

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**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 presentado
ante la ilustre Universidad Central de
Venezuela por las Bachilleres:

Carmona Steffany, C.I: V.-20.119.256

González Zulyn, C.I: V.-19.545.612

para optar al título de Ingeniero
Geólogo.

Caracas, 26 de Mayo de 2014

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**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 presentado
ante la ilustre Universidad Central de
Venezuela por las Bachilleres:

Carmona Steffany, C.I: V.-20.119.256

González Zulyn, C.I.: V.-19.545.612

para optar al título de Ingeniero
Geólogo.

TUTOR ACADEMICO: Prof. Mauricio Bermúdez

Caracas, 26 de Mayo de 2014

Caracas, 2014

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por las Bachilleres, Carmona Steffany y González Zulyn, titulado:

“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”

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

Prof. Ricardo Alezones

Jurado

Prof. Xavier Bustos

Jurado

Prof. Mauricio Bermúdez

Tutor

DEDICATORIA

*A esos ángeles que cortaron sus alas
para que yo volara alto, a mis Padres,
mi gran apoyo, para ustedes este logro.*

***“Para aquellas personas que
siendo verdaderas,
hacen al mundo
DIFERENTE.”***

Steffany Carmona

<<El hombre
generalmente se
convierte en aquello
que cree ser...

Si tengo la creencia de
que puedo hacerlo,
adquiriré la capacidad
para hacerlo, incluso
aunque no la tenga
cuando he
comenzado>>

Mahatma Gandhi

A mis padres

Zulyn González

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela, “La Casa que Vence la Sombra”, por haberme acogido en sus aulas para formarme como ingeniero.

A Dios Todopoderoso por brindarme salud, fuerza, sabiduría y fe para mantenerme incondicional a mis sueños y para recorrer este camino.

A mis padres, Douglas Carmona y Cruz Zerpa por ser mi inspiración y apoyo para sortear todas las dificultades que se me han presentado, por estar siempre presentes en cada momento, por ser ese Sol Bemol Mayor que ha marcado en todo momento el compas de vida, para ustedes este y todos los mis logros, los amo.

A mi hermano Douglas Carmona, por su apoyo en todo momento, por hacerme reír a cada instante.

A Henbelk Hernández, por ser esa persona que estuvo a mi lado en los últimos años de mi carrera, por estar en los momentos buenos, pero sobre todo en los difíciles, a ti muchas gracias, parte de este logro también es tuyo, gracias por el apoyo incondicional.

Al profesor Mauricio Bermúdez, por brindarme la oportunidad de trabajar a su lado y ayudarme en el desarrollo de este proyecto en todo momento y confiar en mí, GRACIAS.

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) de la Universidad Central de Venezuela, por proveer los recursos financieros para la ejecución de este trabajo, mediante el proyecto de investigación de grupo No. PG 08-8273-2011, titulado: *“Determinación de la relación entre relieve, clima, tectónica y biodiversidad en orógeno circundantes a la cuenca del río Orinoco mediante métodos multiherramientas”*.

Al Proyecto GIAME (Geodinámica Integral de Los Andes de Mérida) proporcionado a FUNVISIS, por proveer parte de los recursos financieros para la culminación de este trabajo. Al Proyecto Geociencia Integral de Los Andes de Mérida (GIAME), coordinado por el Dr. Michael Schmitz de FUNVISIS, quien financió parte de las actividades desarrolladas en este Trabajo Especial de Grado. Al Dr. Matthias Bernet de la Universidad Joseph Fourier, Grenoble-Francia, por la ayuda recibida en campo.

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, en especial a los profesores que integran el departamento de geología, Rafael Falcón, A Mederos, Ricardo Alezones, David Mendi,

Ruthman Hurtado, Enzo Caraballo, Franck Audemard y todos los profesores del departamento que contribuyeron a mi formación como ingeniero.

Al Profesor Ricardo Alezones, un agradecimiento muy especial por estar siempre presente y dispuesto a solucionar cualquier duda e inconveniente que se me presento durante mi estadía en la escuela, a usted muchas gracias.

A mi compañera de tesis, por recorrer conmigo todo el camino que involucró el desarrollo y culminación de este trabajo.

A los otros tesistas del laboratorio de termocronologia, Miguel Uzcategui, Nerelys López, Marcos Figueira, Luis Romero, Miguel Albornoz y Arnaldo Lezama, por estar siempre dispuestos a brindarnos su ayuda.

A mis compañeros de carrera, gracias por estos cuatro años de aprendizaje juntos.

A mis aliadas y aliado de vida desde hace algún tiempo Emelin Duarte, Katherine Maigua y Erny Hidalgo, gracias por siempre estar allí.

