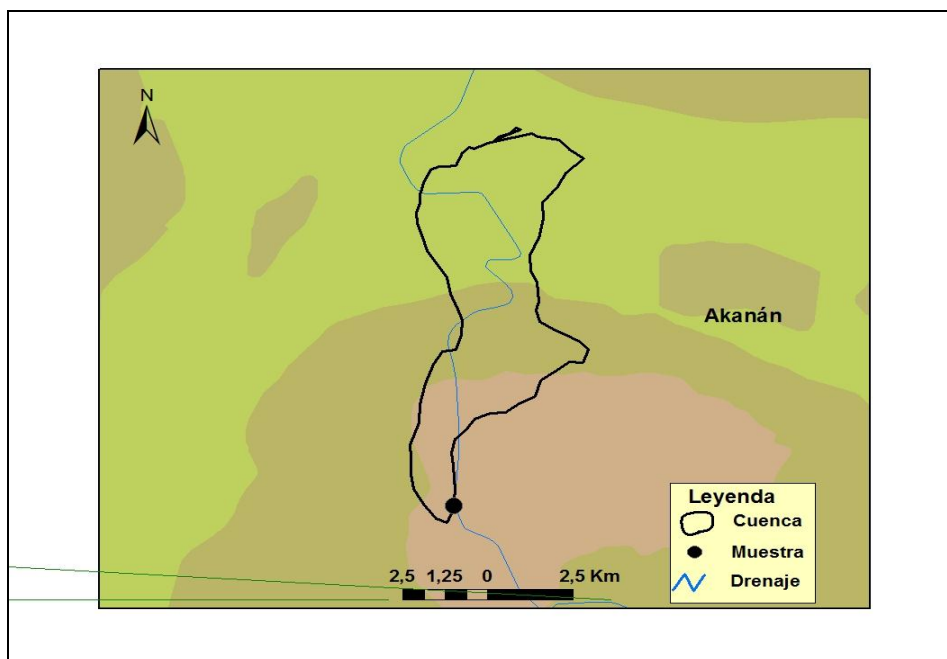


Figura 4.47. Variabilidad mineralógica para la cuenca Akanán, se observa la zona donde fue recogida la muestra, las unidades presentes y el porcentaje mineral.

Unidades litológicas presentes en la cuenca Akanán

Cuenca	Formaciones	Edad	Litología
AKANÁN	Grupo Roraima (inf)	Proterozoico Medio	Cuarzoarenisca, arkosa arenisca conglomerática y SILTSTONE
	Grupo Roraima (med)	Proterozoico Medio	Cuarzoarenisca, arkosa Siltstone y Grauwaka

Tabla 4.50. Unidades litológicas presentes en la cuenca Akanán (Hackley et al., 2005).

CAPITULO V

5 ANÁLISIS E INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

5.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta el análisis, discusión detallada e integración de todos los resultados obtenidos para los diferentes sectores de la zona de estudio. Dicho análisis se basa principalmente en los factores controladores del relieve actual y cual de estos factores está afectando principalmente el relieve.

5.2 ANÁLISIS DIGITAL DEL TERRENO PARA EL FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

5.2.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, PENDIENTE Y ELEVACIÓN. FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

La tabla 4.1, muestra los valores de precipitación, área, pendiente y elevación para el flanco norandino y surandino. Se observa que en el flanco norandino, la cuenca con mayor valor de precipitación promedio es AguaViva-Chejendé ($1,07\text{m}\pm 0,46$) y el menor valor lo tiene la cuenca San Pedro ($0,77\text{m}\pm 0,01$). Siguiendo con el área, nuevamente es AguaViva-Chejendé ($4519,39\text{km}^2$) la de mayor superficie y es la cuenca del río Coloncito ($102,94\text{km}^2$) la de menor área. Con respecto a los valores de pendiente y elevación, son las cuencas Tucaní ($54,88^\circ\pm 21,36$ y $2629,09\text{m}\pm 1021,4$) y AguaViva-Chejendé ($29,54^\circ\pm 19,54$ y $1288,18\text{m}\pm 978,43$) el mayor y menor valor respectivamente. Para el flanco surandino, la mayor precipitación la tiene la cuenca Michay ($3,60\text{m}\pm 0,71$) y el menor valor la cuenca del río Boconó ($1,56\text{m}\pm 0,70$). Con respecto al área, la mayor superficie la tiene la cuenca del río Caparo ($3329,83\text{km}^2$) y siguiendo con los valores de pendiente y elevación, son las cuencas de los ríos Santo Domingo ($42,35^\circ\pm 20,85$ y $2563,44\text{m}\pm 1007,24$) y Uribante ($0,73^\circ\pm 0,67$ y $198,66\text{m}\pm 7,00$) la de mayor y menor valor respectivamente.

5.2.2 RELIEVE. FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

Los valores de relieve aparecen reflejados en la tabla 4.2, donde se observa que para el flanco norandino, la cuenca con mayor relieve relativo de 1km de radio es Coloncito (7,95km), y el menor lo tiene Chama (0,33km), sin embargo al analizar los relieves relativos en radio 7km se observa un orden distinto, puesto que el mayor valor lo sigue teniendo la cuenca Coloncito (43,30km²), pero el menor valor cambia a AguaViva-Chejendé (0,52km), lo que puede significar que a mayor escala el desgaste es mayor para esta última cuenca mencionada. La figura 4.2, muestra que a 1km de diámetro el relieve se encuentra uniformemente distribuido. Estas cuencas han sido sometidas a grandes niveles de erosión, lo que denota, que es un área muy cercana a grandes afluentes que han modelado el relieve o que la litología ha intervenido en gran parte, para que se haya producido un desgaste tan irregular, además para las cuencas Aguaviva-Chejendé y Chama, el relieve se encuentra alineado a los principales sistemas de falla. Por último la cuenca Aguaviva-Chejendé alcanza los puntos más altos de relieve en el vértice formado por las fallas Valera y Boconó y para la cuenca del río Chama, en los bloques tectónicos denominados Sierra Nevada de Mérida al sur y Sierra la Culata al norte.

Para la zona del flanco surandino, el relieve se hace prominente, en lo que se considera las cuencas centrales del flanco, que son Guanare, Boconó, Santo Domingo, Canaguá y Caparo, lo cual puede verse en la figura 4.2, donde se observa que el relieve puede estar controlado por los sistemas de fallas presentes (Guanare Santo Domingo y Boconó, estarían afectadas por el sistema de fallas de Boconó y Canaguá y Caparo por el sistema de falla de Caparo). En el caso de Capitanejo, sólo es afectada por el sistema de falla de Caparo al norte de ésta. La cuenca del río Michay, no presenta estructuras importantes que determinen que el relieve esté controlado por la tectónica (aunque se encuentre sobre el bloque Caparo) y Guache y Uribante, que son cuencas que se encuentran en extremos distintos, escapan de dichos

sistemas de fallas importantes, lo que puede indicar que la erosión en ellas se maneja de manera diferente, ya sea por erosión fluvial, litología o erosión antrópica. La figura 5.1 muestra los sistemas de fallas geológicas más importantes de Venezuela, donde se observan los sistemas de fallas antes nombrados para el flanco surandino y norandino.

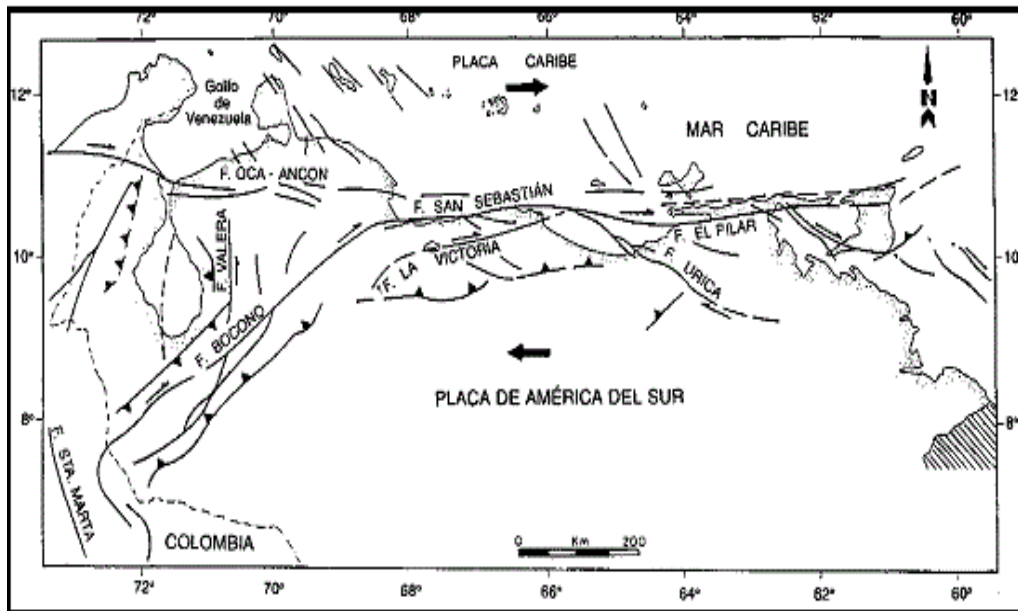


Figura 5.1. Fallas geológicas más importantes de Venezuela (Tomado de Geologíavenezolana.blogspot.com).

5.2.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA. FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

En la tabla 4.3, se observa que el promedio de integral hipsométrica para el flanco norandino es $H_i=0,45$, lo que implica que la zona muestra una fase general de madurez o equilibrio; sin embargo se observan algunos comportamientos a nivel individual de las cuencas. Por ejemplo Agua Viva-Chejendé ($H_i=0,30$), se encuentra

en el límite entre vejez o senectud y madurez o equilibrio, lo que indica que pueden actualmente estar presentándose cambios en el orógeno, del mismo modo la cuenca Tucaní ($H_i=0,59$), cuyo valor está muy próximo a la fase de juventud o desequilibrio, el resto de cuencas muestra un comportamiento en fase de madurez o equilibrio, lo que significa que los procesos exo y endo dinámicos actúan de manera equilibrada manteniendo un equilibrio isostático. En el flanco surandino el promedio de integral hipsométrica ($H_i=0,32$. Ver tabla 4,3), indica una fase de madurez o equilibrio, sin embargo las cuencas Capitanejo y Guanare, muestran una fase de vejez o estabilidad. En este caso se puede indicar que actualmente se están produciendo cambios en el orógeno, sin embargo no son cambios abruptos, puesto que ninguna cuenca se inclina a fases de juventud o desequilibrio, por lo que se puede decir que en esta zona el orógeno va en descenso.

5.2.4 ÍNDICES DE HUMEDAD Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

Los índices de humedad se ven reflejados en la tabla 4.5, para ambos flancos. En el flanco norandino, se observa que los valores más altos de índices de humedad teóricos, los tienen las cuencas más pequeñas como Coloncito ($0,10\text{watts}\pm 0,02$), Tucaní ($0,03\text{watts}\pm 0,01$), San Pedro ($0,04\text{watts}\pm 0,01$) y Mimbós ($0,07\text{watts}\pm 0,01$). La humedad en estas cuencas va condicionada gracias al drenaje que proviene de las cuencas de mayor área como AguaViva-Chejendé y Chama, cuyas tributarios nutren estas a estas para finalmente desembocar en el Lago de Maracaibo, por lo que aunque el ancho de canal de flujo de estas cuencas pequeñas no sea muy ancho, estas funcionan como receptoras de todo el drenaje que proviene de otros puntos más altos de la cordillera. Para el flanco surandino, el mayor valor de índice de humedad teórico lo tienen las cuenca Michay ($0,12\text{watts}\pm 0,02$) y Uribante ($0,17\text{watts}\pm 0,03$), en este caso al ser cuencas de pendientes poco elevadas promueven el desarrollo de los índices de humedad, sobre todo para la cuenca Uribante, la cual está situada en

una zona generalmente plana (piedemonte), donde los drenajes que provienen de puntos más altos de la cordillera desembocan en esta.

En cuanto a los valores de índices de humedad no teóricos (con prec.), para el flanco norandino, siguen siendo AguaViva-Chejendé ($0,004\text{watts}\pm 0,001$) y Chama ($0,003\text{watts}\pm 9,66\text{e-}04$) los valores más bajos, sin embargo, se observa que algunos valores bajan un poco con respecto a los índices teóricos, lo que se debe a los bajos valores de precipitación que reinan en la zona. Para el flanco surandino, los valores aumentan de forma más notable, esto es, por los altos valores de precipitación que existen en la zona, y del mismo modo siguen siendo Uribante ($0,33\text{watts}\pm 0,07$) y Michay ($0,26\text{watts}\pm 0,06$) las cuencas con mayor índice de erosión.

Para los índices de transporte teóricos y no teóricos (con prec.), cuyos valores se observan en la tabla 4.5, el flanco norandino presenta nuevamente a las cuencas Coloncito ($60857,63\text{watts}\pm 340115,6$), Tucaní ($56799,25\text{watts}\pm 56799,25$), San Pedro ($41130,7\text{watts}\pm 261938,7$) y Mimbós ($87609,47\text{watts}\pm 581840,34$) con los mayores valores, lo que significa que al igual que en los índices de humedad, el material que proviene de puntos más altos de la cordillera y de las cuencas de áreas mayores como AguaViva-Chejendé y Chama, desembocan en estas. En el caso del flanco surandino, los mayores valores de índices de transporte de sedimentos teóricos los tienen las cuencas Michay, Canaguá, Santo Domingo y Guache. Estas cuencas al poseer altas pendientes, promueven el transporte de sedimentos de material que provienen de los picos más altos de la cordillera, utilizando esta vía como medio más veloz para trasladarse. Canaguá al poseer gran extensión superficial, la fuente que se erosiona está cercana y pertenece a esta región, por lo que gran parte del material erosionado queda depositado en ella. Para el caso de los índices de transporte no teóricos (con prec.), se observa un aumento en los valores lo que indica el aporte de la precipitación y el tipo de material presente en la zona ya que los valores de precipitación para todas las cuencas generalmente son elevados y hay presencia de material sedimentario en grandes cantidades en toda la zona (ver tabla 4,4), lo que indica que es un material vulnerable a la erosión y contribuye a el aumento de la capacidad de transporte.

5.2.5 ÁREA QUE OCUPA EL COEFICIENTE DE ERODABILIDAD. FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

Para el flanco norandino, en las grandes cuencas como Aguaviva-Chejendé y Chama, el área ocupada por material sedimentario es bastante amplia en comparación con las rocas ígneas y metamórficas. En las cuencas más pequeñas se observan distintas distribuciones de material, por ejemplo en Coloncito, predomina una combinación entre material sedimentario e ígneo, en Mimbós predominan las rocas metamórficas y en Tucaní y San Pedro hay mayor distribución de material ígneo (ver tabla 4.5).

Para el flanco surandino las cuencas como Caparo, Capitanejo, Guache, Guanare, Michay y Uribante son en su mayoría ocupadas por rocas sedimentarias, en el caso de Canaguá predomina el material metamórfico y sedimentario, así como en Boconó y en Santo Domingo predomina una distribución de material ígneo (ver tabla 4.5).

5.2.6 ÍNDICES DE EROSIÓN. FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

Con respecto a los índices de erosión (tabla 4.6), se observa que para el flanco norandino, siguen siendo las cuencas Mimbós, Coloncito, San Pedro y Tucaní los mayores valores, tanto en los índices de erosión teóricos, como en los no teóricos (con prec. y k), pero estos resultados igualmente vienen impulsados por las cuencas de mayor tamaño, ya que estas envían el drenaje que se encargará de aumentar el poder de flujo total (TSP) y unitario (USP) en estas cuencas, así como el poder de flujo de cizalla (SSP) que viene condicionado gracias a las distintas fallas que se encuentran afectando la zona, como la falla de Valera y Boconó y los bloques tectónicos de Sierra Nevada y la Culata.

En el flanco surandino, los índices de erosión teóricos varían con respecto a las cuencas, por ejemplo, en los TSP, el mayor valor lo tiene la cuenca del río Uribante

(16178,06watts±161780,67), lo que está condicionado por su ubicación geográfica, ya que al encontrarse en zonas bajas y planas hacia el sur actúa como área de acumulación de los diversos sedimentos que provienen de puntos más altos de la cordillera. Para el índice SSP, los mayores valores los poseen las cuencas Canaguá (30235,18watts±39420,56), Caparo (4324,55watts±5766,06) y Michay (92,57watts±169601,38), ya que estas son cuencas que han sido sometidas a diversos procesos de compresión y distensión, producto de las fallas presentes en ellas. Con respecto a los índices no teóricos (con Prec. y k), los valores en comparación con los índices de erosión teóricos disminuyen dramáticamente, sin embargo siguen siendo altos para las cuencas Michay y Caparo.

5.2.7 DIMENSIÓN FRACTAL. FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

Para el flanco norandino, con respecto a el coeficiente D, las cuencas se encuentran en un rango comprendido entre 1,2 a 1,9, observándose en la gráfica (fig.4.10), que la línea negra de división separa a la izquierda un conjunto grande de cuencas (1- Coloncito, 2- Mimbós, 3- San Pedro, 4- Tucaní y 5- Chama) y a la derecha sólo una cuenca (6- AguaViva-Chejendé), lo que estima que en este flanco predomina sólo un factor o fenómeno que controla el relieve, lo que coincide con Bermúdez (2013), ya que el indica que esta zona de los andes venezolanos está controlada principalmente por la acción de un factor que es la tectónica, apoyado por la barrera orográfica que afecta los Andes Venezolanos y específicamente a este flanco trae como consecuencia una zona muy árida, con bajas precipitaciones. En este caso se considera la importancia de las fallas existentes en la zona, como Valera, Boconó, La Cualata y el bloque tectónico de Sierra Nevada.

En el caso de el flanco surandino, se observa un rango de D comprendido aproximadamente entre 1,5 a 2,3. Nuevamente se observa una alta concentración de cuencas al lado izquierdo de la línea divisoria (1- Uribante, 2- Michay, 3- Capitanejo, 5- Santo Domingo, 6- Canaguá, 7- Guanare, 8- Boconó y 9- Caparo), mientras que del lado derecho una sola cuenca (4- Guache). Al igual que en el flanco Norandino,

este resultado que muestra la gráfica, infiere a que existe un factor controlador del relieve que predomina. Tanto Carmona y González, 2014 (estudiaron 4 cuencas en la zona que son Caparo, Uribante, Canaguá y Michay) y Figueira y Romero, 2014 (estudiaron tres cuencas en la zona que son Guache, Guanare y Capitanejo), quienes basaron sus trabajos de grado en cuencas pertenecientes a este sector, concluyeron que en la zona destaca un factor modelador del relieve que en este caso es el clima. Sin embargo la cuenca al otro lado de la línea divisoria, no descarta un aporte de otro factor que modela el relieve, pero tal vez en un grado mucho menor. Si bien para los autores mencionados anteriormente destaca que el clima controla el relieve en la zona, de igual forma debe tomarse en cuenta la acción de la tectónica, producto de sistemas de fallas importantes como Caparo y Boconó.

5.2.8 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD MINERALÓGICA. FLANCO SURANDINO

Para este sector el análisis morfotextural y la variabilidad mineralógica sólo se estudiará en el flanco surandino, puesto que actualmente no se tienen datos mineralógicos sobre las cuencas existentes en el flanco norandino.

El río Guache y sus tributarios disectan un conjunto de formaciones, las cuales se conforman de rocas metamórficas (como Fm.Mamey, Fm.Yacambú y Fm.Volcancito), rocas sedimentarias (Fm. Barquisimeto, Fm Río Guache, Aluvión. En la muestra estudiada en esta cuenca se obtuvo altos porcentajes de minerales de apatito (49%), circón (29%) y sillimanita (21%), mientras que el rutilo (1%) está presente en un porcentaje muy bajo. En cuanto a los valores de esfericidad, para todos los minerales presentes es muy alta (apatito=0,80; circón=0,79; rutilo=0,89 y sillimanita=0,75) y los valores de redondez son menores que estos (apatito=0,74; circón=0,69; rutilo=0,44 y sillimanita=0,67), lo que indica que los minerales presentes provienen de fuentes muy distantes y han sufrido mucha abrasión, excepto para el rutilo, cuya redondez es baja. Otra característica que se puede obtener de estos valores, es que las propiedades físicas del mineral, como la forma, estructura, etc, han

contribuido en mayor grado a moldear el mineral a su forma actual que el transporte y la abrasión.

Para la cuenca del río Guanare, se observa que su río disecta distintas formaciones donde predomina material sedimentario, como Palmarito , Sabaneta , Apón, La Luna, Colón, Barquisimeto , Mitu Juan, Morán, Río Guache y Pagüey, las formaciones Mamey, Yacambú y Volcancito conformadas por rocas metamórficas, el Complejo Iglesias (rocas metamórficas de edad Proterozoico Tardío), rocas sedimentarias del Grupo Roraima (Proterozoico Temprano a Medio), material proveniente del Aluvión (material sedimentario de edad Pleistoceno a Holoceno), la Formación Guanapa (de edad Pleistoceno compuesto por rocas sedimentarias), las formaciones Parángula y Río Yuca (rocas sedimentarias de edades Oligoceno a Mioceno y Mioceno a Plioceno respectivamente). En cuanto al porcentaje mineral obtenido en la cuenca, los tres minerales encontrados poseen alto porcentaje (apatito=32; circón=35 y sillimanita=33). Los valores de esfericidad (apatito=0,79; circón=0,81 y sillimanita= 0, 75) y redondez (apatito=0,73; circón=0,75 y sillimanita=0,69), son muy similares y altos, lo que indica que estos minerales han viajado largas distancias desde la roca fuente hasta llegar a la zona de muestreo y han sufrido bastante abrasión, sin embargo la esfericidad es mayor, estableciendo que las propiedades físicas del mineral contribuyen más a su forma actual que los efectos del transporte.

Con respecto a la cuenca Boconó, su río y tributario disectan sobre un gran conjunto de formaciones, entre las que se encuentran, la Fm.Sabaneta, el Grupo Cogollo, Fm Río Negro, Fm La Luna, Fm Colón, Fm Mitu Juan, Fm. Esnujaque, Fm.Pagüey, etc que en su mayoría se conforman por rocas sedimentarias, también el Conjunto Esnujaque, El Complejo Iglesias y el Conjunto Las torres, compuestas por material metamórfico. En cuanto al porcentaje mineral, los minerales más abundantes son cuarzo y rutilo (ambos con 27,27%), mientras que el apatito (18,18%), monacita (18,18%) y el circón, se presentan en menor cantidad. El promedio general de esfericidad en los granos encontrados es de 0,70, mientras que el de redondez es de

0,34, lo que indica que la fuente de estos minerales se encuentra bastante distante y no han sufrido muchos ciclos de transporte y abrasión.

Siguiendo con la cuenca Canaguá, su río recorre formaciones sedimentarias, como el Conjunto Mucuchachí, material del Aluvión, Fm. Parángula y Fm. Río Yuca, así como formaciones compuestas por rocas metamórficas como el Complejo Iglesias. En esta cuenca la presencia de apatito (26,92%) y circón (18%) es predominante, mientras que minerales como cuprita (4%), óxidos (6%), rutilo (3%) y sillimanita (7%), se encuentran en cantidades menores. La esfericidad en esta cuenca para cada mineral es bastante alta (apatito=0,78; circon=0,74; cuprita=0,77; óxidos=0,79, rutilo=0,80 y sillimanita=0,76), mientras que la redondez presenta valores mucho más bajos (apatito=0,69; circón=0,67; cuprita=0,68; óxidos=0,69; rutilo=0,73 y sillimanita=0,67). La redondez es mayor que la esfericidad, lo que indica grandes distancias y pocos ciclos de transporte y abrasión, así como mayor importancia en las propiedades físicas que de los ciclos de transporte, para moldear el mineral.

La cuenca del río Michay se conforma por un conjunto de unidades litológicas cuyo río atraviesa formaciones compuestas principalmente por material sedimentario como Fm. Caparo, Fm. El Horno y Fm. Sabaneta y el Complejo Bella Vista, que se conforma por rocas metamórficas. En esta cuenca el porcentaje de circón (25,96%), cuarzo (17,28%) y óxidos (29,81%) es relativamente alto, mientras que el apatito (10,61%), el rutilo (3,85%) y el topacio (1,92%) se inclinan a valores más bajos. En cuanto a la esfericidad, los valores que maneja esta cuenca para cada mineral son altos (apatito=0,75; circón=0,76; cuarzo=0,81; óxidos=0,77; rutilo=0,81 y topacio=0,76), indicando que las fuente de estos minerales se encuentran a grandes distancias, mientras que la redondez también alta para cada mineral (apatito=0,69; circón=0,72; cuarzo=0,79; óxidos=0,74; rutilo=0,78 y topacio=0,64), indican que dichos minerales han sido sometidos a varios ciclos de transporte y abrasión.

En la cuenca Capitanejo, el río y sus tributarios disectan sobre formaciones de material sedimentario predominante, como la Fm. Sabaneta, Fm. Caparo, Fm. EL Horno, Fm. Cogollo y Fm. Río Negro y el Complejo Bella Vista que está conformado por material metamórfico predominante. Los minerales como el apatito (28%), circón (46%) y sillimanita (15%) tienen mayor presencia, mientras que el rutilo (10%) y la monacita (1%) se encuentran en menor cantidad. Siguiendo con los valores de esfericidad, Capitanejo maneja valores altos para cada mineral (apatito=0,80; circón=0,79; rutilo=0,74 y sillimanita=0,79), indicando que la fuente de estos minerales se encuentran a largas distancias y para los valores de redondez (apatito=0,79; circón=0,66; rutilo=0,63 y sillimanita=0,75), los valores indican fuertes ciclos de transporte y abrasión.

El río Caparo transita sobre las formaciones de carácter sedimentario como Fm. Palmarito, Fm. Sabaneta, Fm. La Quinta, Conjunto Mucuchachí, Grupo Cogollo, Fm. Río Negro, Fm. La Luna, Fm. Colon y Fm. Mitu Juan, entre otras. También rocas ígneas de la Fm. La Quinta y rocas metamórficas del Conjunto Bella Vista y el Complejo Iglesias. Con respecto a los minerales, hay mayor presencia de circón (58,24%), apatito (20,87%) y rutilo (17,58%), mientras que algunos óxidos (2,19%) y sillimanita (1,09) se encuentran en pocas cantidades. Con respecto a los valores de esfericidad (apatito=0,78; circón=0,77; óxidos=0,83; rutilo=0,76 y sillimanita=0,73), son bastante altos, indicando largas distancias desde la roca fuente hasta la zona de muestreo, mientras que los valores de redondez (apatito=0,66; circón=0,71; óxidos=0,74; rutilo=0,75 y sillimanita=0,55), se puede decir que existen ciertas diferencias, donde los minerales como el apatito y la sillimanita, han sido sometidos a pocos ciclos de transporte y abrasión, en comparación con el resto de minerales presentes, cuyos valores son mas altos.

La cuenca Uribante está comprendida en su mayoría por material sedimentario (material proveniente del Aluvi6n). Su mineralogía presenta gran porcentaje de circ6n (27,27%) y algunos 6xidos (50,41%), mientras que el apatito (4,96%), el cuarzo (4,13%) y el rutilo (0,83%) se presentan muy escasos. Los valores de esfericidad

(apatito=0,80; circón=0,78; cuarzo=0,79; óxidos=0,80; rutilo=0,83), que maneja la cuenca para cada mineral indican que estos han recorrido largas distancias desde la roca fuente hasta la zona de muestreo y los de redondez (apatito=0,77; circón=0,66; cuarzo=0,72; óxidos=0,77; rutilo=0,82), establecen que estos minerales han pasado por diversos ciclos de transporte y abrasión.

5.2.9 CORRELACIONES PEARSON. FLANCO NORANDINO Y SURANDINO

La tabla 5.1 presenta todos los valores promedios de los parámetros de primero y segundo orden a correlacionar para el

Cuenca	Prec	Rel 1km	Rel 3km	Rel 5km	Rel 7km	WI	WI _p	STI	STI _p	TSP	TSP _{pk}	USP	USP _{pk}	SSP	SSP _{pk}
Agua Viva	1,07	0,18	0,35	0,44	0,52	0,02	0,004	2736,96	2331,83	47,90	97,38	0,01	0,02	0,002	0,004
Coloncito	0,98	7,95	15,60	19,70	43,30	0,10	0,13	60857,63	57108,71	1075,56	1349,18	0,80	0,99	0,14	0,18
Mimbos	0,90	6,05	11,10	14,30	17,50	0,07	0,06	87609,47	69623,14	1548,80	1253,94	0,71	0,55	0,11	0,09
Tucani	0,80	2,67	5,50	6,59	7,62	0,03	0,01	56799,25	44336,26	1011	696,26	0,36	0,27	0,06	0,02
San Pedro	0,77	3,75	6,35	8,23	10,30	0,04	0,04	41130,70	44124,24	727,70	670,52	0,40	0,36	0,06	0,06
Chama	0,89	0,33	0,66	0,97	1,14	0,001	0,003	9633,25	8568,63	169,37	230,47	0,04	0,04	0,01	0,006

flanco norandino.

Tabla 5.1. Valores promedios a correlacionar para el flanco norandino.

La Tabla 5.2, muestra los valores de correlación para las cuencas de interés en el flanco norandino.

	<i>Prec</i>	<i>Rel. 1km</i>	<i>Rel. 3km</i>	<i>Rel. 5km</i>	<i>Rel. 7km</i>	<i>Wi</i>	<i>Wip</i>	<i>Sti</i>	<i>STIp</i>	<i>TSP</i>	<i>TSPpk</i>	<i>USP</i>	<i>USPpk</i>	<i>SSP</i>	<i>SSPpk</i>
Prec	1,00														
Rel 1km	-0,07	1,00													
Rel 3km	-0,04	1,00	1,00												
Rel 5km	-0,04	1,00	1,00	1,00											
Rel 7km	0,15	0,93	0,95	0,94	1,00										
Wi	0,14	0,97	0,98	0,98	0,95	1,00									
Wip	0,16	0,94	0,94	0,95	0,99	0,96	1,00								
Sti	-0,34	0,84	0,83	0,83	0,61	0,75	0,60	1,00							
STIp	-0,38	0,90	0,88	0,88	0,69	0,81	0,69	0,98	1,00						
TSP	-0,35	0,84	0,83	0,83	0,61	0,75	0,60	1,00	0,98	1,00					
TSPpk	-0,15	0,98	0,98	0,98	0,87	0,93	0,86	0,92	0,95	0,92	1,00				
USP	-0,14	0,99	0,99	0,99	0,88	0,95	0,88	0,91	0,95	0,91	1,00	1,00			
USPpk	0,03	0,98	0,99	0,99	0,98	0,97	0,98	0,73	0,80	0,73	0,93	0,95	1,00		
SSP	-0,10	0,99	1,00	0,99	0,92	0,96	0,91	0,87	0,92	0,87	0,99	0,99	0,97	1,00	
SSPpk	0,12	0,95	0,96	0,96	0,99	0,96	1,00	0,64	0,73	0,64	0,89	0,90	0,99	0,93	1,00

Tabla 5.2. Correlación para los parámetros calculados en las cuencas de interés del flanco norandino. Los valores en negrita indican correlaciones importantes.

Los coeficientes de correlación entre la precipitación y los diferentes radios de relieve indican anticorrelación, lo que establece que el clima no es el principal agente que está afectando el paisaje en todo el flanco norandino. La fuerte correlación entre los índices de humedad teóricos (WI) y el relieve indican que la pendiente influye en gran escala para la humedad de la zona, igualmente la fuerte correlación entre los índices de transporte de sedimentos y el relieve indican que la pendiente contribuye al transporte de sedimentos en un grado mayor. Se observa fuerte correlación entre el índice de humedad no teórico (WI_p) y el relieve, sin embargo la precipitación en la zona es muy baja, lo que puede indicar aunque el clima contribuye a la humedad, no es el principal factor modelador de relieve en la zona; lo mismo se observa en la fuerte correlación de los índices de transporte no teóricos (STIp), donde la precipitación influye, pero se puede indicar que a escalas menores. Con respecto a los índices de erosión teóricos y no teóricos (con prec. y k), se observa fuerte correlación entre estos y el relieve. Para los índices teóricos se puede indicar que es la pendiente quien controla el relieve, mientras que para los índices de erosión no teóricos (con prec. y k) se puede decir que la precipitación influye junto a la pendiente para modelar el relieve, sin embargo tomando en cuenta la baja precipitación que predomina en la zona y la anticorrelación existente entre la precipitación y el relieve, se puede decir que hay aporte de la precipitación que contribuye al modelado del relieve, pero en un grado muy bajo; es decir, que en la zona existen dos factores que controlan el relieve que son el clima y la tectónica, sin embargo la tectónica es el factor predominante, quien contribuye en mayor escala a modelar y desarrollar el relieve. Esto coincide con Bermúdez et al., 2012, quien afirma que el paisaje en el flanco norandino es principalmente controlado por la tectónica.

La Tabla 5.3, muestra los valores de correlación para las cuencas de interés en el flanco surandino.

Cuenca	Prec	Rel 1km	Rel 3km	Rel 5km	Rel 7km	WI	WIp	STI	STIpk	TSP	TSPpk	USP	USPpk	SSP	SSPpk
Boconó	1,56	0,58	1,05	1,27	1,46	0,01	0,09	263,04	465,28	226,35	0,07	0,05	8,79E-04	0,01	6,16E-04
Canaguá	2,6	2,03	3,71	4,58	5,13	0,02	0,02	600,09	1440,5	551,12	0,16	1,78E+05	0,003	3,02E+04	0,002
Caparo	2,41	0,28	0,45	0,69	0,73	0,004	0,01	208,56	522,3	121,02	0,1	2,43E+04	7,78E-04	4,32E+03	4,84E-04
Capitane.	1,84	2,53	4,65	6,7	7,3	0,06	0,08	188,92	419,28	181,38	0,07	0,14	0,003	0,03	0,003
Guache	1,81	2,02	3,41	4,24	4,35	0,04	0,05	551,56	1157,3	482,65	0,24	0,18	0,004	0,04	0,003
Guanare	1,82	0,56	1,04	1,46	1,67	0,01	0,01	107,96	218,43	102,47	0,05	0,04	0,001	0,01	8,20E-04
Michay	3,6	9,09	15,1	17,9	20,8	0,12	0,26	1266,7	5182,9	1220,69	92,57	9,10E+05	0,04	92,57	0,03
S.Domingo	1,91	1,57	3,15	3,68	4,16	0,02	0,01	641,13	966,31	644,13	0,13	0,16	0,002	0,03	0,001
Uribante	2,07	0,21	0,27	0,9	1,4	0,17	0,33	119,99	250,08	1,62E+04	0,05	2,84E+04	0,001	13246,5	0,002

Tabla 5.3. Valores promedios a correlacionar para el flanco surandino.

	<i>Prec</i>	<i>R. 1km</i>	<i>R. 3km</i>	<i>R.5km</i>	<i>R. 7km</i>	<i>Wi</i>	<i>Wip</i>	<i>Sti</i>	<i>STIp</i>	<i>TSP</i>	<i>TSPpk</i>	<i>USP</i>	<i>USPpk</i>	<i>SSP</i>	<i>SSPpk</i>
Prec	1,00														
Rel 1km	0,82	1,00													
Rel 3km	0,81	1,00	1,00												
Rel 5km	0,79	1,00	1,00	1,00											
Rel 7km	0,81	1,00	1,00	1,00	1,00										
Wi	0,39	0,39	0,37	0,39	0,42	1,00									
Wip	0,40	0,40	0,38	0,40	0,42	0,96	1,00								
Sti	0,77	0,89	0,89	0,86	0,86	0,21	0,23	1,00							
STIp	0,88	0,97	0,96	0,94	0,95	0,36	0,40	0,94	1,00						
TSP	-0,01	-0,20	-0,22	-0,20	-0,17	0,81	0,77	-0,26	-0,16	1,00					
TSPpk	0,86	0,95	0,94	0,93	0,94	0,45	0,52	0,83	0,96	-0,07	1,00				
USP	0,92	0,95	0,94	0,92	0,93	0,44	0,50	0,86	0,98	-0,07	0,98	1,00			
USPpk	0,85	0,97	0,96	0,95	0,96	0,45	0,50	0,86	0,98	-0,10	1,00	0,98	1,00		
SSP	0,24	-0,15	-0,15	-0,15	-0,14	0,10	0,05	-0,01	-0,05	0,29	-0,19	0,00	-0,18	1,00	
SSPPpk	0,85	0,97	0,96	0,95	0,96	0,49	0,54	0,84	0,97	-0,05	0,99	0,98	1,00	-0,17	1,00

Tabla 5.4. Valores de correlación para el flanco surandino.

Para los resultados de correlación, se observa alta correlación en cuanto a los relieves calculados en radio 3km, 5km y 7km y la precipitación, lo que indica que el clima es un factor muy importante en cuanto al modelado del relieve. La alta correlación entre los valores de índices de transporte de sedimentos tanto teóricos como no teóricos indican que además la pendiente promedio de las cuencas influye para el transporte de material. Para los índices de erosión teóricos y la precipitación, sólo se observa alta correlación en el poder de flujo unitario (USP), lo que puede significar la presencia de otro factor presente en el modelado del relieve, que contribuye a promover la erosión tomando en cuenta que este índice se encarga de estudiar la erosión en la base de la cuenca, donde la tectónica tiene mayor protagonismo, por los esfuerzos de fallamiento. En el caso de los índices prácticos con la precipitación la correlación es bastante alta para todos los índices, dando a entender que tanto la pendiente, el clima y la litología influyen en gran parte al modelado del relieve (recordando que los resultados no teóricos son más reales, puesto que para los teóricos no se consideran las variables de precipitación (P) y coeficiente de erodabilidad (K)). Estos resultados indican que en este flanco la variable climática afecta a gran escala al relieve, sin embargo se puede estimar que también existen zonas que puedan estar siendo afectadas por el factor tectónico o bien por la interacción del clima y la tectónica.

Para estudiar la sensibilidad de los minerales pesados encontrados en las muestras con respecto a los factores modeladores del relieve se incluye al Circón en los parámetros de correlación, puesto que es un mineral de alta durabilidad fisicoquímica y resistente a diversos procesos geológicos. En el flanco surandino, debido a que para este trabajo de grado no se tienen datos mineralógicos de la cuenca Santo Domingo y en la cuenca Boconó, sólo se tiene un valor promedio general de esfericidad y redondez, se excluyen estas cuencas y se correlaciona el promedio de esfericidad y redondez del Circón con las demás cuencas estudiadas. La tabla 5.5, muestra los parámetros a correlacionar incluyendo el promedio general de esfericidad y redondez, pero obviando las cuencas Santo Domingo y Boconó.

Cuenca	Prec	Rel 1km	Rel 3km	Rel 5km	Rel 7km	Wi	Wip	STI	STIp	TSP	TSPpk	USP	USPpk	SSP	SSPpk	Esf (Circón)	Red (Circón)
Canaguá	2,6	2,03	3,71	4,58	5,13	0,02	0,02	600,09	1440,54	551,12	0,16	1,78E+05	0,003	3,02E+04	0,002	0,74	0,67
Caparo	2,41	0,28	0,45	0,69	0,73	0,004	0,006	208,56	522,3	121,02	0,1	2,43E+04	7,78E-04	4,32E+03	4,84E-04	0,77	0,72
Capitane .	1,84	2,53	4,65	6,7	7,3	0,06	0,08	188,92	419,28	181,38	0,07	0,14	0,003	0,03	0,003	0,79	0,66
Guache	1,81	2,02	3,41	4,24	4,35	0,04	0,05	551,56	1157,3	482,65	0,24	0,18	0,004	0,04	0,003	0,79	0,69
Guanare	1,82	0,56	1,04	1,46	1,67	0,01	0,01	107,96	218,43	102,47	0,05	0,04	0,001	0,01	8,20E-04	0,81	0,75
Michay	3,6	9,09	15,1	17,9	20,8	0,12	0,26	1266,7	5182,85	1220,69	92,57	9,10E+05	0,04	92,57	0,03	0,76	0,72
Uribante	2,07	0,21	0,27	0,9	1,4	0,17	0,33	119,99	250,08	1,62E+04	0,05	2,84E+04	0,001	13246,5	0,002	0,78	0,66

Tabla 5.5. Parámetros a correlacionar para las cuencas de interés en el flanco surandino tomando en cuenta los valores de esfericidad y redondez.

La tabla 5.6, muestra los parámetros correlacionados para las cuencas de interés en el flanco surandino, tomando en cuenta los valores de esfericidad y redondéz.