A mis compañeras y compañeros de escuela Milagros Dudamel, Carlos Castillo y José Miguel Luna gracias por hacer divertidos estos días de tanta tensión.

A mi familia, Abuelas, Abuelos, Tías, Tíos, Primas, Primos por su apoyo.

A mi Profesora Glenis Yayas, gracias porque a pesar de la distancia siempre fue una fuente de apoyo incondicional.

Y por último, a todos aquellos que de una forma u otra siempre estuvieron presentes a lo largo de este camino.

A todos, GRACIAS...

Steffany Carmona

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios, por tantas bendiciones, por ayudarme en momentos de debilidad, permitirme crecer, fortalecerme con cada obstáculo que ha dispuesto y guiarme en este camino de vida que me hace tan feliz.

A mi mami, Zulay Urbina, quien ha sido el motor de vida, mi fiel acompañante en los mejores y peores momentos, por creer siempre en mí, por apoyarme incondicionalmente, guiarme, por los valores que me has inculcado, por brindarme los mejores consejos y tu paciencia infinita. Te amo MADRE, eres mi mayor ejemplo y ¡ERES ADMIRABLE! No bastará una vida para agradecer todo lo que has hecho por mí.

Al mejor padre que Dios y la vida me pudo brindar Nexo Rios, gracias a ti y a tu ejemplo ahora puedo decir que soy Ingeniero, gracias por enseñarme este camino y hacer que tu sueño de estudiar y formarme en **la casa que vence las sombras** también fuese mi sueño, gracias por el apoyo incondicional, la dedicación, los consejos y la preocupación día a día.

A mi Abuelita Bertha, el pilar de mi familia, mi segunda madre, la mejor. Gracias por todo el amor que me has dado, por consentirme siempre, por tus consejos tan sabios y por todos los regaños que merecía y no entendía. Gracias por llevarme en tus oraciones, estoy segura que siempre lo haces. Sé que estarás orgullosísima de mí.

A mi hermano Zuglyn González quien ha sido un gran ejemplo, gracias a la lucha y amor por tu trabajo me has impulsado a crecer y ser mejor persona cada día para guiar tus pasos. Te quiero Ché.

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela por darme la oportunidad de formar parte de ella, a mi Escuela de Geología, Minas y Geofísica por abrirme sus puertas y ser ese segundo hogar que ahora llevo en el corazón, por brindarme tantos momentos de felicidad y crecimiento en sus aulas y pasillos.

A mi querido Profesor, el Dr. Mauricio Bermúdez, gracias por todo el apoyo brindado a lo largo de este trabajo, por su dedicación, calidad humana, infinita paciencia, aun cuando era yo quien muchas veces lo regañaba, por alegrar esas tardes con su música de piano merengue, salsa, y sobre todo con los *Bee Gees*, seguí su consejo de escucharlos mientras escribo estas líneas para inspirarme como lo recomendó, amar lo que hacemos y así todo fluye mucho más fácil.

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) de la Universidad Central de Venezuela, por proveer los recursos financieros para la ejecución de este trabajo al igual que FUNVISIS. Al Proyecto Geociencia Integral de Los Andes de Mérida (GIAME), coordinado por el Dr. Michael Schmitz de FUNVISIS, quien financió parte de las actividades desarrolladas en este Trabajo Especial de Grado. Al Dr. Matthias Bernet de la Universidad Joseph Fourier, Grenoble-Francia, por la ayuda recibida en campo.

A mi mejor amiga María Fernanda, que más que una amiga, es la hermana que Dios me permitió escoger, gracias por tu infinito apoyo, por regañarme cuando lo merezco y ayudarme a ser mejor persona, por tu compañía y todas las aventuras que juntas hemos compartido en los últimos años, gracias por alegrar mis días y ayudarme a salir de los peores momentos, te quiero *bananis*.

A Steffany Carmona por ser una excelente compañera de tesis, gracias por todo el apoyo, por tu constancia, por no rendirte y ayudarme a superar todos los obstáculos, gracias a eso estamos cumpliendo esta meta juntas. Éxito Colega!!

Al querido Prof. Alezones, por todo su apoyo en lo que necesitara y por alegrar estos últimos meses con su compañía en el Lab.330. A todos los profesores que me brindaron su sabiduría y realizan esta labor de formar profesionales que es invaluable, especialmente al Prof. Rafael Falcón, Franck Audemard, María Lorente, Luis Camposano, David Mendi, Alfredo Mederos, Enzo Caraballo, Ruthman Hurtado gracias por todas sus enseñanzas.