	<i>Prec</i>	<i>R. 1km</i>	<i>R. 3km</i>	<i>R. 5km</i>	<i>R. 7km</i>	<i>Wi</i>	<i>Wip</i>	<i>Sti</i>	<i>STIp</i>	<i>TSP</i>	<i>TSPpk</i>	<i>USP</i>	<i>USPpk</i>	<i>SSP</i>	<i>SSPpk</i>	<i>Esf (Circón)</i>	<i>Red (Circón)</i>
Prec	1																
Rel 1km	0,82	1,00															
Rel 3km	0,81	1,00	1,00														
Rel 5km	0,78	1,00	1,00	1,00													
Rel 7km	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00												
Wi	0,65	0,96	0,96	0,98	0,97	1,00											
Wip	0,76	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	1,00										
Sti	0,86	0,92	0,91	0,89	0,89	0,81	0,85	1,00									
STIp	0,91	0,96	0,96	0,94	0,94	0,86	0,93	0,97	1,00								
TSP	0,85	0,93	0,93	0,91	0,91	0,83	0,87	1,00	0,98	1,00							
TSPpk	0,88	0,96	0,95	0,94	0,95	0,88	0,96	0,88	0,97	0,90	1,00						
USP	0,94	0,95	0,95	0,93	0,94	0,84	0,92	0,92	0,99	0,93	0,98	1,00					
USPpk	0,86	0,98	0,97	0,96	0,96	0,91	0,97	0,91	0,98	0,92	1,00	0,98	1,00				
SSP	0,19	-0,16	-0,15	-0,16	-0,16	-0,32	-0,31	0,09	-0,05	0,08	-0,23	-0,04	-0,22	1,00			
SSPpk	0,85	0,98	0,97	0,96	0,97	0,92	0,98	0,90	0,97	0,91	1,00	0,98	1,00	-0,23	1,00		
Esf (Circón)	-0,71	-0,37	-0,37	-0,35	-0,36	-0,20	-0,25	-0,57	-0,49	-0,55	-0,33	-0,48	-0,34	-0,75	-0,32	1,00	
Red (Circón)	0,15	0,01	-0,02	-0,06	-0,03	-0,11	0,05	-0,01	0,12	-0,01	0,26	0,19	0,20	-0,42	0,19	0,38	1,00

Tabla 5.6. Valores correlacionados para las cuencas estudiadas en el flanco surandino. Se excluyen Santo Domingo y Boconó, por la falta de datos de esfericidad y redondez en estas cuencas.

Al realizar la correlación excluyendo las cuencas Santo Domingo y Boconó, se observan características importantes que podrían contribuir aún más con el estudio de este flanco. En primer lugar, nuevamente se presenta alta correlación entre la precipitación y el relieve, lo que indica que sigue siendo la variable climática el factor principal que está afectando el relieve. Otras correlaciones existentes, como la que se observa entre los índices de humedad teóricos y la precipitación, indica que la humedad viene condicionada por el clima, recordando que esta zona es afectada por una barrera orográfica (Bermúdez et al ., 2012), que mantiene un clima árido en gran parte del flanco norandino y aumenta la precipitación en el flanco surandino. Sin embargo este resultado cambia en la correlación anterior donde se incluyen Boconó y Santo Domingo (tabla 5.4), ya que no hay correlación de este tipo ($r=0,13$), dando a entender que aunque el efecto de la precipitación es mayor, siguen actuando otros procesos que promueven la humedad.

En cuanto a los índices de erosión con precipitación, los resultados son muy similares a la correlación anterior (tabla 5.4), donde tanto los índices de erosión teóricos, como no teóricos, correlacionan fuertemente con la precipitación y el relieve, lo que reafirma que la precipitación (variable climática) influye en gran escala a promover la erosión en la zona, sin embargo otros factores como la litología y la pendiente ayudan a desarrollarla. Por último, con respecto a la esfericidad y redondez, no se observa correlación entre las variables estudiadas; es decir, la precipitación con la esfericidad del Circón es anticorrelación ($r= -0,71$), la precipitación con la redondez del Circón resulta no correlación ($r=0,13$) e incluso el relieve con la redondez y esfericidad no se correlacionan. Este resultado no implica que no hay una variable principal que esté relacionada con el desgaste de los minerales, sino más bien que dicho desgaste viene condicionado a través del tiempo por un conjunto de procesos geológicos que los han modificado hasta la actualidad. Carmona y González (2014), quienes realizaron un estudio similar en la zona, indican que hay alta correlación entre la redondez del Circón y la precipitación lo que difiere del resultado de este trabajo, sin embargo su trabajo se basó en el estudio de solo

cuatro cuencas del flanco surandino que están muy cercanas entre sí (Caparo, Canaguá, Michay y Uribante), además indican que también hay alta correlación entre la redondez del Circón y el relieve, lo que establece que no solo la precipitación influye en el desgaste, sino que hay otros factores que también están contribuyendo a éste. Finalmente ellas concluyen que en la zona del flanco surandino predomina un acoplamiento entre la tectónica y el clima, para el desarrollo del relieve, conclusión general que si contrasta con los resultados generados en este trabajo de grado.

5.3 ANÁLISIS DIGITAL DEL TERRENO PARA EL FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

5.3.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, PENDIENTE Y ELEVACIÓN LANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

La tabla 4.16 muestra los valores de precipitación para éste flanco, donde se puede observar similitud en todos ellos, sin embargo la cuenca del río Camatagua ($1,43\text{m}\pm 0,28$) posee mayor precipitación en comparación a las demás cuencas. Siguiendo con los valores de área, pendiente y elevación (tabla 4.16), donde se observa que la cuenca Orituco (8895km^2) posee la mayor área y Peña ($66,60\text{km}^2$) la menor área (La cuenca del río Peña es una subcuenca de Nirgua). Para los valores promedios de pendiente, se observa que la cuenca del río Camatagua ($12,86^\circ\pm 7,93$) posee el mayor valor y la cuenca del río Orituco ($2,31^\circ\pm 2,31$) el menor valor, mientras que en los valores promedios de elevación, Peña ($909,52\text{m}\pm 136,53$) posee el mayor valor y nuevamente la cuenca Orituco ($219,16\text{m}\pm 156$) el menor valor. Estos valores menores de la cuenca Orituco, en comparación a las cuencas del flanco en general, reflejan su posición geográfica, puesto que a diferencia de las demás Orituco presenta una variación muy notable en el relieve de norte a sur, que va de montañoso a plano.

5.3.2 RELIEVE. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

Los valores obtenidos de relieve para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa se observan en la tabla 4.17, donde la cuenca del río Peña presenta los valores máximos de relieve, dividido entre el área más altos y la cuenca del río Orituco los valores más bajos, en comparación con el resto de cuencas. En la figura 4.20 (mapas de relieve a 1km), se puede observar que los puntos más prominentes de relieve se encuentran al norte de las cuencas de este flanco, donde influye en gran medida la falla de San Sebastián y la falla de La Victoria, falla de Aragtuita, falla de Tácata Charallave, falla de río Guárico, falla de Moron, entre otras (ver fig. 5.4). La cuenca del río Camatagua presenta diversas zonas con relieves altos y las cuencas de los ríos Orituco y Guárico muestran el cambio de zonas montañosas al norte a zonas llanas al sur (llanos centrales).

5.3.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

En cuanto a la integral hipsométrica, se observa en la tabla 4.18, que el valor promedio (0,27), indica que la zona a nivel general se encuentra en una etapa de vejez o estabilidad, sin embargo a nivel individual, la cuenca San Carlos (0,36), indica etapa de madurez y los valores para Guárico y Orituco son muy bajos (0,10), debido a que en ellas existen dos tipos de relieve, que va del montañoso al plano. Estos resultados indican que esta zona se encuentra entre una etapa de vejez y madurez.

5.3.4 ÍNDICES DE HUMEDAD Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

Con respecto a los índices de humedad teóricos y no teóricos (con prec.) para este sector (ver tabla 4.19), los valores son muy similares entre ellos, lo que indica

que el aporte de la precipitación para la acumulación de humedad en el suelo no es un factor determinante, siendo las cuencas Peña ($WI=0,16watts\pm 0,04$) y Nirgua ($WI=0,01watts\pm 0,003$) las que presentan los valores más altos.

Para este sector las cuencas con mayor capacidad de transporte (tabla 4.19) son las que pertenecen a los ríos Peña ($20547,1watts\pm 130576,6$) y San Carlos ($1362,10watts\pm 2155$). Al considerar la precipitación (STIp), se observa un incremento considerable en los valores, sin embargo las cuencas mantienen el mismo orden de capacidad de transporte. Los factores que pueden actuar para promover una mayor capacidad de transporte en esta zona pueden ser las altas pendientes que se encuentran al norte, las cuales facilita la movilización del material hacia el sur, donde se observan zonas más planas, como por ejemplo en las cuencas Guárico y Orituco. La cuenca del río Peña, que es una subcuenca del río San Carlos, al encontrarse más al norte donde las pendientes son más acentuadas y debido a su poca área, el paso de material por esa zona se desplaza con mayor facilidad y en el caso de las cuencas de los ríos Guárico y Orituco, al norte promueven el transporte de material, y al sur funcionan como cuencas recolectoras de este, puesto que todo el material se deposita en las zonas planas.

5.3.5 ÁREA QUE OCUPA EL COEFICIENTE DE ERODABILIDAD. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

Para este sector se observa que en las cuencas Orituco y Guárico existe un predominio de material sedimentario, mientras que para cuencas como Camatagua, Nirgua, Peña y San Carlos, predomina el material de tipo metamórfico, sin embargo en estas también se observan grandes extensiones cubiertas por material sedimentario. El material ígneo es el de menor distribución en la zona (ver tabla 4.14).

5.3.6 ÍNDICES DE EROSIÓN. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

Siguiendo con los índices de erosión teóricos para este sector los mayores valores los tienen las cuencas de los ríos Camatagua, Guárico y Orituco. En este caso las tres cuencas son afectadas por efectos climáticos y tectónicos, en los sitios de mayores alturas, removiendo el material (orógenos al norte del Embalse de Guárico y Camatagua) y acomodándolos aguas abajo. Las zonas planas que presentan Guárico y Orituco sirven como espacio que recolecta todo el material que proviene de puntos más altos. Con respecto a los índices de erosión no teóricos (con prec. y k), los valores más altos son para las cuencas Peña, San Carlos, Camatagua y Nirgua, en este caso se puede decir que en la zona ayuda mucho el tipo de roca presente en las cuencas, ya que los valores de precipitación al ser muy bajos, la litología podría estar tomando el control en cuanto al desgaste, teniendo en cuenta que son cuencas que poseen altas pendientes, las cuales promueven el movimiento de material aguas abajo que remueven el material y lo depositan en las zonas planas encontradas al sur.

5.3.7 DIMENSIÓN FRACTAL. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

La figura 4.22, muestra que la mayoría de las cuencas en este sector están agrupadas a la derecha de la línea divisoria (1- Peña, 2- Nirgua, 4- Camatagua, 5- Guárico y 6- Orituco), mientras que a la izquierda solo se encuentra la cuenca San Carlos. Estos valores de coeficiente de autosimilaridad (D), indican al igual que en los casos anteriores la inclinación hacia un factor modelador del relieve (ya sea climático o tectónico). Sin embargo nuevamente se puede indicar que existe el aporte de otro factor controlador del relieve en un grado menor, incluso se puede hablar de acoplamientos o interacción de dos factores a la vez. Cabe destacar que este sector se caracteriza por un relieve montañoso al norte, que presenta diversas fallas estructurales importantes como la continuación de la Falla de Boconó que afecta directamente a la cuenca San Carlos, y otro conjunto de fallas como Guárico, Camatagüita y Guarumen que afectan a las cuencas Camatagua y el norte de la cuenca Guárico, luego al extenderse hacia el sur, se observa un relieve tendiendo a

ser plano, con poca actividad tectónica, lo que puede indicar que existe un acoplamiento del clima y la tectónica interactuando en esta zona. Arcía y Viana (2013) indican que para la cuenca Nirgua, existe dominio del factor climático, soportado porue en su estudio, los valores de índices de transporte disminuyen dramáticamente al ser considerada la precipitación, mientras que Flores (2013), indica fuerte acoplamiento entre el clima y la tectónica, para tres cuencas (Camatagua, Guárico y Orituco), debido a la particularidad del relieve al ser montañoso al norte, con actividad tectónica considerable y al sur es un relieve plano donde la actividad tectónica no es tan fuerte.

5.3.8 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD MINERALÓGICA. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

Con respecto a la variabilidad mineralógica, se observa que en la cuenca del río Nirgua, el río y sus tributarios atraviesan distintas formaciones como Esquisto Las Mercedes, Esquisto Chuspita, Complejo Nirgua, Esquisto Aróa y el Complejo San Julian (todas estas compuestas por rocas metamórficas), así como la presencia de formaciones compuestas principalmente por material sedimentario como Fm. El Pegón y Fm. Guacimare, generan acumulación de diferentes tipos de minerales como cuarzo (14,29%), esfena (28,57%), rutilo (21,43%) y Albita (7,14%). En cuanto a los valores de esfericidad los minerales presentes manejan un promedio general de 0,60, indicando esfericidad media, lo que puede significar que la roca fuente puede no estar tan distante, mientras que el promedio general de redondez es de 0,41, lo que indica que estos minerales generalmente no han pasado por muchos ciclos de transporte, ni sometidos a fuertes procesos de abrasión.

Para la cuenca Peña, su río atraviesa unidades como el Complejo Nirgua y el Conjunto San Julián que son conformados principalmente por rocas metamórficas y material proveniente del Aluvión (netamente sedimentario), lo que origina la acumulación río abajo de minerales como el circón (8,33%), cuarzo (25%) y rutilo

(16,67%). El promedio general de esfericidad es de 0,63, lo que significa que el recorrido de estos minerales desde la roca fuente hasta la zona de muestreo no ha sido tan distante, mientras que la redondez tienen como promedio general 0,38, estableciendo que los minerales no han sufrido mucho transporte ni ciclos de abrasión.

La cuenca San Carlos, con unidades como Esquisto Las Mercedes, Esquisto Chuspita, Complejo Nirgua, Complejo el Tinaco y el Complejo San Julian (todas estas compuestas principalmente por rocas metamórficas) y las formaciones Agua Blanca, Cojedes y Araure, entre otras (compuestas principalmente por material sedimentario), acumulan aguas abajo cierta cantidad de minerales como apatito (29%), circón (45%), monacita (1%) y rutilo (10%). En cuanto a los valores de esfericidad para cada mineral se pueden considerar bastantes altos (apatito=0,77; circón=0,75; monacita=0,79 y rutilo=0,73), lo que denota que la fuente de estos minerales se encuentra a grandes distancias, mientras que los valores de redondez (apatito=0,65; circón=0,57; monacita=0,72 y rutilo=0,65), son más bajos sin embargo se puede indicar que la monacita en comparación a los demás minerales ha sido sometida a fuertes ciclos de transporte y de abrasión.

Siguiendo con la cuenca Camatagua, su río principal y tributarios, disectan sobre un conjunto de formaciones como Guinimita, el Complejo el Tinaco, entre otras conformadas principalmente por material de tipo metamórfico, así como también las formaciones Guárico, Quebradón, Quiamare y Caricual, entre otras, donde predomina el material de tipo sedimentario, encontrándose minerales como albita (7,14%), cuarzo (14,29%), esfena (28,57%) y rutilo (21,43%). La esfericidad general en esta cuenca para los minerales es de 0,69, indicando que a nivel global dichos minerales han recorrido grandes distancias desde la roca fuente hasta la zona de muestreo, mientras que el promedio general de redondez es de 0,45, indicando pocos ciclos de transporte y abrasión.

En la cuenca Guárico, se observa que sus ríos principales y tributarios atraviesan un grupo de formaciones como Fm. Guinimita, Complejo Villa de Cura, que presentan principalmente rocas metamórficas y las formaciones como Fm. Garrapata, Fm. Guárico, Fm. Quebradón, Fm. Quiamare, Fm. Urichito, Fm. La Pica y Fm. Chaguaramos, que son principalmente conformadas por rocas sedimentarias, lo que conlleva a la acumulación de minerales como circón (1,05%), cuarzo (16,84%), esfena (11,57%), monacita (2,1%), rutilo (19,04%). Para los valores de esfericidad general, el promedio es 0,56, estableciendo que la distancia recorrida por estos minerales desde la roca fuente ha sido mediana, mientras que la redondez=0,49, indica poco transporte para estos.

Por último, la cuenca Orituco, conformada por rocas metamórficas provenientes de la Fm. Guinimita, y rocas sedimentarias provenientes de las formaciones El Cantil, Complejo Chacual, Mucaria, Quebradón, Urichito, Capaya, La Pica, Chaguaramas, Roblecito y material proveniente del Aluvión, que en conjunto producen la acumulación de minerales como apatito (1,58%), circón (3,17%), cuarzo (1,58%), esfena (1,58%), Monacita (6,34%) y Rutilo (19,04%). El promedio general de esfericidad es de 0,64, indicando que estos minerales han recorrido distancias medianamente lejanas, desde la roca fuente hasta la zona de muestreo, mientras que la redondez =0,55, indican poco transporte y abrasión.

5.3.9 CORRELACIÓN PEARSON. FLANCO RAMAL INTERIOR DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

La tabla 5.7, muestra los valores de los parámetros a correlacionar para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.

Cuenca	Pre c	Rel 1km	Rel 3km	Rel 5km	Rel 7km	WI	WIp	STI	STIp _k	TSP	TSP _p _k	USP	USP _p _k	SS P	SSP _p _k	Esf.	Red .
Camatagua	1,43	0,28	0,46	0,51	0,54	0,005	0,006	3807,98	5691,57	11012037,5	176,3	2180	1,87E-02	9,27	3,64E-03	0,45	0,69
Guárico	1,34	0,12	0,16	0,18	0,19	0,002	0,002	796,04	1113,55	2089136,49	0,0003	268	0,005	1,45	0,001	0,49	0,65
Nirgua	1,01	0,51	0,79	0,91	1	0,01	0,01	7228,54	8599	128,21	153,57	3,36E-02	3,08E-02	0,01	6,32E-03	0,6	0,41
Orituco	1,05	0,01	0,08	0,1	0,1	0,001	0,001	358,07	379,69	1469359,33	28,88	101,63	0,002	0,62	0,001	0,55	0,64
Peña	1,03	5,06	8,12	8,33	8,33	0,16	0,18	20547,1	50710,5	363,36	441,93	0,38	0,31	0,1	0,09	0,63	0,38
San Carlos	1,09	0,3	0,64	0,72	0,79	0,01	0,007	13662,1	15063,44	241,39	362,49	0,03	0,27	0,01	5,33E-02	0,76	0,65

Tabla 5.7. Parámetros a correlacionar para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa.

La tabla 5.8, muestra los parámetros correlacionados para este sector.

	Prec	Rel 1km	Rel 3km	Rel 5km	Rel 7km	WI	WIp	STI	STIpk	TSP	TSPpk	USP	USPpk	SSP	SSPpk	Esf	Red
Prec	1,0																
Rel 1km	-0,4	1,0															
Rel 3km	-0,4	1,0	1,0														
Rel 5km	-0,4	1,0	1,0	1,0													
Rel 7km	-0,4	1,0	1,0	1,0	1,0												
WI	-0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0											
WIp	-0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0										
STI	-0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0									
STIpk	-0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0								
TSP	0,8	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	1,0							
TSPpk	-0,4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	0,9	-0,2	1,0						
USP	0,8	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	1,0	-0,1	1,0					
USPpk	-0,4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	0,8	-0,4	0,9	-0,4	1,0				
SSP	0,8	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	1,0	-0,2	1,0	-0,4	1,0			
SSPpk	-0,4	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	1,0	0,9	-0,4	0,9	-0,4	1,0	-0,4	1,0		
Esf	-0,7	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,7	0,4	-0,7	0,7	-0,6	0,8	-0,7	0,7	1,0	
Red	0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,7	0,5	-0,5	0,5	-0,4	0,5	-0,5	-0,3	1,0

Tabla 5.8. Valores correlacionados para el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa. Los calores marcados en negrita son las correlaciones importantes, en el caso de los valores marcados en cursiva son correlaciones triviales.

Con respecto a los resultados de correlación, se observa anticorrelación entre el relieve y la precipitación, lo cual indica que la precipitación no es el factor principal para el modelado del relieve. La correlación entre los índices de erosión con precipitación y litología incluida vs el relieve puede significar, que aunque el clima no es el factor principal que afecta al relieve, puede haber cierta interacción de éste con la pendiente, al mismo tiempo, estos valores revelan la importancia de la litología (principalmente sedimentario) en el proceso de desgaste. Otras correlaciones como el alto valor entre los índices de transporte de sedimentos teóricos y no teóricos con el relieve, indican que este puede ser promovido por las altas pendientes y la litología, también la alta correlación existente, entre los índices de erosión no teóricos vs el relieve, donde nuevamente la litología contribuye al desgaste en la zona. Por último la alta correlación entre la esfericidad de los minerales y la redondez, puede ser un indicativo de que aunque el clima no sea el factor principal modelador del relieve en la zona, puede estar presente, contribuyendo junto con procesos tectónicos a la evolución y su desarrollo. Según Arcía y Viana (2013), en la cuenca Peña existe un aporte mayor del clima sobre la tectónica (sin embargo no es muy relevante), debido a que tanto los índices de transporte como de erosión son muy bajos. Igualmente para la cuenca Nirgua, estos autores indican desacoplamiento entre la tectónica y el clima, debido a que sus valores de índices de transporte disminuyen al incluir la precipitación, característica que puede indicar mayor actividad tectónica que climática sobre el modelado del relieve.

En el caso de Flores (2013), indica que para las cuencas Camatagua, Guárico y Orituco, estas trabajan de forma acoplada, formando un sistema en el cual el relieve se ve afectado tanto por el clima como por la tectónica. Estas afirmaciones de los autores mencionados anteriormente coincide con los resultados de las correlaciones en este trabajo de grado, donde se indica que el clima no es el factor principal que afecta el relieve, sin embargo contribuye en cuanto a la erosión, el transporte de sedimentos y también con el desgaste de los minerales presentes, por lo que se podría indicar que este trabaja en conjunto con la tectónica para transformar el relieve en lo que es actualmente.

5.4 ANÁLISIS DIGITAL DEL TERRENO PARA LAS CUENCAS APURE Y ARAUCA

5.4.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, PENDIENTE Y ELEVACIÓN. APURE Y ARAUCA

Los valores de precipitación, pendiente y elevación para estas cuencas son muy similares, recordando que gran parte de la cuenca Apure también es superficie de la cuenca Arauca, sin embargo hay ciertas diferencias donde en promedio una cuenca supera a la otra en número aunque la diferencia es muy mínima. En la tabla 4.30, se observa que el promedio de precipitación es un poco mayor para la cuenca Arauca ($1,56\text{m}\pm 0,64$), así como el valor de elevación ($397,23\text{m}\pm 690,03$), sin embargo Apure ($4,79^\circ\pm 8,15$) supera en superficie y en promedio de pendiente a Arauca ($4,59^\circ\pm 8,15$).

5.4.2 RELIEVE. APURE Y ARAUCA

Con respecto a los valores de relieve (tabla 4.21), la cuenca Arauca supera a Apure en todos las envolventes de radios calculadas, tomando en cuenta que son valores promedios y aunque estas cuencas ocupen una de las zonas con mayor relieve (flanco surandino), este va disminuyendo a medida que desciende aguas abajo hasta desembocar en la cuenca del río Orinoco. La figura 4.25, muestra el relieve para ambas cuencas, donde naturalmente se observa que las zonas donde se presencia mayor desgaste son las ocupadas por el flanco surandino.

5.4.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA. APURE Y ARAUCA

Con respecto a la integral hipsométrica, ambas cuencas manejan valores muy bajos ($H_i=0,07$), lo que indica que a nivel general se encuentran en fases de vejez o

estabilidad. Justificado en el hecho de que la mayor superficie de las mismas están en los llanos venezolanos.

5.4.4 ÍNDICES DE HUMEDAD Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. APURE Y ARAUCA

Siguiendo con los índices de humedad (WI y WIp), de acuerdo a los resultados, al incluir la precipitación, los valores aumentan aproximadamente el doble, en comparación con los índices sin precipitación, estableciendo que esta influye mucho en la humedad de la zona, igualmente en el caso de los índices de transporte de sedimentos (STI y STIp), donde hay aumento en los valores cuando se incluye la precipitación, que si bien para estos índices influyen factores como la pendiente, los sistemas de fallas, entre otros, se puede definir que el clima promueve en gran medida el efecto del transporte de material y la humedad en la zona. La figura 4.27, muestra que el índice de humedad es mayor para estas cuencas, a medida que se extienden hacia el este, lo que resulta lógico, puesto que dicho índice establece que a mayor pendiente hay menor humedad, mientras que para los índices de transporte (fig. 4.28), se observa gran actividad en el flanco surandino a la altura de las cuencas Uribante y Caparo, puesto que la primera recolecta todos el material que viene arrastrado por el drenaje desde los puntos más altos de la cordillera, mientras que Caparo debido a actividad tectónica y control de la Falla de Caparo también contribuye al transporte de material, sin embargo hacia el este de Apure y Arauca, se observa con mayor fuerza la acción del transporte, debido a que todo el drenaje que desemboca en el río Orinoco va arrastrando sedimentos a su paso.

5.4.5 ÁREA QUE OCUPA EL COEFICIENTE DE ERODABILIDAD. APURE Y ARAUCA

Para el área que ocupan los valores del coeficiente de erodabilidad (tabla 4.23), se observa que el material predominante es sedimentario, superando en gran medida al material metamórfico e ígneo, esto influye en los valores de índices de transporte de sedimentos e índices de erosión ya que el tipo de roca al ser más vulnerable a los procesos de erosivos, aumenta el efecto de dichos índices en la zona.

5.4.6 ÍNDICES DE EROSIÓN. APURE Y ARAUCA

Para los índices de erosión, la tabl 4.24, muestra que en ambas cuencas los valores de TSP y TSPpk, son mayores al resto de los índices, esto indica que a nivel general la erosión en las cuencas viene dada por la acción de muchos factores como la pendiente, los sistemas de fallas, las redes de drenaje, el tipo de roca presente e incluso la precipitación. En la figura 4.29a, se observa que el TSP afecta diversas zonas de las cuencas, mientras que el USP (fig. 2.28b), que principalmente mide la afectación de la erosión en los márgenes de los ríos y el SSP (4.28c), que es la erosión que se presenta en el fondo del canal, son más visibles en el flanco surandino, ya que es la zona con la mayor pendiente y donde se presenta control estructural (sistemas de fallas) sobre los cauces, también en la cuenca Apure se observa mayor erosión de parte del SSP, en la zona de la Cordillera de la Costa, lo cual igualmente tiene que ver con las altas pendientes y presencias de estructuras importantes (ej. Falla de Guárico).

5.4.7 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD MINERALÓGICA. CUENCA APURE

Con respecto a la muestra tomada en la cuenca Apure, se observa (tabla 4.26) una mineralogía predominante de Cuarzo (20%) y Fayalita (12,30%), mientras que

otros minerales como Apatito (6,15%), Circón (4,61%), Ilmenita (1,53%), Hematita (4,61%), Calcita (7,69%), entre otros se presentan en menor proporción, donde el promedio total de esfericidad es 0,75 y de redondez 0,40, indicando grandes distancias recorridas por los sedimentos detríticos, pero pocos ciclos de transporte y abrasión . El río Apure, junto a sus tributarios incide sobre un conjunto de unidades litológicas con rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas, los cuales por medio del transporte han acumulado los minerales antes mencionados, donde predominan los granos de subredondeados a angulosos.

5.4.8 INTEGRACIÓN DE RESULTADOS. APURE Y ARAUCA

Respecto a este sector no se puede realizar correlaciones de los parámetros estudiados, puesto que se trata de sólo dos cuencas, ya que estadísticamente arrojaría solo resultados triviales. Para realizar correlaciones, es necesario un número mayor de cuencas. Sin embargo igualmente con los resultados obtenidos se pueden generar conclusiones con respecto a los factores responsables del relieve actual.

Tomando en cuenta, que tanto los índices de humedad, como los de transporte de sedimentos, al incluir la precipitación aumentan en gran magnitud, se podría establecer que el clima es el factor modelador de relieve principal; sin embargo, se conoce, a raíz de los estudios realizados en este trabajo para el flanco surandino, así como en el ramal interior de la Cordillera de la Costa, que existe un acoplamiento entre clima y tectónica para ambas área, lo que indica que la tectónica también influye y afecta el relieve. Esto se observa en los índices de erosión SSP (fig 4.28b y 4.28c), que resaltan las zonas montañosas de estas cuencas, donde se presentan fallamientos importantes como el sistema de fallas de Boconó, Caparo (en el flanco surandino) y La Victoria y Guárico (en el caso de la Cordillera de la Costa) (Flores,2013), sin embargo esto representa un pequeño segmento comparados al área total de las cuencas, por lo que se puede concluir que existe una interacción entre el clima y la tectónica, pero el proceso controlador predominante en el relieve es el clima. Esto coincide con Arcía y Viana (2013), cuyos autores llegaron a estas

conclusiones a raíz de los valores calculados en sus índices de transporte de sedimentos, donde al incluir la precipitación mayormente estos disminuían, dando a entender que existe otro factor controlador interactuando con el relieve.

5.5 ANÁLISIS DIGITAL DEL TERRENO PARA LAS CUENCAS PERTENECIENTES AL MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

5.5.1 PRECIPITACIÓN, ÁREA, PENDIENTE Y ELEVACIÓN. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

Los valores promedios más altos de precipitación para la Fm Mesa (tabla 4.28), los tienen las cuencas de los ríos Peñón ($1,35\text{m}\pm 0,26$), Moitaco ($1,17\text{m}\pm 0,13$) y Borbón de Roca ($1,03\text{m}\pm 0,12$), sin embargo para todas las cuencas, hay cierta similitud en cuanto a estos valores, puesto que se encuentra en un margen de precipitación que va entre los 1,3 a 0,9 mm/año. La cuenca del río Peñón Aro al tener un área más extensa ($3658,75\text{km}^2$), posee más puntos de actividad climática, en comparación con las demás cuencas presentes y es por esta razón que su valor promedio de precipitación es más alto. También al ser la cuenca más cercana al Escudo de Guayana, esta puede verse afectada por la posible barrera orográfica que proporciona dicho escudo (López y Uzcátegui, 2014).

Con respecto al sector al suroeste del río Orinoco, el tramo de la cuenca del río Orinoco estudiado es el que posee mayor valor de precipitación ($1,05\text{m}\pm 0,28$), las demás cuencas de la zona poseen valores mucho más bajos, destacándose la similitud en los valores de las cuencas de los ríos Cataniapo ($0,28\text{m}\pm 0,04$) y Parguaza ($0,29\text{m}\pm 0,05$), donde la actividad climática afecta la zona por igual. Por último la cuenca del río Meta, presenta el valor promedio más bajo de precipitación ($0,15\text{m}\pm 0,03$).

Con respecto al sector circundante a los ríos Akanán ($0,18\text{m}\pm 0,03$) y Aparamán ($0,18\text{m}\pm 0,03$), los valores promedios de precipitación son iguales y muy bajos en ambas cuencas.

Los valores de área, pendiente y elevación, se encuentran en la tabla 4.28, donde se observa que para la Fm Mesa, la cuenca con mayor área y valores promedios de pendiente y elevación, es la cuenca Peñón Aro, la cual se encuentra más alejada del río Orinoco y reposa sobre los afloramientos del Complejo Imataca, contrario a las demás cuencas que se encuentran en los piedemontes, como por ejemplo Fundo Mata Linda (menor valor promedio de pendiente), cuya extensión abarca los Llanos Orientales y Moitaco (menor valor promedio de elevación), que se encuentra al sur del Orinoco.

En cuanto la zona al suroeste del río Orinoco, el área mayor y menor lo ocupan las cuencas Meta ($48359,41\text{km}^2$) y Cataniapo ($1587,87\text{km}^2$) respectivamente (tomando en cuenta que la cuenca Orinoco no fue considerada en toda su extensión para la elaboración de este trabajo). Siguiendo con los valores promedios de pendiente y elevación, el mayor y el menor valor lo tienen las cuencas Cataniapo y Orinoco respectivamente. Al igual que las cuencas antes mencionadas, estos valores de pendiente y área, lo condicionan la ubicación geográfica de cada una de las cuencas, puesto que Parguaza y Cataniapo, se encuentran en zonas de mayor altura entre los estados Bolívar y Amazonas, mientras que Meta y Orinoco, mayormente se extienden hacia los llanos colombianos.

Para la última área de estudio denominada sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán, el área mayor lo tiene la cuenca del río Akanán ($32,23\text{km}^2$), pero los valores promedios de pendiente y elevación más altos los tiene la cuenca Aparamán ($1,55^\circ\pm 1,33/477,26\text{m}\pm 10,45$). Estas cuencas se encuentran en una zona compuesta por planicies y llanuras (sabanas y llanuras aluviales), con bajas pendientes que van de 0° a 11° y no se observan variaciones abruptas en toda su extensión (Calderón, 2015).

5.5.2 RELIEVE. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

Con respecto a los valores promedios de relieve (tabla 4.29), para la Formación Mesa los mayores valores los tienen las cuencas Moitaco y Borbón Detrítico. En la figura 4.31a, se observa que los relieves de estas cuencas se acentúan al norte para Moitaco y en la zona central para Borbón Detrítico, las cuencas como Borbón de Roca y Fundo Mata Linda no presentan relieve prominente y Peñón Aro si presenta zonas donde el relieve es mayor, sin embargo cuando el valor promedio de relieve se divide entre el área, dicho valor se distribuye en toda la cuenca por lo que Peñón Aro presenta un valor de relieve mucho menor que Moitaco y Borbón Detrítico que son cuencas más pequeñas; es decir, el desgaste en Moitaco y Borbón Detrítico es mayor, por ser cuencas más pequeñas.

En cuanto al relieve relativo de las cuencas pertenecientes a la zona al suroeste del río Orinoco, se observa que los mayores valores son para las cuencas Cataniapo y Parguaza, nuevamente se toma en cuenta que al ser cuencas de menor superficie que Meta y Orinoco, el desgaste ya sea por tectónica o clima es mayor en estas cuencas. Tanto Cataniapo como Parguaza son afectadas por la complejidad tectónica del Escudo Guayanés, donde las fallas principales como Suapure y Cabruta (Albornoz y Lezama, 2014) han afectado esta zona a través del tiempo geológico. Finalmente el relieve para el sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán, es mayor para la cuenca del río Aparamán, donde hay más pérdida de material.

5.5.3 INTEGRAL HIPSOMÉTRICA. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

Con respecto a la integral hipsométrica (ver tabla 4.30), primeramente para la Formación Mesa, en las cuencas Borbón Detrítico (0,65), Borbón de Roca (0,51) y Moitaco (0,55), se manejan valores en fase de madurez o equilibrio, sin embargo

Peñón Aro (0,34) y Fundo Mata Linda (0,70), superan este intervalo, encontrándose en fase de juventud o desequilibrio, esto indica que a nivel regional aún se están produciendo cambios condicionados por los procesos que están ocurriendo actualmente. En el caso del sector al suroeste del río Orinoco, posee un promedio bajo (0,17), que indica una fase de vejez o estabilidad, sin embargo en una visión individual de cada cuenca Parguaza (0,31) se encuentra en una fase de madurez o equilibrio. Por último las cuencas Akanán y Aparamán que se encuentran en la zona circundante a los ríos Akanán y Aparamán, presentan valores un poco distantes, aunque geográficamente estén muy cercanas, ya que Akanán (0,22) indica una etapa de vejez o estabilidad y Aparamán (0,51) se encuentra en una fase de madurez o equilibrio, lo que implica que a nivel global, actualmente no se están presentando cambios notables en el relieve.

5.5.4 ÍNDICES DE HUMEDAD Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

En la tabla 4.31, se observan los índices de humedad con precipitación uniforme (WI), para las cuencas estudiadas en esta zona. Para la Fm Mesa, se observa que los mayores valores promedios son para Moitaco ($0,14\text{watts}\pm 0,03$), Borbón Detrítico ($0,12\text{watts}\pm 0,02$) y Fundo Mata Linda ($0,09\text{watts}\pm 0,01$). En las cuencas Borbón de Roca ($0,05\text{watts}\pm 0,01$) y Peñón Aro ($0,003\text{watts}\pm 0,0007$), el valor de WI es bajo, lo cual puede deberse a que son cuencas constituidas por pendientes más altas que las otras cuencas de este sector, y esto impide la acumulación de agua en el suelo. En cuanto a la zona al suroeste del río Orinoco, las cuencas presentes poseen valores bajos de índices de humedad, siendo el valor mayor para las cuencas de los ríos Cataniapo ($0,01\text{watts}\pm 0,002$) y Parguaza ($0,003\text{watts}\pm 0,001$), lo cual puede deberse a la gran cantidad de aporte de los diferentes tributarios, que provienen del este y desembocan al oeste en el río Orinoco, concentrando los mayores niveles de humedad en esa zona. Por último las cuencas de los ríos Akanan y Aparamán presentan

valores un poco similares, siendo el mayor valor de índice para la cuenca Aparamán (0,51watts±0,13).

En cuanto a los índices de transporte de sedimentos (Tabla 4.31), en las cuencas que ocupan la Formación Mesa, se observa mayores valores para las cuencas Borbón Detrítico (7076,15watts±69478,13), Moitaco (6503,6watts±45731,3) y Fundo Mata Linda (1357,1watts±9921,91), lo que principalmente puede deberse a los valores de pendiente y el área de la cuenca. Al ser cuencas relativamente pequeñas, con pendientes algo elevadas, permiten el transporte de sedimento a mayor velocidad. Para las cuencas estudiadas en la zona al suroeste del río Orinoco, las cuencas con mayor capacidad de transporte de sedimentos son Cataniapo (40,36watts±536,42) y Parguaza (59,61watts±953,03), nuevamente se consideran las pendientes elevadas que permiten un mayor arrastre de los sedimentos y las fallas en la zona que promueven el transporte de dichos sedimentos a través de los ríos. En el caso de las cuencas Meta y Orinoco, aunque exista gran aporte de arrastre por las redes fluviales, debido a la gran superficie que poseen y bajas pendientes, se puede considerar que la capacidad de transporte de sedimentos en promedio no actúa de forma considerable en dichas cuencas. En el caso del sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán, la cuenca del río Aparamán (43275,19watts±64054,54) posee la mayor capacidad de transporte de sedimentos lo que puede estar condicionado por tener mayor pendiente.

5.5.5 ÍNDICES DE EROSIÓN. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

Con respecto a los índices de erosión, para la Fm Mesa, los valores de TSP y USP, son mayores en las cuencas Borbón Detrítico y Moitaco y los valores de SSP son mayores para las cuencas de los ríos Borbón de Roca, Fundo Mata Linda y Moitaco. Se puede considerar que estas cuencas al tener pequeñas áreas no poseen un drenaje denso y un ancho de canal considerable para generar una alta tasa de erosión, y teniendo en cuenta que la precipitación a nivel general es bastante baja, se puede decir que este sector puede estar siendo sometido a un levantamiento superficial

basado en los desniveles que existen entre el punto máximo y mínimo del río presente en la zona (hipótesis tomada de López y Uzcátegui, 2014).

Para el sector al suroeste del río Orinoco, los valores mayores de todos los índices de erosión los tienen las cuencas Cataniapo y Parguaza. Tomando en cuenta que estos valores han sido normalizados por el área de la cuenca, las mismas, son cuencas que comparadas con Meta y Orinoco poseen áreas muy pequeñas, sin embargo se encuentran en zonas donde el relieve es más atrincado y elevado y además forma parte de la complejidad tectónica del Cratón de Guayana, lo cual promueve la mayor distribución y diversos comportamiento de los tributarios. No obstante, la cuenca del río Meta también forma parte de de la gran depresión Orinoquense y de la gradería de los llanos Colombianos y recibe gran aportes de sedimentos tanto de Colombia como de Venezuela, lo cual también indica un poder de flujo total elevado (TSP).

Para el sector circundante a los ríos Akanan y Aparamán, se observa que los mayores valores de índices de erosión, lo tiene la cuenca del río Aparamán, sin embargo la diferencia de valores con la cuenca del río Akanán, no es tan pronunciada, debido a factores como las bajas pendientes y las áreas pequeñas de las cuencas, que no permiten un ancho de canal considerable que promueva el flujo.

5.5.6 DIMENSIÓN FRACTAL. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

Para el estudio de la dimensión fractal, en la Formación Mesa (figura 4.36), el coeficiente de D, indica autosimilaridad para un grupo de cuatro cuencas (1- Moitaco, 2- Fundo Mata Linda, 3- Borbón de Roca y 4- Borbón Detrítico), mientras que la cuenca Peñon Aro no se encuentra alineada con el resto. Nuevamente este resultado característico, indica predominancia de un factor controlador del relieve, sin embargo también determina la presencia de otro factor controlador el cual actúa en menor grado, interactuando con el factor principal. Cabe destacar que López y Uzcátegui

(2014), quienes estudiaron estas cuencas indicaron que el factor predominante en esta zona es el climático, puesto que se habla de una zona plana donde no hay actividad tectónica considerable, donde las redes drenaje provenientes del río Orinoco, alimentan las cuencas presentes; no obstante según Hackley (2005), existen dos fallas de nombres desconocidos en la zona, las cuales afectan la dirección del recorrido del río Orinoco y el río Peñón Aro, por lo que se descarta la presencia del factor tectónico contribuyendo en menor grado a la deformación del relieve.