A mis compañeros de clases, gracias por el apoyo y por hacer de mi vida universitaria un trayecto de momentos felices, inolvidables y divertidos, hoy puedo decir que me llevo muchos amigos, Rosbeidy, Miguel Albornoz, Miguel Uzcategui, Nerelys, Grillet, Ivanessa, Morochos, Luis Carlos, Marcos.

A mis amigos, por compartir una de las mejores etapas de mi vida, por su apoyo y comprensión. Gracias por estar siempre en las buenas y malas.

Zulyn González

Carmona, Steffany G. y González, Zulyn

**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**

**Tutor Académico: Prof. Mauricio Bermúdez. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2014, 190 páginas.**

**Palabras claves: Geomorfología Cuantitativa, minerales pesados, análisis digital
del terreno, erosión, río Uribante, río Caparo, río Michay, río Canaguá.**

RESUMEN:

El presente Trabajo Especial de Grado, combina principios de geomorfología cuantitativa, a través del análisis digital del terreno, y cálculos de índices de erosión con análisis visual óptico y automatizado de las características morfo-texturales de minerales pesados pertenecientes a sedimentos modernos de ríos que yacen en el flanco surandino, este enfoque multidisciplinario es empleado con la finalidad de discriminar los agentes controladores del relieve actual (clima, tectónica y procesos superficiales) para este lado de la cordillera andina venezolana. Para este estudio, se recolectaron cuatro muestras de sedimentos modernos, tomadas de los ríos Uribante, Caparo, Michay y Canaguá, las cuales ocupan un área de 92,10; 3329,83; 92,57 y 522,57 km², respectivamente. Los minerales pesados derivados de tales muestras fueron analizados mediante un microscopio de luz polarizada, las imágenes obtenidas fueron estudiadas por medio del software ImageJ para observar sus características morfo-texturales, luego se les hicieron estudios químicos, morfológicos, texturales y microtexturales mediante un microscopio electrónico de barrido, toda esta información se integra con el análisis digital del terreno y los índices de erosión registrados en cada una de las cuencas. Finalmente, mediante un análisis de correlación de todos los parámetros obtenidos a lo largo de las cuatro cuencas de interés indican un acoplamiento entre los factores climáticos y tectónicos sobre el control del relieve actual. Adicionalmente, la alta correlación entre los índices de erosión con la redondez de los granos demuestra que a pesar de que el transporte en las cuencas no es tan grande, es suficientemente importante para moldear los granos de circones, sobretodo en la cuenca del río Caparo. Cuando éstos resultados se comparan con el flanco norte de Los Andes de Venezuela, es posible explicar la asimetría en los patrones de exhumación reportados en investigaciones recientes que lleva a cabo el Laboratorio de Termocronología de la UCV.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 ALCANCE	4
1.5 ANTECEDENTES.....	5
CAPÍTULO II	8
2. MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA.....	8
2.1 INTRODUCCIÓN	8
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	8
2.2.1 Geomorfología cuantitativa	8
2.2.2 Análisis visual de formas de granos	9
2.2.3 Análisis de imágenes mediante ImageJ	9
2.2.4 Concentración y beneficio de minerales.....	9
2.3 METODOLOGÍA	12
2.3.1 Pre campo	12
2.3.2 Campo.....	12
2.3.3 Laboratorio y Oficina	13
2.4 DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS UTILIZADAS	14
2.4.1 Análisis de Minerales Pesados	14
a) Separación de los minerales pesados por sistemas hidrogravimétricos.....	14
b) Separación magnética de minerales pesados.....	16
c) Separación de minerales pesados mediante Bromoformo	17
d) Separación magnética de la muestra con el equipo isodinámico tipo Frantz	17
e) Elaboración de secciones de montaje para minerales pesados	19

f) Microscopia Electrónica de Barrido (M.E.B)	19
g) Análisis Morfológico Digital de Imágenes de Minerales Pesados	20
2.5 GEOMORFOLOGÍA CUANTITATIVA	25
2.5.1 Índices de Erosión	25
2.5.1.1 Poder de flujo total (TSP)	26
2.5.1.2 Poder de flujo unitario (USP)	27
2.5.1.3 Poder de flujo de cizalla (SSP)	27
2.5.2 Relieve	27
2.5.3 Índices de Humedad	28
2.5.4 Índice de capacidad de transporte de sedimentos	29
CAPÍTULO III	30
3. GEOLOGÍA REGIONAL	30
3.1 INTRODUCCIÓN	30
3.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	30
3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES	33
3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	34
3.6 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	41
3.7 CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS	43
3.7.1. Clima	43
3.7.2. Relieve	45
3.7.3. Vegetación	46
CAPÍTULO IV	49
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	49
4.1 INTRODUCCIÓN	49
4.2 ANÁLISIS MORFO-TEXTURAL	49
4.3 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)	64
4.3.1 RIO URIBANTE	64