Con respecto al sector al suroeste del río Orinoco, claramente se observa autosimilaridad entre las cuencas 3) Cataniapo y 4) Parguaza, considerándolas un grupo aparte de 1) Meta y 2) Orinoco cuyo par presenta también autosimilaridad. Se puede decir de manera general que los procesos que ocurren en estos dos pares de cuencas son distintos entre sí. Lezama y Albornoz (2014), indican que el factor climático predomina en la zona, justificado por los resultados en la correlación Pearson, donde hay correlación entre precipitación vs relieve, aunado a esto indican que el suroeste de Venezuela es una zona que concentra mucha humedad, debido a la acumulación de grandes cantidades de drenaje que provienen del río Orinoco, y se extienden hacia los llanos colombianos, siendo una zona relativamente plana, de cauces amplios y fuerte arrastre del drenaje, además posee valores de precipitación altos. Sin embargo también hacen referencia a dos fallas importantes que afectan directamente a las cuencas Cataniapo y Parguaza, que son la Falla de Suapure y la Falla de Cabruta, coincidiendo con los resultados de la dimensión fractal en este trabajo, ya que claramente indica dos factores controladores de relieve actuando en la zona. (clima y tectónica).

5.5.7 ANÁLISIS MORFOTEXTURAL Y VARIABILIDAD MINERALÓGICA. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

En cuanto al porcentaje mineral para la Formación mesa (tabla 4.34), se observa mayor abundancia en los minerales Circón, Esfena, Rutilo y Topacio, mientras que otros minerales como la Pirita, Anortita, Óxidos y Calco-Olivinos, se

presentan en menor porcentaje. Para los valores de esfericidad promedios en cada cuenca se tienen a Borbón Detrítico $Esf=0,77$, Borbón de Roca $Esf=0,71$, Moitaco $Esf= 0,73$, Fundo Mata Linda $Esf= 0,81$ y Peñón Aro $Esf= 0,81$, mientras que los valores de redondez son para Borbón Detrítico $Red= 0,78$, Borbón de Roca $Red= 0,56$, Moitaco $Red=0,67$, Fundo Mata Linda $Red=0,73$ y Peñón Aro $Red=0,78$. Estos resultados indican para la cuenca Borbón Detrítico una equidad en cuanto a la intervención del transporte y las propiedades físicas de los minerales para condicionar la madurez textural de estos, mientras que en el resto de las cuencas supera la esfericidad en cuanto a la redondez, lo que determina la importancia de la dureza, forma y estructuras de los minerales ya que predomina sobre el transporte. Generalmente debido a la alta esfericidad presente, se puede decir que los granos son casi equidimensionales, clasificándolos entre redondeados a muy redondeados. Los valores de esfericidad al ser generalmente altos, indican largas distancias desde la roca fuente hasta la zona de muestreo, del mismo modo, los altos valores de redondez indican muchos ciclos de transporte y abrasión.

Siguiendo con el porcentaje mineral para las cuencas estudiadas en el sector al suroeste del río Orinoco, los minerales de mayor presencia son el Circón y algunos Óxidos, mientras que minerales como el Cuarzo, Rutilo, Topacio y Apatito, se observan en porcentajes pequeños. Con respecto a los valores de esfericidad, la cuenca Cataniapo cuenta con un valor promedio de $Esf=0,745$, Parguaza con $Esf=0,766$, Orinoco con $Esf=0,744$ y Meta con $Esf=0,755$, indicando alta esfericidad para todas estas cuencas estudiadas considerando a los granos en el rangos que va de redondeado a muy redondeado, indicando que la fuente de estos minerales se encuentra a largas distancias, mientras que la redondez son valores promedios más bajos, teniendo a Cataniapo con $Red= 0,682$, Parguaza con $Red = 0,670$, Orinoco con $Red= 0,74$ y Meta con $Red=0,746$. Comparando estos valores se puede decir que en las cuencas Cataniapo y Parguaza existe un predominio de la esfericidad, sobre la redondez, donde características físicas como la dureza, forma y estructura de los minerales predomina sobre el transporte y en el caso de las cuencas Orinoco y Meta

existe una equidad de valores en cuanto a esfericidad y redondez, estableciendo que las propiedades físicas de los minerales aunado al transporte intervienen a la par en lo que es la madurez textural de los granos, recordando que estas cuencas se caracterizan por poseer grandes tributarios que promueven el transporte . La alta esfericidad encontrada en las cuencas en mayor parte se debe a que el mineral más abundante es el Circón, el cual es un mineral de gran dureza y resistencia a diversos procesos a través del tiempo geológico.

Con respecto al sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán, el contenido mineralógico encontrado en la cuenca Akanán, presenta mayor abundancia de minerales de Circón y algunos Óxidos y en cantidades menores, se observa Rutilo, Cuarzo, Sillimanita y Moscovita, mientras que la esfericidad promedio es $Esf=0,65$ y redondez promedio es $Red=0,62$, donde la esfericidad supera a la redondez, sin embargo tomando en cuenta que no existe mucha diferencia entre los dos valores, se puede decir que tanto las propiedades físicas de los minerales, así como el transporte han intervenido en gran proporción en la madurez textural de los granos de sedimentos, dándoles un aspecto de redondeados en su mayoría.

5.5.8 CORRELACIONES PEARSON. MARGEN CENTRAL DEL RÍO ORINOCO

La tabla 5.9, muestra los parámetros a correlacionar para la Formación Mesa

Cuenca	Pre c	Rel1/ a	Rel3/ a	Rel5/ a	Rel7/ a	WI	WIp	STI	STIp	TSP	TSPpk	USP	USPpk	SSP	SSPpk	Esf.Circón	Red. Circón
B.Detrít.	0,92	0,96	1,11	1,24	1,37	0,12	0,12	7076	8505,2	122,5	147	5,50E-02	9,00E-02	0,02	3,57E-02	0,77	0,64
B.Roca	1,03	0,48	0,56	0,61	0,76	0,05	0,05	707,5	816,04	12,24	27,7	1,02E-02	0,021	0,01	0,011	0,64	0,43
Fundo ML	0,91	0,23	0,33	0,33	0,35	0,09	0,09	1357	1434,9	23,48	47,1	1,20E-02	1,00E-02	0,01	1,39E-02	0,77	0,72
Moitaco	1,17	1,19	1,69	2,18	2,93	0,14	0,15	6504	11527	112,6	366	0,09	0,21	0,03	0,08	0,81	0,73
Peñón	1,35	0,1	0,16	0,17	0,17	0,003	0,003	1171	2139,4	20,26	25,8	0,003	0,46	0,001	0,001	0,81	0,74

Tabla 5.9. Parámetros a correlacionar para las cuencas de interés de la Formación Mesa.

	Prec	Rel1/a	Rel3/a	Rel5/a	Rel7/a	WI	Wlp	STI	STIp	TSP	TSPpk	USP	USPpk	SSP	SSPpk	Esf(Circón)	Red (Circón)
Prec	1,00																
Rel1/a	0,81	1,00															
Rel3/a	0,76	0,99	1,00														
Rel5/a	0,69	0,97	1,00	1,00													
Rel7/a	0,63	0,94	0,98	0,99	1,00												
Wi(m/a)	0,39	0,85	0,85	0,83	0,79	1,00											
Wip(m/a)	0,33	0,87	0,87	0,85	0,83	1,00	1,00										
Sti(m/a)	0,24	0,91	0,88	0,85	0,80	0,82	0,82	1,00									
STIp(m/a)	0,01	0,92	0,94	0,94	0,91	0,79	0,81	0,96	1,00								
TSP(m/a)	0,58	0,91	0,88	0,85	0,80	0,82	0,82	1,00	0,96	1,00							
TSPPK(m/a)	0,62	0,88	0,95	0,97	0,98	0,79	0,82	0,81	0,94	0,81	1,00						
USP(m/a)	0,81	0,96	0,98	0,98	0,97	0,86	0,88	0,91	0,98	0,91	0,97	1,00					
USPPK(m/a)	0,65	-0,21	-0,14	-0,09	-0,06	-0,49	-0,46	-0,04	0,09	-0,04	0,05	-0,05	1,00				
SSP(m/a)	0,59	0,96	0,98	0,97	0,96	0,93	0,95	0,86	0,90	0,86	0,93	0,97	-0,29	1,00			
SSPPK(m/a)	0,65	0,92	0,97	0,98	0,99	0,85	0,88	0,82	0,93	0,82	0,99	0,98	-0,07	0,97	1,00		
Esf(Circón)	0,14	0,14	0,23	0,26	0,26	0,21	0,23	0,44	0,51	0,44	0,45	0,39	0,61	0,21	0,37	1,00	
Red (Circón)	0,53	0,00	0,09	0,13	0,14	0,17	0,18	0,28	0,36	0,28	0,35	0,27	0,53	0,11	0,27	0,97	1,00

Tabla 5.10. Valores de correlación para las cuencas estudiadas en la Formación Mesa.

Al obtener los parámetros correlacionados (Tabla 5.8), se observan diferentes características que pueden ayudar a definir qué proceso controlador del relieve interviene principalmente en la zona. Primeramente teniendo en cuenta la alta correlación existente entre los diferentes valores de relieve y la precipitación, se puede observar la importancia del clima sobre el relieve, así como las correlaciones existentes entre los diferentes índices de erosión tanto teóricos como no teóricos, con la precipitación, indican fuerte intervención del clima para modelar el relieve. Otras correlaciones presentes como las de los índices de humedad y transporte teóricos y prácticos, con los diferentes valores de relieve, indican que tanto la pendiente como la precipitación influyen en los valores de humedad y la capacidad de transporte de las cuencas presentes. Por último la correlación entre la precipitación y la redondez, en este caso tomada del Circón, muestra que aunque no es un valor de correlación muy alto igualmente el clima promueve el transporte de los minerales en la zona, moldeando los granos presentes en los sedimentos. Todas estas características indican que el clima es el proceso controlador del relieve principal en este sector de la zona de estudio. Esto coincide con López y Uzcátegui (2014) quienes concluyen que en estas cinco cuencas el clima es el factor controlador más importante sobre la evolución del relieve, donde las correlaciones de sus valores de relieve y precipitación son altas e incluso la correlación entre la redondez y la precipitación, lo que concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo de grado. Sin embargo no se destaca la presencia de control estructural, esto se evidencia por los valores de la dimensión fractal que determinan al menos dos procesos controladores del paisaje. Según Hackley et al., 2005, se presentan fallamientos (de tipo no clasificado) que transita por la cuenca de Peñón Aro (Ver figura 4.35), controlando parte del drenaje.

La tabla 5.11, muestra los parámetros a correlacionar para el sector al suroeste del río Orinoco

Cuenca	Prec	Rel1/a	Rel3/a	Rel5/a	Rel7/a	WI	WIp	STI	STIp	TSP	TSPpk	USP	USPpk	SSP	SSPPK	Esf.Circón	Red.Circón
Cataniapo	0,28	0,37	0,39	0,49	0,53	0,01	0,01	40,36	1,00E+05	42438	69247	1614	0,3	3990	0,02	0,74	0,61
Parguaza	0,29	0,22	0,29	0,34	0,36	0,003	0,01	59,61	2,00E+05	62,69	1,00E+05	11531	0,22	2357,5	0,01	0,72	0,61
Meta	157,52	0,02	0,04	0,05	0,05	3,00E-04	3,00E-04	9,4	17,59	9,32	28,22	3,00E-04	0	0,0001	1,00E-04	0,78	0,69
Orinoco	1,05	0,02	0,02	0,03	0,03	0,001	9,00E-04	26,2	62,45	25,98	103,4	0,001	0	0,0001	3,00E-04	0,75	0,69

Tabla 5.11. Parámetros a correlacionar para las cuencas de interés en la zona al suroeste del río Orinoco.

	Prec	Rel1/a	Rel3/a	Rel5/a	Rel7/a	WI	Wip	STI	STIp	TSP	TSPpk	USP	USPpk	SSP	SSPpk	Esf(Circón)
Prec	1															
Rel1/a	0,69	1,00														
Rel3/a	0,78	0,99	1,00													
Rel5/a	0,82	1,00	1,00	1,00												
Rel7/a	0,82	1,00	1,00	1,00	1,00											
Wi(m/a)	-0,50	0,94	0,88	0,91	0,91	1,00										
Wip(m/a)	-0,62	0,93	0,97	0,96	0,96	0,76	1,00									
Sti(m/a)	-0,77	0,68	0,75	0,73	0,72	0,45	0,89	1,00								
STIPK(m/a)	-0,53	0,69	0,79	0,75	0,75	0,41	0,90	0,95	1,00							
TSP(m/a)	-0,34	0,83	0,74	0,78	0,79	0,97	0,58	0,20	0,17	1,00						
TSPPK(m/a)	-0,56	0,81	0,89	0,86	0,86	0,58	0,97	0,94	0,98	0,36	1,00					
USP(m/a)	0,66	0,87	0,82	0,76	0,73	0,05	0,68	0,87	0,93	-0,20	0,84	1,00				
USPPK(m/a)	-0,57	0,99	1,00	1,00	1,00	0,88	0,98	0,77	0,79	0,74	0,89	0,51	1,00			
SSP(m/a)	0,76	1,00	0,99	1,00	1,00	0,94	0,94	0,69	0,70	0,82	0,83	0,39	0,99	1,00		
SSPPK(m/a)	-0,53	1,00	0,97	0,98	0,99	0,97	0,90	0,63	0,63	0,87	0,77	0,30	0,97	1,00	1,00	
Esf(Circón)	-0,87	-0,64	-0,69	-0,67	-0,67	-0,44	-0,83	-0,98	-0,87	-0,20	-0,86	-0,79	-0,72	-0,65	-0,59	1,00
Red(Circón)	-0,58	-0,93	-0,97	-0,96	-0,96	-0,76	-1,00	-0,87	-0,90	-0,58	-0,97	-0,68	-0,98	-0,94	-0,90	0,81

Tabla 5.12. Valores de correlación para las cuencas estudiadas en la zona al suroeste del río Orinoco.

Con respecto a los valores de correlación obtenidos para la zona al suroeste del río Orinoco, se pueden mencionar diversos valores importantes que indican cual es el principal factor responsable de modelar el relieve. Las altas correlaciones entre los valores de relieve y la precipitación, indican fuerte influencia del clima en la zona, igualmente las altas correlaciones, entre los índices de humedad, índices de transporte e índices de erosión tanto teóricos como no teóricos con los valores de relieve, indican influencia tanto de la pendiente, como del clima y la litología para lo que es el desarrollo de las condiciones del relieve actual. Esto coincide con Albornoz y Lezama (2014), quienes concluyen que el clima es un factor muy importante para el desarrollo del relieve en la zona conforme a los resultados obtenidos por las diferentes correlaciones realizadas por estos autores.

5.5.9 INTEGRACION DE RESULTADOS PARA EL SECTOR CIRCUNDANTE A LOS RÍOS AKANÁN Y APARAMÁN

En el sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán, al tratarse de sólo dos cuencas estudiadas en la zona, no se pueden realizar estudios de correlación puesto que se necesitan más de dos cuencas para realizar dicho procedimiento, sin embargo a partir de los resultados obtenidos en este sector se pueden obtener conclusiones sobre los factores condicionantes del desarrollo del relieve.

Ambas cuencas poseen áreas muy pequeñas en comparación con el resto de cuencas estudiadas. Los valores de precipitación son bajos así como los valores promedios de pendiente y elevación, lo que confirma que se encuentran en una zona de llanura aluvial. En el caso de la integral hipsométrica, Akanán se encuentra en etapa de vejez y Aparamán en fase de madurez, lo que indica estabilidad en el relieve.

Para los índices de transporte de sedimentos, es Akanán quien tiene mayor capacidad de transporte, esto debido a sus mayores pendientes que aportan vías

para que transite el material. En cuanto a los índices de erosión, los mayores valores los tiene Aparamán, sin embargo no hay mucha diferencia con respecto a Akanán, puesto que poseen características muy similares, en cuanto a pendiente, sus áreas pequeñas y sus anchos de canales estrechos que impiden drenajes más densos que promuevan la erosión.

Por último en cuanto a la mineralogía, el circón es el mineral más abundante y tomando en cuenta los valores de esfericidad y redondez que son muy similares, se puede decir que las propiedades físicas de los minerales, sumado al transporte y los ciclos de abrición, se han encargado de moldear los granos hasta llegar a su condición actual.

En este caso al tratarse de sólo dos cuencas no es posible hacer estudios de correlaciones y no se puede aseverar cual es el proceso principal controlador del paisaje. Calderón (2015) no obtuvo correlaciones entre la precipitación y relieve, por lo que no podemos establecer los efectos determinantes de la precipitación sobre estas cuencas. Es de destacar que se necesita un número mayor de cuencas para probar o refutar alguna influencia del clima sobre el paisaje.

5.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y CAUSAS DE DIFERENCIAS

Para el desarrollo de este trabajo especial de grado fue necesario el empleo de diversas tesis realizadas por compañeros de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV, con la finalidad de comparar sus resultados con los nuestros para que las conclusiones obtenidas puedan ser justificadas y que tengan un alto grado de veracidad. En este estudio, aunque se utilizaron relativos de área, relieve e índices de erosión, con el fin de resaltar la propiedad, los resultados promedios deberían tener similitud con los obtenidos en las otras tesis, ya que en primer lugar la forma o perímetro de las cuencas fueron determinadas en el Laboratorio de Termocronología de la UCV y suministradas al autor. Así mismo se utilizaron las

mismas fuentes respecto al MED y la precipitación (TRMM), aunque en algunos casos de los trabajos nombrados en los antecedentes los autores utilizaron datos de precipitación suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). En general se observan diversas coincidencias en los resultados, sobre todo en las correlaciones, sin embargo numéricamente dichos resultados son diferentes, por lo que se pueden estimar dos posibles causas responsables de estas diferencias:

1) Primeramente con respecto al coeficiente A_s (área de drenaje), donde uno de los pasos principales para su cálculo es determinar la Dirección de Flujo (Flow Direction) a partir del MED (imagen raster que representa las elevaciones), al tomar un área mayor o menor de la que fue tomada por los otros compañeros para realizar el cálculo de la dirección de flujo los resultados naturalmente variarían (al referirse a un área mayor o menor, se está hablando de cual pixel tomar en los límites de las imágenes para realizar el cálculo). Por ejemplo en el caso de Carmona y González (2014), las áreas definidas para comenzar el proceso de construcción de los índices son muy diferentes, puesto que su área de estudio que se basó en cuatro cuencas, es mucho menor a la utilizada en este trabajo ya que fueron nueve cuencas, lo que equivale a un poco más del doble del área, de la que ellas trabajaron. Igualmente esto se aplica para las otras zonas.

2) Como segunda causa posible, se encuentra la selección del tamaño del pixel para calcular el área global de drenaje; el cual se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Área_drenaje} = \text{número de celdas} * \text{área de la celda}$$

En esta investigación se verifica que la resolución espacial de la imagen que representa el MED es de $x=92.68947669\text{m}$ $y=92.68947669\text{m}$ por lo que el área de celda correspondería al producto de $x*y$, cuyos valores son tomados automáticamente de la imagen.

Finalmente se puede concluir que la selección del área para el cálculo de la erosión por ejemplo, afecta los resultados obtenidos, los cuales variarían si se toma como punto de partida para sus cálculos un área mayor o menor, además la selección del tamaño del pixel para calcular el área de drenaje afectará los cálculos en la determinación de los índices de erosión.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este trabajo de grado permitió analizar y comparar un conjunto de cuencas ubicadas en varios sectores de la República Bolivariana de Venezuela y parte de la República de Colombia, respecto a los factores que controlan el relieve. Los resultados obtenidos en la mayoría de los casos concuerdan con las investigaciones realizadas previamente; uno de los aportes que destaca en esta investigación es que se incluye el peso litológico (k) en el cálculo de la erosión, lo que nos permitió dar una estimación más precisa de la afectación climática y litológica sobre el paisaje, además se consideraron nuevos parámetros para reforzar el estudio, no tomados en cuenta por los autores anteriores, como las curvas hipsométricas y la dimensión fractal.

Con respecto a las cuencas estudiadas, en el flanco norandino, las correlaciones establecen que el clima no es el principal agente controlador del paisaje, la mayoría de los resultados entre precipitación vs relieve, muestran anticorrelación, lo que indica que estas variables no actúan en conjunto. Esto se debe a la poca tasa de precipitación en la zona, promovida por el efecto que causa la barrera orográfica. Las cuencas de interés han sido sometidas a grandes niveles de erosión, cuyos afluentes cercanos han modelado el relieve o la litología ha intervenido para que se produzca el desgaste. Las cuencas de mayor extensión (AguaViva-Chejendé y Chama) poseen un relieve alineado a los principales sistemas de fallas presentes como lo son la Falla de Valera y Boconó para AguaViva-Chejendé, mientras que para Chama los bloques tectónicos denominados Sierra Nevada (al sur) y Sierra de la Culata (al norte). Bermúdez et al. (2013), indica que para este flanco existe un predominio tectónico sobre el clima, como factor determinante en el modelado del paisaje, en concordancia con estos resultados.

Las correlaciones entre los índices de erosión con precipitación y litología para este flanco indica un fuerte control litológico sobre las tasas de

incisión, factor no tomado en cuenta en Bermúdez et al. (2013). Además el estudio de la dimensión fractal arrojó fuerte tendencia a un factor modelador del relieve, en este caso se determina que es la tectónica.

Para el flanco surandino, este estudio muestra que actualmente el clima es el principal agente controlador del paisaje, esto lo confirma la fuerte correlación entre la precipitación y el relieve. Este sector se caracteriza por tener una alta tasa de precipitación y una fuerte concentración de redes de drenaje.

Con respecto al estudio de la dimensión fractal para este flanco, la técnica de “Box Counting” muestra autosimilitud para todas las cuencas excepto para el río Guache indicando fuerte tendencia a un solo proceso controlador. Sin embargo, Carmona y González (2014), Arcia y Viana (2013) puntualizan la importancia tectónica de la región en la cual se presentan fallamientos importantes (Boconó y Caparo), indicando acoplamiento entre tectónica y clima; se concluye que esta técnica no validó estos resultados.

Con respecto a los valores de esfericidad y redondez tomados sólo para 6 cuencas (excluyendo a Santo Domingo y Boconó), este estudio (a diferencia de Carmona y González, 2014, cuya redondez correlaciona con la precipitación) no exhibe correlación con la variable precipitación, o sus asociadas, lo que indica que estas propiedades no son controladas exclusivamente por el clima, sino que hay otro factor (se infiere la tectónica) que coopera en el modelado de los granos. Arcía y Viana (2013), Carmona y González (2014), puntualizan la importancia entre el acoplamiento del clima y la tectónica en este sector.

Siguiendo con el flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa, las correlaciones muestran que el clima no es determinante en la formación del paisaje. La anticorrelación entre el relieve vs precipitación indican que el clima no es el factor principal en el modelado del relieve y la correlación entre los índices de erosión con precipitación y litología vs el relieve determinan que aunque dicho factor no es el principal, igualmente contribuye afectando el

relieve interactuando con el fuerte control litológico presente en el área. Los resultados de la dimensión fractal, indican mayor acción de un factor litológico en el relieve de la zona, sin embargo también da indicios de la acción de otro factor modelador, aclarando que afecta en menor grado que el factor principal, pero de igual forma contribuye a la afectación del relieve.

Arcía y Viana (2014) indican que la tectónica prevalece sobre el clima (cuenca del río Nirgua) debido a que el índice de transporte de sedimentos disminuye con la precipitación. Flores (2013), indica que hay acoplamiento entre estos procesos (Camatagua, Guárico y Orituco), debido a que las zonas bajas de sus cuencas se encuentran en los llanos y las altas en zonas montañosas. Por lo que globalmente se concluye que el clima no es el principal agente controlador y existe un acoplamiento de los dos factores (clima y tectónica) ya que al norte de este sector del área de estudio comprende importantes fallas estructurales como Boconó, Guárico, Camatagüita y Guarumen, mientras que al extenderse al sur por ejemplo en las cuencas Guárico y Orinoco no se observa actividad tectónica considerable, donde la precipitación y las redes de drenaje presentes, toman el control del relieve .

Para las cuencas estudiadas en la Formación Mesa, se observa que el clima (actualmente) es el factor principal controlador del paisaje, basado en la alta correlación, entre los distintos relieves vs la precipitación y la presencia de correlación, entre la mayoría de los índices de erosión pesados con la precipitación y litología (k) con el relieve. Igualmente esto es reforzado por la presencia de correlación entre la redondez del circón con la precipitación. Esto concuerda con los resultados de López y Uzcátegui (2014), quienes indican que el fenómeno que controla esta zona principalmente climático. Sin embargo los valores de dimensión fractal indica que aunque predomine un factor modelador del relieve, al mismo tiempo actúa otro factor que contribuye a la deformación (en este caso sería la tectónica), tomando en cuenta que Hackley et al ., 2005 determina la presencia de dos fallas importantes de nombres desconocidos que

intervienen en la dirección de los ríos Orinoco y Peñón, las cuales pueden estar contribuyendo a al efecto que causa el levantamiento superficial al que hacen alusión López y Uzcátegui (2014), justificado por los altos valores de los índices de erosión en cuencas pequeñas como Borbón de Roca y Moitaco cuyos tamaños de sus cauces no poseen un poder de arrastre de sedimentos considerable.

En el sector al suroeste del río Orinoco, la fuerte correlación entre la precipitación vs el relieve determina que es el clima el factor controlador del relieve de mayor importancia en esta zona a nivel global. Esto se debe directamente a que los valores de precipitación son relativamente altos en esta parte del país e incluso los numerosos tributarios que desembocan en el río Orinoco promueven una alta tasa de erosión y una gran concentración de humedad a nivel general. Destaca el efecto que causa la tectónica por medio de las fallas de Cabruta y Suapure, sin embargo considerando la extensa superficie que ocupa la zona dicho tectonismo puede considerarse en un bajo grado, ya que las fallas antes mencionadas sólo afectan el suroeste del Cratón de Guayana, donde se encuentran las cuencas Cataniapo y Parguaza. Si bien los resultados de dimensión fractal calculados en esta zona indican fuerte interacción de dos factores controladores del relieve (clima –tectónica), dichos valores no reflejan otras características importantes como el área de las cuencas Meta y Orinoco que superan en gran tamaño a las cuencas Cataniapo y Parguaza, donde la tectónica no presenta rasgos considerables. Esto coincide con el trabajo de Albornoz y Lezama (2014), donde indican que el factor clima es el predominante, soportado por las altas correlaciones entre los índices de erosión teóricos y no teóricos vs el relieve, donde al incluir la precipitación, los valores aumentan notablemente.

En el caso de las cuencas pertenecientes al sector circundante a los ríos Akanán y Aparamán, no se pueden establecer conclusiones sobre la influencia de un único fenómeno controlador del relieve, ya que se necesitan al menos tres cuencas para efectuar un estudio de correlaciones lineales. Calderón (2015) no

obtuvo correlaciones entre la precipitación y relieve, por lo que no podemos establecer los efectos determinantes de la precipitación sobre estas cuencas. Es de destacar que se necesita un número mayor de cuencas para probar o refutar alguna influencia del clima sobre el paisaje. Sin embargo se infiere un predominio climático sobre esta región debido a que estas cuencas están ubicadas en el cratón (región tectónicamente estable).

La utilidad de emplear el enfoque Geodatabases cuando se maneja grandes volúmenes de información geoespacial y atributiva; a este respecto, la organización de las coberturas por elementos temáticos (litología, índices de erosión, precipitación, etc.) manejadas desde estructuras de bases de datos, permitió organizar y manejar de forma más eficiente la información geoespacial.

La evolución y soporte geomático ofrecido por el programa ArcGis respecto a los modelos cartográficos generados con la herramienta ModelBuilder; en este sentido se simplifica el proceso de cálculos (ej. índices de erosión), además de minimizar la posibilidad de cometer errores.

RECOMENDACIONES

- Con respecto al flanco ramal interior de la Cordillera de la Costa se recomienda hacer un estudio separado de las cuencas Nirgua, Peña y San Carlos, y a parte Camatagua, Guárico y Orituco. Las conclusiones de Arcía y Viana fueron realizadas para la cuenca del río Nirgua (cuya tectónica está más asociada a la falla de Boconó), en cambio las cuencas de lado oriental del flanco están asociados a otro fallamiento (falla de Guárico, entre otras). Igualmente esta recomendación aplica para las cuencas del cratón (Cataniapo y Parguaza)
- Se hace necesario probar y comparar otras técnicas de dimensión fractal. En Turcotte (1997), se muestra una ecuación diferente al método de Box Counting. La razón es que en este trabajo de grado no se obtuvieron

resultados esperados o concluyentes para los siguientes casos: Flanco surandino, aunque en este trabajo y en los previos para este se indica un predominio climático, es evidente que existe un tectonismo notable (falla de Boconó y Caparo), que no fue identificado por esta técnica. Se ubiese esperado al menos dos grupos bien diferenciados con autosimilares (D) entre estos. Fm Mesa por estar en el cratón, se esperaría un predominio climático, que se da par la mayoría de las cuencas, sin embargo en el caso de la cuenca Peñón Aro, quien cuenta con un fallamiento importante (Hackley et al., 2005), su coeficiente de autosimilaridad (D) se encuentra muy cercano al resto.

- Al tener una base de datos de la presencia de los termocronómetros apatito y circón, es posible conocer con precisión las edades y tasas de exhumación de estas cuencas a través del método de huellas de fisión.
- Se recomienda un estudio detallado de la tectónica que involucra la cuantificación de la energía sísmica, deformación sísmica y el levantamiento sísmico; parámetros que se determinan a partir del registro sísmico disponible, incluyendo sus resultados en las distintas correlaciones con el fin estudiar el control tectónico sobre el relieve actual.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBORNOZ M, & LEZAMA, A (2014). *Comparación de la relación Topoforma-Clima_Tectónica en el sector suroeste de la cuenca del Río Orinoco mediante análisis de erosión y minerales pesados*. Trabajo Especial de Grado, 230.p. UCV.

ARCÍA, S y VIANA, C (2013). *Estudio de la interacción clima, tectónica y procesos superficiales como agentes controladores del relieve actual en terrenos adyacentes a los ríos Nirgua, Boconó y Apure mediante caracterización mineralógica, análisis digital del terreno y estudio de minerales pesados*. Trabajo Especial de Grado, 254 p.UCV.

AMBALAGAN, R. CHAKRABORTY, D. KOHLI, A.(2008). Landslide Hazard Zonation (LHZ) mapping on meso-scale for systematic town planning in mountainous terrain. *Journal of Scientific and Industrial Research* v.67p. 486-497.

BELLIZZIA, A. y N. PIMENTEL, (1994). *Terreno Mérida: Un cinturón alóctono Herciniano en la Cordillera de Los Andes de Venezuela*. V Simp. Boliv., Explor. Petrol., Cuencas Subandinas, Puerto La Cruz, p. 271-290.

BELLIZZIA, A. y G. D. RODRÍGUEZ (1968). *Consideraciones sobre la estratigrafía de los Estados Lara, Yaracuy, Cojedes y Carabobo*. Bol. Geol. 9(18): 515-564.

BELLIZIA & RODRÍGUEZ (1976). *Geología del estado Yaracuy*. Bol. Geol., Caracas, Public. esp. 5, (6), p. 3317-3417..

BENDA, L. y DUNNE, T. (1997). Stochastic Forcing of Sediment Rounting and Storage in Cannel net Works. *Water Resour. Res.*33:2865-80.

BERMÚDEZ, M.A (2006). *Procedimientos del Laboratorio de Termocronología de la UCV para la datación de eventos tectotérmicos recientes mediante el método de huellas de fisión en apatitos detríticos*. Trabajo de Ascenso a Profesor Agregado, 156 p. EGMG-UCV.

BERMÚDEZ, M. (2009). *Patrones de Exhumación Cenozoica de Los Andes de Venezuela*, Tesis Doctoral, Universidad Joseph Fourier, Francia.

BERMÚDEZ, M., VAN DER BEEK, P., BERNET, M. (2013). *Strong tectonic and weak climatic control on exhumation rates in the Venezuelan Andes*, doi:10.1130/L212.1.

BRICEÑO, H.,(1986). Mapa Geológico de la cuenca Media del Río Caroní, Edo, Bolívar, Venezuela. Memorias VI Congreso Geológico Venezolano, p5628-5653.

BOGGS,S (2009). Petrology of Sedimentary Rocks. 2da Edition, Cambridge University Press, Cambridge, England. Hardback,600p.

BOOKHAGEN, B. (2010). High Resolution Spatiotemporal Distribution of Rainfall Seasonality and Extreme Events Based on a 12-years TRMM Time Series in Review. (1998-2009). <http://www.geog.ucsb.edu/~bodo/TRMM/>.

BOTERO, P. (1999). Paisajes Fisiográficos Orinoquia-Amazonia (ORAM) Colombia. Análisis Geográficos. 27-28.373p.

CARVER, E. (1971). Procedures in Sedimentary Petrology Wiley-Interscience. Nueva York, 653p.

CHASE, R. (1965). El Complejo Imataca, La Anfibolita de Panamá y Trondjemita de Guri. Bol. de Geología, Vol.VII, N°13, Caracas, pp178-201.

CALDERÓN, R. (2015). Estudio de los procesos erosivos en la zona circundante a los ríos Akanán y Aparamán mediante técnicas de geomorfología cuantitativa. Trabajo Especial de Grado, 207p. UCV.

CARMONA, S & GONZÁLEZ, Z (2014). *Discriminación de agentes controladores del relieve actual sobre el flanco surandino a partir del estudio de sedimentos modernos de los RÍOS CANAGUÁ, CAPARO, MICHAY, URIBANTE y cálculos de índices de erosión*. Trabajo Especial de Grado, 174 p.UCV.

CARPIO, C. (2005). Caracterización Geológica y Estabilización del Talud sur del Pozo Disipador del Aliviadero del Proyecto Tocoma, Edo. Bolívar. Universidad Central de Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 160p.UCV.

CARVER,E (1971). Procedures in Sedimentary Petrology. Wiley-Interscience, New York, 653p.

DERAMIROTTFF (1971). <http://www.pdvsa.com/léxico>.

DÍAZ. J. (2012). Desarrollo e Implementación de la Ganadería Intensiva, para una mejor Comercialización de Carne Bovina en la Finca “El Cortijo Las Marías”. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali. 79p.

DIETRICH, W., WILSON,C.,MONTGOMERY,D.,Mc KEAN, J., and BAUER, R. (1992).

ESLAVA, J., V. LÓPEZ, & G. OLAYA. (1986). Los Climas de Colombia. (Sistema de W. Köppen). Atmosfera 5:35-81. Bogotá.

FERNÁNDEZ, V. (2014). Caracterización Integrada de Yacimientos Petroleros. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. 144p.

FEO-CODECIDO.(1960). Técnica para el Estudio de los Minerales Pesados y su Aplicación en la Estratigrafía de Venezuela. Geos, UCV. Caracas. 4 :5-24.

FEO-CODECIDO (1965). Técnica Para el Estudio de los Minerales Pesados y su Aplicación en la Estratigrafía de Venezuela. S.L.s.e. Venezuela, 24p.

FIGUEIRA, M & ROMERO, C (2014). *Estudio de la interacción entre clima, relieve y tectónica a lo largo de zonas circundantes a los ríos San Carlos, Guache, Guanare y Capitanejo mediante comparación de índices de erosión y análisis de minerales pesados*. Trabajo Especial de Grado, 246 p.UCV.

FINLAYSON, C., DAVIDSON, N., and STEVENSON, N. (2002). Wetland inventory,assessment and monitoring – practical techniques and identification of major issues: summary. Pp. 130 – 136. Report 161. Supervising Scientist, Darwin.

FLORES, M (2013) *Estudio de la relación entre Clima, Erosión y Tectónica a lo largo del Río Guárico mediante análisis geomorfológicos, geológicos y datos termocronológicos existentes*. Trabajo Especial de Grado, 206 p.UCV.

GALVIS, N., y SUAREZ, M. (1984). Geología de la Cuenca de los Llanos Orientales de Colombia. Informe de Progreso N°1. Bogotá D.C.: Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.

GARCIA JARPA, F., S. GHOSH, F. RONDÓN, I. FIERRO, M. SAMPOI, G. BENEDETTO, C. MEDINA, O. ODREMAN, T. SANCHÉZ y A. USECHE, (1980). *Correlación estratigráfica y síntesis paleoambiental del*

Cretáceo de los Andes venezolanos. Bol. Geol., Minis. Energ. y Min., Caracas, XIV(26): 3-88.

GARCÍA, J y MARTINEZ, J (1992). Recursos Minerales de España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Textos Universitarios, C.S.I.C.I.S.B.N.:84-00-07263-4.

GARNER, A. H., (1926). *Suggested nomenclature and correlation of the geological formations in Venezuela, in Petroleum development and technology, 1925*. Published by Am. Inst. Min. Metall. Eng., Tr., p. 677-684.

GONZÁLEZ DE JUANA, C., J. M. ITURRALDE DE AROZENA & X. PICARD CADILLAT. (1980). *Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas*. Caracas: Ed. Foninves, 1031 p.

GRAYSON, R., BLÖSCHL, G., BARLING, R., MOORE, I. (1993). Process, scale and constraints to hidrologycal modelyn in GIS. HidroGIS91: Aplicacion of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources. IAHS Publ 211.

GOOSEN, D. (1964). Geomorfología de los Llanos Orientales. Revista ACCE-FYN, 1964;12 (46):129-140.

GUILLEN, W. y TORIBIO, E. (2006). Compilación, Digitalización y Actualización Geológica-Cartográfica de la zona Nor-Central. Estados Guárico y Aragua. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Geólogo.225p.

HACKLEY, P.C., URBANI, F., KARLSEN, A., GARRITY, C. (2005). *Mapa geológico de Venezuela*. Open file 2005-1038. USGS, 2 P.

HUBER, O & ALARCON.,(1998). Mapa de Vegetación de Venezuela Bioma-MARNR. Escala 1:2.000.000.

IMESON, A.; CURFS, M. (2008). La erosión del suelo. Lucinda 1:1-14. Consultado 11 setiembre 2012.

KALLIOKOSKI,J.(1965). Geología de la Parte Norte-Central del Escudo de Guayana, Venezuela. Bol. Geol.,Caracas, 29-104.

KISER, G. D., 1989. *Nuevas contribuciones a la geología sw Barinas-Apure y se frente de montañas*, en prensa.

KRUMBEIN and SLOSS (1955). *An Introduction to Statical Models in Geology*. Edit Mc Graw Hill, New York.475p.

LI, Z., ZHU, Q. and GOLD, C. (2005). *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*. CRC press: Boca Raton, FL, 323 p.

LO MONACO & YANES, C (1990). *Model for bauxite formación Los Pijiguaos. Venezuela*. Chemical Geology.

MACKENZIE, A. N., (1937)-a. *Sección geológica de la región de Barinas: Distritos Barinas, Bolívar and Obispos, State of Zamora, Venezuela*, Bol. Geol. y Min., Caracas, 1(2-4): 253-266.

MAYER, L., 1990. *Introduccion to quantitative Gaomophology: an exersice manual, Engelewood Cliffs NJ*, Prentice Hall.

MC CANDLESS, G. C., 1965. *Reconocimiento geológico de la parte occidental del Estado Bolívar*. Bol. Geol., 7(13): 19-28.

MANGER, M and MAURER, H. (1992). *Heavy Minerals in Clours*, Chapman and Halla, New York, 128p.

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., 1999. *Modelos digitales de terreno: Estructuras de datos y aplicaciones en el análisis de formas del terreno y en Edafología*. QUADERNS DMACS Núm. 25, Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Universitat de Lleida, Lleida.

MELLENDEZ, W (1995). *Distribución de elementos químicos y minerales pesados en perfiles de meteorización desarrollado sobre una roca granítica a diferentes niveles topográficos*. Trabajo de ascenso presentado para optar al título de Profesor Asistente, facultad de ciencias. U.C.V. 171p.

MENDOZA V., 1972. *Geología del área del río Suapure, parte noroccidental del escudo de Guayana, Estado Bolívar, Venezuela*. IX Conf. Geol. Interguayanas, Mem., Bol. Geol., Public. Esp. 6, p. 306-338.

MENDOZA, V (2005). Geología de Venezuela, Tomo II, Guayana, Los Andes y Sistema Montañoso del Caribe. UDO. Escuela de Ciencias de la Tierra. Ciudad Bolívar.

MENÉNDEZ, A., 1965. *Geología del área de El Tinaco, centro norte del Estado Cojedes*. Bol. Geol. 6(12): 417-543.

MILOVSKI, V y KÓNONOV, V. (1982). Mineralogía. Editorial Mir, Moscú.

MORENO, Y (1996). *Estudio geoquímico de los minerales pesados que drenan las rocas del complejo Cuchivero, estado Bolívar y Amazonas*. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Química, Facultad de Ciencias U.C.V.

MOORE, I; GRAYSON, R.B. AND LADSON, A.R. (1991). *Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications*. Hydrological processes, 5: 3-30.

MONTGOMERY, D and DIETRICH, W (1995). Hydrologic Processes in a low gradient source area. Water Resource Research, 31(1), 1-10.

MORTON y HALLSWORTH (1994). Identifying Provenance-specific features of Heavy Mineral Assemblages in Sandstones. Sedimentary Geology, p 241-256.

MORTON y HALLSWORTH (1999). Identifying Provenance-specific features of Heavy Mineral Assemblages in Sandstones. Sedimentary Geology, p 241-256.

NAVAS, J y QUESADA, J. (2010). Fractales: La Frontera entre el Arte y las Matemáticas. Universidad de Jaén. 57p.

ORTEGANO, O. (2012). Geología en la Formación Mesa, en la zona de Borbón, al suroeste de Ciudad Bolívar, margen derecho del río Orinoco, Edo. Bolívar. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería. Trabajo

Especial de Grado para optar al título de Magister Scientiarum en Ciencias Geológicas, Inédito.

PDVSA-LÉXICO ESTRATIGRÁFICO (2010). Fm Esmeralda, Fm Moriche, Fm Cinaruco, Fm Caicara, Fm Granito de Parguaza, Grupo Roraima y Grupo Cuchivero. <http://www.pdv.com/lexico/lexicoh.htm>.

PEREIRA, N; MURÚA, M; AGUILERA, O; ARANDIA, J Y LÓPEZ, H (1999). Plan estratégico a largo plazo del Estado Mérida. Convenio ULA-PDVSA. Grupo Región, Estrategia y Desarrollo. Institutos de Investigaciones Económicas y Sociales. 37p.

PÉREZ-PEÑA, J.V, AZAÑÓN J:M, AZOR, A (2009). CalHypso: An ArcGIS Extension to Calculate Hypsometric Curves and their Statical Moments. Applications to Drainage Basin Analysis in SE Spain. *Computers and Geosciences* 35: 1214-1223.

PETTIJHON, F.J. (1975). *Sedimentary Rocks*. New York: Harper and Brothers, 628p.

PHILLIPS, V. (1989). Remedies to Problems caused by Agriculture: The Engineering solution en effects of Land use on Fresh Waters, J.F. de L.G. Solbé (ed), pp.315-328. Publ. Water Research Centre, Hellis Horwood Limited, Chichester.

PIZARRO, J., P. M. VERGARA, J.A. RODRIGUEZ & A.M. (2010). Heavy Metals in Northern Chilean Rivers: Spatial variation and temporal trends. *Journal of Hazardous Materials* 181: 747-754.

QUEZADA J., CERDA J. y JENSEN A. (2010). Efectos de la tectónica y el clima en la configuración morfológica del relieve costero del Norte de Chile. *Andean Geology* 37 (1): 78-109.

RACCA, J (2007). *Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno. Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* 77(1-2): 31-38. Rosario, 01-10-2007.

SCHUBERT, C., (1968). *Geología de la Región de Barinitas Santo Domingo, andes venezolanos surorientales*. Bol. Geol., 9 (19): 182-261.

SCHUBERT Y BRICEÑO (1987). Orígen Topográfico Tepuy, Una Hipótesis Pantepui, N°2, p.11-14.

SOUBLETTE, A. (2013) *Preservación del patrimonio cultural existente en El Picacho en el proceso*

de evaluación de yacimiento mineral no metálico, sector Los Cogollos, municipio Nirgua, estado Yaracuy. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Minas.

TAPIAS, J; GUEVARA, A; RAMIREZ,N; JIMENEZ, D; TEJADA, M (2007). Mapa Geológico de Colombia. Instituto Colombiano de Geología y Minería. INGEOMINAS. Esc:1:2800.000. Republica de Colombia.

TRICART, J (1978). *Géomorphologie applicable. New York Masson, Estados Unidos*. 24p.

TUCKER & WHIPPLE (2002). Implications of sediment-flux-dependent river incision models for landscape evolution. *Journal of Geophysical Research*, Vol.107, NO.B2,10.1029/2000JB000044; 3-20 p.

TURCOTTE, D. L. (1997): *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge*, 378.

VENTURINI, O (1983). Geografía de la Región de los Andes Venezolanos. Vol 7. Ariel-Seix Barral, Venezuela. Pag.12-70.

VILA, M. (1965). Aspectos Geográficos del Estado Guárico, Corporación Venezolana de Fomento, División de Estudios Generales, Venezuela 235p.

VILA, M-A (1976^a). Diccionario de Tierras y Agua. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía Nacional. Caracas.

VIVAS, L.,1992. Los Andes de Venezuela. Ed. Academia Nacional de la Historia. Pag.12.-70.

WADELL, H (1932). Volume, Shape and Roundness of Rock Particles, Journal of Geology 40:p 443-451.

WILSON, J & GALLANT, J (2000). *Digital terrain analysis. in: Wilson, J., and Gallant, J. (eds), Terrain Analysis: Principles and Applications, New York :John Wiley and Sons: 1-26.*

WHIPPLE, K. (2004). The Influence of Climate on the Tectonic Evolution of Mountain Belts, Nature, 2 (2), 97-104.

WOOD, J. (1996). The Geomorphological Characterization of Digital Elevation Models, Tesis Doctoral, University of Leiscester, Department of Geography, Leicester, UK. <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>.

YORIS, F. (1992). Estudios de Secuencias Clásticas por métodos Petrográficos y Estadísticos, Toma I, II, III y IV. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Biblioteca de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar por el Grado Académico Titular. Caracas.

YORIS, F., y OSTOS., (1997). Geología de Venezuela: Geología General y cuencas Petrolíferas. En : Singer, J., ed., WEC 1997. Evaluación de Pozos: Schlumberger-Surencó C.A. 1ra Edición., Jolley Printing, Texas.

Referencias Electrónicas

[https:// sites.google.com/site/nirguaweb/mapa himno y escudo de nirgua](https://sites.google.com/site/nirguaweb/mapa_himno_y_escudo_de_nirgua)).

<https://www.venemia.com>.

http://siga.geoportalsb.gob.ve/rios_embalses/

https://en.wikipedia.org/wiki/Box_counting

www.Intercambiosvirtuales.org

<http://servidorgeodin.urg.es/arpa/index.php/calhypso-para-arcgis-10-1/>

www.Geoingeniería.net

8. ANEXOS

Geología Regional

A continuación se presenta la geología regional de la zona de estudio.

Flanco Norandino

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Aguaviva-Chejendé

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Palmarito	Paleozoico Tardío	Lutitas, limos, areniscas y margas	CPp
Fm. Sabaneta	Paleozoico Tardío	Areniscas	Cps
Fm. La Quinta	Jurásico	Arenisca, limolita, caliza, basalto, andesita	Jlq
Fm. Guasare	Paleoceno	Calizas grises, intercaladas con arenisca, lutita y limolita	Tgu
Fm. Isnotú	Mioceno	Arcillas, areniscas, conglomerado y carbón.	Ti
Grupo Cogollo	Mioceno Superior-Plioceno	Calizas y Lutitas	Kl
Fm. Río Negro	Barremiense	Areniscas, conglomerados y lutitas	Kl
Fm. Apón	Aptiense - Albiense	Calizas y Lutitas	Kla
Fm. La Luna	Cretácico Tardío	Calizas y Lutitas	Ku
Fm. Colón	Maastrichtiense	Lutitas y Calizas	Ku
Fm. Mitu Juan	Maastrichtiense Tardío	Arcillas	Ku
Fm. Esnujaque	Pleistoceno- Holoceno	Gravas, gneiss, granitos, esquistos micáceos y filita	Qe
Fm. Carvajal	Pleistoceno	Arenas y gravas macizas.	Qc
Fm. Betijoque	Mioceno- Plioceno	Conglomerado, arcillas Arenas y carbón	Tg
Grupo Guayabo	Mioceno-Plioceno	Areniscas y Lutitas	Tg
Grupo Agua Negra	Eoceno	Areniscas, calizas y lutitas	Te

Fm Misoa	Eoceno	Lutitas y areniscas de grano fino, limolitas	Te
Fm. Paují	Eoceno	Lutitas color gris	Te
Fm. Mene Grande	Eoceno	Areniscas grises, lutitas negras	Te
Fm. Caus	Eoceno	Lutitas, calizas, areniscas, limolitas	Te
Fm. Trujillo	Paleoceno-Eoceno	Lutitas y Areniscas	Tmat
Fm. Matatere	Paleoceno-Eoceno	Arenisca, caliza, filita esquisto, cuarcita y lutita	Tmat
Fm. Morán	Paleoceno-Eoceno	Areniscas, Lutitas y calizas	Tmo
Complejo Iglesias	Proterozoico	Ortogneis biotítico, gneises migmatíticos, sills de anfíbolitas.	Zi

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Chama

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Palmarito	Paleozoico Tardío	Lutitas, limos, areniscas y margas	CPp
Fm. La Quinta	Jurásico	Arenisca, limolita, caliza, basalto, andesita	Jlq
Fm. Colón	Maastrichtiense	Lutitas y Calizas	Ku
Fm. Mitu Juan	Maastrichtiense Tardío	Arcillas	Ku
Fm. Sabaneta	Paleozoico Tardío	Areniscas	Cps
Fm. La Luna	Cretácico Tardío	Calizas y Lutitas	Ku
Grupo Cogollo	Mioceno Superior-Plioceno	Calizas y Lutitas	Kl
Fm. Río Negro	Barremiense	Areniscas, conglomerados y lutitas	Kl
Fm. Carvajal	Pleistoceno	Arenas y gravas macizas.	Qc
Fm. Caparo	Ordovícico Tardío	Limolitas arenáceas, gris oscuro y localmente limolitas micáceas carbonáceas.	Seh
		Limolitas arenáceas, gris oscuro y local-	

Fm. El Horno	Ordovícico Tardío	mente limolitas micáceas carbonáceas.	Seh
Grupo Orocué	Paleoceno- Holoceno	Lutitas, arcilitas y areniscas alternantes	Tor
Complejo Iglesias	Proterozoico	Ortogneis biotítico, gneises migmatíticos, sills de anfibolitas.	Zi

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Coloncito

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. La Quinta	Jurásico	Arenisca, limolita, caliza, basalto, andesita	Jlq
Grupo Cogollo	Mioceno Superior-Plioceno	Calizas y Lutitas	Kl
Grupo Guayabo	Mioceno-Plioceno	Areniscas y Lutitas	Tg
Fm. Río Negro	Barremiense	Areniscas, conglomerados y lutitas	Kl
Fm. La Luna	Cretácico Tardío	Calizas y Lutitas	Ku
Fm. Colón	Maastrichtiense	Lutitas y Calizas	Ku
Fm. Mítu Juan	Maastrichtiense Tardío	Arcillas	Ku
Fm. Carvajal	Pleistoceno	Arenas y gravas macizas.	Qc
Fm. Betijoque	Mioceno- Plioceno	Conglomerado, arcillas Arenas y carbón	Tg
Fm. Carbonera	Eoceno-Oligoceno	Arcillitas, lutitas grisáceas, areniscas arcillosas	Tc
Fm. Mirador	Eoceno	Arenisca	Tmi
Grupo Orocué	Paleoceno-Eoceno	Lutita, arcillas, arenisca y carbón	Tor

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Mimbos

Unidades Litológicas			

	Edad	Litología	Simbología
Fm. Isnotú	Mioceno	Arcillas, areniscas, conglomerado y carbón.	Ti
Grupo Cogollo	Mioceno Superior-Plioceno	Calizas y Lutitas	Kl
Fm. Río Negro	Barremiense	Areniscas, conglomerados y lutitas	Kl
Fm. Apón	Aptiense - Albiense	Calizas y Lutitas	Kla
Fm. La Luna	Cretácico Tardío	Calizas y Lutitas	Ku
Fm. Colón	Maastrichtiense	Lutitas y Calizas	Ku
Fm. Mítu Juan	Maastrichtiense Tardío	Arcillas	Ku
Fm. Carvajal	Pleistoceno	Arenas y gravas macizas.	Qc
Fm. Betijoque	Mioceno- Plioceno	Conglomerado, arcillas Arena y carbón	Tg
Grupo Guayabo	Mioceno-Plioceno	Areniscas y Lutitas	Tg
Grupo Agua Negra	Eoceno		Te
Fm Misoa	Eoceno		Te
Fm. Paují	Eoceno		Te
Fm. Mene Grande	Eoceno		Te
Fm. Caús	Eoceno		Te
Complejo Iglesias	Proterozoico	Ortogneis biotítico, gneises migmatíticos, sills de anfíbolitas.	Zi

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río San Pedro

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Grupo Guayabo	Mioceno-Plioceno	Areniscas y Lutitas	Tg
Grupo Cogollo	Mioceno Superior-Plioceno	Calizas y Lutitas	Kl
Fm. Río Negro	Barremiense	Areniscas, conglomerados y lutitas	Kl
Fm. La Luna	Cretácico Tardío	Calizas y Lutitas	Ku
Fm. Colón	Maastrichtiense	Lutitas y Calizas	Ku
Fm. Mítu Juan	Maastrichtiense Tardío	Arcillas	Ku
Fm. Mirador	Eoceno	Areniscas	Tmi
		Ortogneis biotítico,	

Complejo Iglesias	Proterozoico	gneises migmatíticos, sills de anfibolitas.	Zi
-------------------	--------------	---	----

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Tucaní

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Carvajal	Pleistoceno	Arenas y gravas macizas.	Qc
Complejo Iglesias	Proterozoico	Orogneis biotítico, gneises migmatíticos, sills de anfibolitas.	Zi

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006).

Flanco Surandino

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Boconó

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Pagüey	Eoceno	Lutitas marinas de grises a negras.	Tp
Fm. Palmarito	Paleozoico Tardío	Lutitas, limos, areniscas y margas	CPp
Fm. Sabaneta	Paleozoico Tardío	Areniscas	Cps
Grupo Cogollo	Mioceno Superior-Plioceno	Calizas y Lutitas	Kl
Fm. Río Negro	Barremiense	Areniscas, conglomerados y lutitas	Kl
Fm. Apón	Aptiense - Albiense	Calizas y Lutitas	Kla
Fm. Río Guache	Maastrichtiense-Eoceno Medio.	Sedimentos turbidíticos tipo Flysch	Ktrg
Fm. La Luna	Cretácico Tardío	Calizas y Lutitas	Ku

Fm. Colón	Maastrichtiense	Lutitas y Calizas	Ku
Fm. Mítu Juan	Maastrichtiense Tardío	Arcillas	Ku
Fm. Esnujaque	Pleistoceno- Holoceno	Gravas, gneiss, granitos, esquistos micáceos y filita	Qe
Fm. Parángula	Mioceno Medio	Conglomerados lenticulares de grano grueso y areniscas de grano fino	Tpar
Fm. Guanapa	Pleistoceno	Conglomerados, areniscas y arcillas	Qg
Fm. Río Yuca	Plioceno	Conglomerado, areniscas, limolitas y arcillas de color pardo claro.	Try
Complejo Iglesias	Proterozoico	Ortogneis biotítico, gneises migmatíticos, sills de anfíbolitas.	Zi

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006), Arcía y Viana (2013).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Caparo

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Caparo	Ordovícico Tardío	Limolitas arenáceas, gris oscuro y localmente limolitas micáceas carbonáceas.	Seh

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Canaguá

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Río Yuca	Plioceno	Conglomerado, areniscas, limolitas y arcillas de color pardo claro.	Try
		Conglomerados lenti-	

Fm.Parángula	Mioceno Medio	culares de grano grueso y areniscas de grano fino	Tpar
Fm.Pagüey	Eoceno	Lutitas marinas de grises a negras.	Tp
Fm. Mirador	Eoceno	Areniscas blancas de grano medio, material carbonáceo.	Tpr
Complejo Iglesias	Proterozoico	Ortogneis biotítico, gneises migmatíticos, sills de anfibolitas.	Zi
Fm. Carvajal	Pleistoceno	Arenas y gravas macizas.	Qc

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006), Carmona y González (2014).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Michay

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Sabaneta	Paleozoico Tardío	Areniscas	Cps
Fm. Caparo	Ordovícico Tardío	Limolitas arenáceas, gris oscuro y localmente limolitas micáceas carbonáceas.	Seh
Fm. El Horno	Ordovícico Tardío	Limolitas arenáceas, gris oscuro y localmente limolitas micáceas carbonáceas.	Seh

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Uribante

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
-----------------------------	-------------	------------------	-------------------

Fm. La Cope	Plioceno Temprano	Conglomerados, areniscas y calizas.	Qal
-------------	-------------------	-------------------------------------	-----

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río San Carlos

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Trujillo	Paleoceno-Eoceno	Lutitas y Areniscas	Tmat
Fm. Cojedes	Albiense	Areniscas, calizas y gneises.	Klaa
Complejo El Tinaco	Pre-Albiense	Meta Sedimentarias (gneises y esquistos)	Pzett
Fm. Agua Blanca	Aptiense	Calizas, filitas y areniscas.	Klaa
Complejo Nirgua	Mesozoico	Esquistos y mármoles	Kn
Fm. Esquistos Las Mercedes	Jurásico-Cretácico	Esquistos Calcáreos	JKml
Peridotita de Tinaquillo	Mesozoico	Peridotitas	Metp
Complejo San Julián	Pre-Mesozoico	Esquistos y Gneises	Pzsj

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006), Figueira y Romero (2014).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Guache

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Río Yuca	Mioceno Tardío-Plioceno.	Conglomerados y Areniscas.	Try
Fm. Río Guache	Maastrichtiense-Eoceno Medio.	Sedimentos turbidíticos tipo Flysch	Ktrg
Fm. Yacambú	Campaniense- Maastrichtiense	Lutitas pizarrosas, Meta limolitas y ftanitas	Klm
Fm. Barquisimeto	Cenomaniense-Maastrichtiense	Calizas y ftanitas	Kub
Fm. Volcancito	Albiense-Cenomaniense	Calizas y Meta-areniscas	Klm
Fm. Mamey	Cretácico Temprano	Esquistos y Mármoles	Klm

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Guanare

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Parángula	Mioceno Medio-Tardío	Conglomerados, areniscas y limolitas	Tpar
Fm. Pagüey	Eoceno Medio	Lutitas	Tp
Fm. Morán	Paleoceno-Eoceno	Areniscas, Lutitas y calizas	Tmo
Fm. Río Guache	Maastrichtiense-Eoceno Medio	Sedimentos turbidíticos tipo Flysch	Ktrg
Fm. Colón	Maastrichtiense	Lutitas y Calizas	Ku
Fm. La Luna	Cretácico Tardío	Calizas y Lutitas	Ku
Fm. Barquisimeto	Cenomaniense-Maastrichtiense	Calizas y ftanitas	Kub
Fm. Apón	Aptiense - Albiense	Calizas y Lutitas	Kla
Fm. Volcancito	Albiense-Cenomaniense	Calizas y meta-areniscas	Klm
Fm. Yacambú	Campaniense-Maastrichtiense	Lutitas pizarrosas, melimolitas y ftanitas	Klm
Fm. Mamey	Cretácico Temprano	Esquistos, Meta-conglomerados	Klm
Fm. Sabaneta	Paleozoico Tardío	Areniscas	Cps
Fm. Palmarito	Paleozoico Tardío	Lutitas, limos, areniscas y margas	CPp
Complejo Iglesias	Proterozoico Tardío	Gneises y granitos	Zi

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006), Figueira y Romero (2014).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Capitanajo

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Grupo Guayabo	Mioceno-Plioceno	Areniscas y Lutitas	Tg
Grupo Cogollo	Mioceno Superior-Plioceno	Calizas y Lutitas	Kl
Fm. Río Negro	Barremiense	Areniscas, conglome-	Kl

		rados y lutitas	
Fm. Mitu Juan	Maastrichtiense Tardío	Arcillas	Ku
Fm. Colón	Maastrichtiense	Lutitas y calizas	Ku
Fm. La Luna	Cretácico Tardío	Calizas y Lutitas	Ku
Fm. Sabaneta	Paleozoico Tardío	Areniscas	Cps
Fm. Caparo	Ordovícico Tardío	Areniscas y conglomerados	Seh

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006), Figueira y Romero (2014).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Santo Domingo

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Mitu Juan	Maastrichtiense Tardío	Arcillas	Ku
Fm. Colón	Maastrichtiense	Lutitas y calizas	Ku
Fm. La Luna	Cretácico Tardío	Calizas y Lutitas	Ku
Fm. Sabaneta	Paleozoico Tardío	Areniscas	Cps
Fm. Esnujaque	Pleistoceno-Holoceno	Grava	Qe
Fm. Carvajal	Pleistoceno	Arenas y gravas macizas.	Qc
Fm. Guanapa	Pleistoceno	Conglomerados, areniscas y arcillas	Qg
Fm. Parángula	Mioceno Medio-Tardío	Conglomerados, areniscas y limolitas	Tpar
Fm. Pagüey	Eoceno Medio	Lutitas	Tp
Complejo Iglesias	Proterozoico Tardío	Gneises y granitos	Zi

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Apure

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Palmarito	Paleozoico Tardío	Lutitas, limos, areniscas y margas	CPp
Fm. Guanapa	Pleistoceno	Conglomerados, areniscas y arcillas	Qg
Fm. Sabaneta	Paleozoico Tardío	Areniscas	Cps
Esquisto Las Brisas	Jurásico-Cretácico	Esquistos y gneis	JKlb

Fm. Esquistos Las Mercedes	Jurásico-Cretácico	Esquistos Calcáreos	JKml
Fm. La Quinta	Jurásico	Arenisca, limolita, caliza, basalto, andesita	Jlq
Fm. Guinimita	Cretácico Inferior	Esquisto, Metaconglomerados y calizas	Kgu
Grupo Guayabo	Mioceno-Plioceno	Areniscas y Lutitas	Tg
Grupo Cogollo	Mioceno Superior-Plioceno	Calizas y Lutitas	Kl
Fm. Río Negro	Barremiense	Areniscas, conglomerados y lutitas	Kl
Complejo Nirgua	Cretácico	Esquistos cuarzosos anfibolita, cuarcita y gneis	Kn
Complejo El Tinaco	Paleozoico	Paragneiss, anfibolita y mármol	Pzet
Complejo Chacual	Cretácico-Oligoceno	Lutitas	KTc
Fm. Mitu Juan	Maastrichtiense Tardío	Arcillas	Ku
Fm. Colón	Maastrichtiense	Lutitas y calizas	Ku
Fm. La Luna	Cretácico Tardío	Calizas y Lutitas	Ku
Fm. Garrapata	Cretácico Superior		Kgu
Complejo San Julián	Cretácico	Esquistos y gneiss	Pzsj
Fm. Carvajal	Pleistoceno	Arenas y gravas macizas.	Qc
Grupo Cogollo	Mioceno Superior-Plioceno	Calizas y Lutitas	Kl
Fm. Río Negro	Barremiense	Areniscas, conglomerados y lutitas	Kl
Fm. Cojedes	Albiense	Areniscas, calizas y gneises.	Klaa
Fm. Agua Blanca	Aptiense	Calizas, filitas y areniscas.	Klaa
Fm. Araure	Cretácico Inferior	Calizas y conglomerados	Klaa
Fm. El Pegón	Mioceno-Plioceno	Gravas pobremente consolidadas, areniscas calizas y lutitas	Tepg
Fm. Guamacire	Mioceno-Plioceno	Gravas pobremente consolidadas, areniscas calizas y lutitas	Tepg
Grupo Guayabo	Mioceno-Plioceno	Areniscas y Lutitas	Tg
Grupo Roraima	Proterozoico Medio	Cuarzoarenitas, areniscas feldespáticas, lutitas.	Xyr
Complejo Iglesias	Proterozoico Tardío	Gneises y granitos	Zi
Fm. Apón	Aptiense - Albiense	Calizas y Lutitas	Kla
Fm. Bobare	Cretácico Inferior	Areniscas cuarzosas	Klb
Fm. Volcancito	Cretácico Inferior	Esquistos cuarzosos, metaconglomerados,	Klm

		lutitas, metareniscas, cuarcita	
Fm. Yacambú	Cretácico Inferior	Equistos cuarzosos, metaconglomerados, lutitas, metareniscas, cuarcita	Klm
Fm. Mamey	Cretácico Inferior	Equistos cuarzosos, metaconglomerados, lutitas, metareniscas, cuarcita	Klm
Fm. Mucaria	Cretácico Superior	Lutitas carbonáceas	Km
Fm. Guárico	Cretácico-Eoceno	Areniscas y Lutitas	Ktg
Fm. Río Guache	Maastrichtiense-Eoceno Medio	Sedimentos turbidíticos tipo Flysch	Ktrg
Fm. Barquisimeto	Cenomaniense-Maastrichtiense	Calizas y ftanitas	Kub
Fm. Escorzonera	Cretácico Superior	Lutita, arenisca, caliza poca andesita y basalto	Kue
Fm. Esnujaque	Pleistoceno-Holoceno	Grava	Qe
Esquistos Aroa	Mesozoico	Esquistos y filitas	Ma
Complejo El Tinaco	Paleozoico	Paragneiss, anfibolita y mármol	Pzet
Complejo Yaritagua	Paleozoico	Gneiss y esquistos	Pzy
Fm. Caparo	Ordovícico Tardío	Areniscas y conglomerados	Seh
Fm. El Horno	Ordovícico Tardío	Limolitas arenáceas, gris oscuro y localmente limolitas micáceas carbonáceas.	Seh
Fm. Betijoque	Mioceno- Plioceno		Tg
Fm. León	Oligoceno-Mioceno	Lutitas	Ti
Fm. Maporita	Mioceno-Plioceno	Conglomerado, arenisca, arcillas, calizas y margas	Tmap
Fm. Mirador	Eoceno	Arenisca	Tmi
Fm. Morán	Paleoceno-Eoceno	Areniscas, Lutitas y calizas	Tmo
Grupo Orocué	Paleoceno-Eoceno	Lutita, arcillas, arenisca y carbón	Tor
Fm. Parángula	Mioceno Medio-Tardío	Conglomerados, areniscas y limolitas	Tpar
Fm. Pagüey	Eoceno Medio	Lutitas	Tp
Fm. Quebradón	Oligoceno-Mioceno	Lutita, carbón y arenas	Tqq
Fm. Quiamare	Oligoceno-Mioceno	Lutita, carbón y arenas	Tqq
Fm. Naricual	Oligoceno-Mioceno	Lutita, carbón y arenas	Tqq
		Conglomerado, arenis-	

Fm. Río Yuca	Plioceno	cas, limolitas y arcillas de color pardo claro.	Try
Fm. Roblecito	Eoceno-Mioceno	Lutitas	Tr

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006), Arcía y Viana (2014).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica de Arauca

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Palmarito	Paleozoico Tardío	Lutitas, limos, areniscas y margas	CPp
Fm. Sabaneta	Paleozoico Tardío	Areniscas	Cps
Fm. La Quinta	Jurásico	Arenisca, limolita, caliza, basalto, andesita	Jlq
Grupo Guayabo	Mioceno-Plioceno	Areniscas y Lutitas	Tg
Grupo Cogollo	Mioceno Superior-Plioceno	Calizas y Lutitas	Kl
Fm. Río Negro	Barremiense	Areniscas, conglomerados y lutitas	Kl
Fm. Mitu Juan	Maastrichtiense Tardío	Arcillas	Ku
Fm. Colón	Maastrichtiense	Lutitas y calizas	Ku
Fm. La Luna	Cretácico Tardío	Calizas y Lutitas	Ku
Fm. Esnujaque	Pleistoceno-Holoceno	Grava	Qe
Fm. Carvajal	Pleistoceno	Arenas y gravas macizas.	Qc
Fm. Guanapa	Pleistoceno	Conglomerados, areniscas y arcillas	Qg
Fm. Caparo	Ordovícico Tardío	Areniscas y conglomerados	Seh
Fm. El Horno	Ordovícico Tardío	Limolitas arenáceas, gris oscuro y localmente limolitas micáceas carbonáceas.	Seh
Fm. Betijoque	Mioceno- Plioceno		Tg
Fm. León	Oligoceno-Mioceno	Lutitas	Ti
Fm. Mirador	Eoceno	Arenisca	Tmi
Grupo Orocué	Paleoceno-Eoceno	Lutita, arcillas, arenisca y carbón	Tor
Fm. Parángula	Mioceno Medio-Tardío	Conglomerados, areniscas y limolitas	Tpar
Fm. Pagüey	Eoceno Medio	Lutitas	Tp
		Conglomerado, arenis-	

Fm. Rio Yuca	Plioceno	cas, limolitas y arcillas de color pardo claro.	Try
Complejo Iglesias	Proterozoico Tardío	Gneises y granitos	Zi

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006).

Flanco Ramal Interior de la Cordillera de la Costa

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Camatagua

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Guinimita	Cretácico Inferior	Esquisto, Metaconglomerados y calizas	Kgu
Complejo El Tinaco	Paleozoico	Paragneiss, anfibolita y mármol	Pzet
Fm. Garrapata	Cretácico Superior	Lutitas, limolitas y calizas	Kgu
Fm. Mucaria	Cretácico Superior	Lutitas carbonáceas	Km
Fm. Guárico	Cretácico-Eoceno	Areniscas y Lutitas	Ktg
Fm. Escorzonera	Cretácico Superior	Lutita, arenisca, caliza con poca andesita y basalto	Kue
Fm. Quebradón	Oligoceno-Mioceno	Lutita, carbón y arenas	Tqq
Fm. Quiamare	Oligoceno-Mioceno	Lutita, carbón y arenas	Tqq
Fm. Naricual	Oligoceno-Mioceno	Lutita, carbón y arenas	Tqq
Fm. Roblecito	Eoceno-Mioceno	Lutitas	Tr

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006), Flores (2013).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Guárico

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Guinimita	Cretácico Inferior	Esquisto, Metaconglomerados y calizas	Kgu
Complejo Chacual	Cretácico-Oligoceno		KTc

Fm.Garrapata	Cretácico Superior	Lutitas, limolitas y calizas	Kgu
Fm. Mucaria	Cretácico Superior	Lutitas carbonáceas	Km
Fm Guárico	Cretácico-Eoceno	Areniscas y Lutitas	Ktg
Fm. Quebradón	Oligoceno-Mioceno	Lutita,carbón y arenas	Tqq
Fm Quiamare	Oligoceno-Mioceno	Lutita,carbón y arenas	Tqq
Fm.Uchirito	Oligoceno-Mioceno	Lutita,carbón y arenas	Tqq
Fm.Capaya	Oligoceno-Mioceno	Lutita,carbón y arenas	Tqq
Fm.La Pica	Oligoceno-Mioceno	Lutita,carbón y arenas	Tqq
Fm Naricual	Oligoceno-Mioceno	Lutita,carbón y arenas	Tqq
Fm.Roblecito	Eoceno-Mioceno	Lutitas	Tr

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006), Flores (2013).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Nirgua

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Esquistos Las Mercedes	Jurásico-Cretácico	Esquistos Calcáreos	JKml
Fm.Esquistos Chuspita	Jurásico-Cretácico	Esquistos Calcáreos	JKml
Complejo Nirgua	Cretácico	Esquistos cuarzosos anfíbolita, cuarcita y gneis	Kn
Fm. El Pegón	Mioceno-Plioceno	Gravas pobremente consolidadas, arenisca calizas y lutitas	Tepg
Fm.Guamacire	Mioceno-Plioceno	Gravas pobremente consolidadas, arenisca calizas y lutitas	Tepg
Esquistos Aroa	Mesozoico	Esquistos y filitas	Ma
Complejo San Julián	Cretácico	Esquistos y gneiss	Pzsj
Complejo Yaritagua	Paleozoico	Gneiss y esquistos	Pzy

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006), Arcía y Viana (2013).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Orituco

Unidades			

Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Guinimita	Cretácico Inferior	Esquisto, Metaconglomerados y calizas	Kgu
Complejo Chacual	Cretácico-Oligoceno		KTc
Fm.El Cantil	Cretácico Inferior	Caliza fosilífera, arenisca y lutita	Klec
Fm. Mucaria	Cretácico Superior	Lutitas carbonáceas	Km
Fm Guárico	Cretácico-Eoceno	Areniscas y Lutitas	Ktg
Fm. Quebradón	Oligoceno-Mioceno	Lutita,carbón y arenas	Tqq
Fm Quiamare	Oligoceno-Mioceno	Lutita,carbón y arenas	Tqq
Fm.Uchirito	Oligoceno-Mioceno	Lutita,carbón y arenas	Tqq
Fm.Capaya	Oligoceno-Mioceno	Lutita,carbón y arenas	Tqq
Fm.La Pica	Oligoceno-Mioceno	Lutita,carbón y arenas	Tqq
Fm.Chaguaramas	Oligoceno-Mioceno	Lutita,carbón y arenas	Tqq
Fm.Roblecito	Eoceno-Mioceno	Lutitas	Tr

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006), Flores (2013).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río San Carlos

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm. Esquistos Las Mercedes	Jurásico-Cretácico	Esquistos Calcáreos	JKml
Fm.Esquistos Chuspita	Jurásico-Cretácico	Esquistos Calcáreos	JKml
Complejo Nirgua	Cretácico	Esquistos cuarzosos anfibolita, cuarcita y gneis	Kn
Complejo El Tinaco	Paleozoico	Paragneiss, anfibolita y mármol	Pzet
Complejo San Julián	Cretácico	Esquistos y gneiss	Pzsj
Fm. Cojedes	Albiense	Areniscas, calizas y gneises.	Klaa
Fm. Agua Blanca	Aptiense	Calizas, filitas y areniscas.	Klaa
Fm.Araure	Cretácico Inferior	Calizas y conglomerad	Klaa
Fm. Mucaria	Cretácico Superior	Lutitas carbonáceas	Km

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006), Figueira y Romero (2014).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Peña

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Complejo Nirgua	Cretácico	Esquistos cuarzosos anfibolita, cuarcita y gneis	Kn
Complejo San Julián	Cretácico	Esquistos y gneiss	Pzsj

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010).

Formación Mesa

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Borbón Detrítico

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm.Mesa	Pleistoceno	Arenisca y Grava	Qm
Complejo Imataca	Precámbrico Temp	Gneiss, cuarzo feldes-pático	AXi

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Borbón de Roca

Unidades Litológicas			

	Edad	Litología	Simbología
Fm.Mesa	Pleistoceno	Arenisca y Grava	Qm
Complejo Imataca	Precámbrico Temp	Gneiss, cuarzo feldes- pático	AXi

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Moitaco

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm.Mesa	Pleistoceno	Arenisca y Grava	Qm
Complejo Imataca	Precámbrico Temp	Gneiss, cuarzo feldes- pático	AXi

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Fundo Mata Linda

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm.Mesa	Pleistoceno	Arenisca y Grava	Qm

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Peñón

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Complejo Imataca	Precámbrico Temp	Gneiss, cuarzo feldespático	AXi
Complejo Supamo	Precámbrico	Paragneisses, cuarzo feldespático	Xsp

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010).

Sector al Suroeste del Río Orinoco

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Parguaza

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Fm.Moriche	Precámbrico	Metaconglomerados, cuarcita y esquistos micáceos	Xcg
Fm.Cinaruco	Precámbrico	Metaconglomerados, cuarcita y esquistos micáceos	Xcg
Fm.Esmeralda	Precámbrico	Metaconglomerados, cuarcita y esquistos micáceos	Xcg
Grupo Roraima	Proterozoico Medio	Cuarzo arenitas y lutitas	Xyr
Granito de Parguaza	Precámbrico	Granito, textura rapakivi	Ypg

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Albornoz y Lezama (2014).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Cataniapo

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Granito de Parguaza	Precámbrico	Granito, textura rapakivi	Ypg

Fuente: Hackley et al., (2006).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Meta

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Granito de Parguaza	Precámbrico	Granito, textura rapakivi	Ypg
Fm. Guadalupe	Cretácico Superior	Arenisca intercalada con arcillas y limolitas	Masp
Fm. Palmichal	Cretácico Superior	Arenicas intercalada con arcillas y limolitas	Masp
Fm. Chipaque	Cretácico Superior	Arenicas intercalada con arcillas y limolitas	Masp
Fm. Gachetá	Cretácico Superior	Arenicas intercalada con arcillas y limolitas	Masp
Fm. Une	Cretácico Superior	Arenicas intercalada con arcillas y limolitas	Masp
Fm. Paja	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas	Ccsp
Fm. San Gil	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas	Ccsp
Fm. Trinchera	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas	Ccsp
Fm. Socotá	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas	Ccsp
Fm. Hilo	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas	Ccsp

Fm.La Frontera	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas	Ccsp
Fm.Churuvita	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas	Ccsp
Fm.San Rafael	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas	Ccsp
Fm.Cucaita	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas	Ccsp
Fm.Conejo	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas	Ccsp
Fm.Villeta	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas	Ccsp
Fm.Chipaque	Cretácico Superior	Ludolitas, con nódulos de areniscas y calizas	Ccsp
Fm.Cumbre	Cretácico Inferior	Areniscas	Masp
Fm.Rosablanca	Cretácico Inferior	Areniscas	Masp
Fm.Ritoque	Cretácico Inferior	Areniscas	Masp
Fm.Macanal	Cretácico Inferior	Areniscas	Masp
Fm.Batá	Cretácico Inferior	Areniscas	Masp
Fm.Las Juntas	Cretácico Inferior	Areniscas	Masp
Fm.Cáqueza	Cretácico Inferior	Areniscas	Masp
Fm.Fómeque	Cretácico Inferior	Areniscas	Masp
Fm.La Naveta	Cretácico Inferior	Areniscas	Masp
Fm.Bejucal	Cretácico Inferior	Areniscas	Masp
Fm.Murca	Cretácico Inferior	Areniscas	Masp
Fm.Pinzaima	Cretácico Inferior	Areniscas	Masp
Fm.Regadera	Eoceno	Areniscas de grano grueso y conglomerado	Masp
Fm.Concentración	Eoceno	Areniscas de grano grueso y conglomerado	Masp
Fm.Bogotá	Eoceno	Areniscas de grano grueso y conglomerado	Masp
Fm.Picacho	Eoceno	Areniscas de grano grueso y conglomerado	Masp
Fm.Socha	Eoceno	Areniscas de grano grueso y conglomerado	Masp

Fm.Guayabo	Mioceno	Arcillas y lutitas grisáceas	Masp
Fm.Diablo	Mioceno	Arcillas y lutitas grisáceas	Masp
Fm.León	Mioceno	Arcillas y lutitas grisáceas	Masp
Fm.Carbonera	Mioceno	Arcillas y lutitas grisáceas	Masp
Fm.San Fernando	Mioceno	Arcillas y lutitas grisáceas	Masp

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006), Albornoz y Lezama (2014), Tapias et al., 2007).

Unidades litológicas presentes en la Cuenca hidrográfica del río Orinoco (segmento de cuenca que se estudia para éste trabajo).

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Grupo Cuchivero	Precámbrico	Conglomerados, guijarros, esquistos cuarzosos	Xcg
Granito de Parguaza	Precámbrico	Granito Rapakivi	Ypg
Fm.Atabapo	Precámbrico	Conglomerados, guijarros, esquistos cuarzosos	Gsh

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010).

Sector Circundante a los ríos Akanán y Aparamán

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Akanán

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Grupo Roraima (inf)	Proterozoico Medio	Cuarzoarenisca,arkosa, arenisca conglomerá-	Xyr

		aica y SILTSTone	
Grupo Roraima (med)	Proterozoico Medio	Cuarzoarenisca,arkosa,Siltstone y Grauwaka	Xyrg

Fuente: Hackley et al., (2006), Calderón (2015).

Unidades litológicas presentes en la cuenca hidrográfica del río Aparamán

Unidades Litológicas	Edad	Litología	Simbología
Grupo Roraima (sup)	Proterozoico Medio	Cuarzoarenisca,arkosa	Xyra
Grupo Roraima (med)	Proterozoico Medio	Cuarzoarenisca,arkosa,Siltstone y Grauwaka	Xyrg
Grupo Roraima (inf)	Proterozoico Medio	Cuarzoarenisca,arkosa,arenisca conglomerá-aica y SILTSTone	Xyrc

Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010), Hackley et al., (2006).