4.3.2 RÍO CAPARO	74
4.3.3 RIO MICHAY	84
4.3.4 RIO CANAGUÁ	94
4.4. ANÁLISIS DIGITAL DEL TERRENO	104
4.4.1 Atributos Primarios.....	104
4.4.2 Atributos Secundarios.....	107
CAPÍTULO V.....	124
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	124
5.1 INTRODUCCIÓN	124
5.2 ANÁLISIS MORFO-TEXTURAL	124
5.3 ANÁLISIS DIGITAL DE IMÁGENES DE MINERALES PESADOS	125
5.4 ANÁLISIS MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	127
5.5 ANÁLISIS DIGITAL DEL TERRENO	128
5.6 INTEGRACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	130
CAPÍTULO VI.....	144
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	144
REFERENCIAS.....	147
ANEXOS.....	3

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Diagrama de flujo que muestra el procesamiento de las muestras en el laboratorio de termocronología (extraído de Flores y Méndez 2005)	¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.	
Figura 2. 2. Mesa de wilfley ubicada en el laboratorio de termocronología de la ucv	15
Figura 2. 3. Disposición de las partículas según su densidad en la mesa de Wilfley durante el proceso. (tomado y modificado de http://ingenieria.udea.edu.co/cim2005/mineralurgia/concentracion.pdf)	15
Figura 2. 4. Materiales para la separación magnética manual (tomado de Flores, 2013) ...	16
Figura 2. 5. Método de separación magnética manual	16
Figura 2.6. Método de separación de minerales pesados mediante bromoformo	17
Figura 2.7. Separador magnético isodinámico Frantz	18
Figura 2.8. Esquema para la preparación de una sección montada	19
(tomado de: http://edafologia.ugr.es/optmine/intro/prepaare.htm#anchor253414)	19
Figura 2.9. Microscopio petrográfico mediante el cual se realizados el estudio de los minerales	21
Figura 2.10. Pasos para abrir una imagen con el software Imagej	21
Figura 2.11. Pasos para generar contraste de color en la imagen a ser analizada digitalmente	22
Figura 2.12. Pasos para seleccionar los parámetros a ser calculados en la imagen a analizar	22
Figura 2.14. A) ventana que muestra el contorno y numeración de cada partícula analizada; b) ventana que muestra los resultados obtenidos por el procesamiento digital de imágenes.	23
Figura 2.13. Pasos para finalizar el análisis de partículas	23
Figura 2.14. (a) carta de relación esfericidad-redondez de Krumbein y Sloss (1954) (b) resultados de la delineación de los granos de la figura 3.22 por parte del programa imagej	24
Figura 3.1. Zona de estudio	31
Figura 3.2. Tomada de Bermúdez et al (2012).	35

(a) mayor sistema de fallas activo (modificado por Audemard et al., 2000) y datos de sismicidad recopilada durante el periodo 1911-2011 por la biblioteca digital de la universidad de los andes (http://igula.ciens.ula.ve/) y funvisis (http://funvisis.org.ve).	
(b) acumulación de energía sísmica liberada, calculada por el registro de sismos. Sismos individuales con $m > 5$ ocurridos fuera de los andes venezolanos son indicados (1-31 diciembre 1993, 9,65° n, 70,70° w, $m_w = 5.4$; 2-21 diciembre 2001, 8.17° n, 70.96° w, $m_w = 5.6$; 3-03 enero 2006, 9.89° n, 71.92° w, $m_w = 5.0$; 4-04 agosto 2006, 9.97° n, 70.65° w, $m_w = 5.2$; 5-29 diciembre 1995, 9.75° n, 70.26° w, $m_w = 5.3$; 6-12 febrero 1998, 9.14° n, 70.23° w, $m_w = 5.6$).	
(c) tasa de tensión sísmica como ha sido predecida desde la distribución y magnitudes de terremotos y los terremotos de máxima magnitud m_{max} , de cada captura usando un contenedor de 0,5°x0,5° de los datos.....	35
Figura 3.3. Mapa neotectónico de Venezuela. Tomado y modificado de Flores 2013 (tomado y modificado de FUNVISIS 1993).....	36
Figura 3.4. Modelo estructural de los Andes.....	38
Figura 3.5. Espesores de las formaciones geológicas en estudio	40
Figura 3.6. Geomorfología de los sistemas Caparo y central-surandino.....	42
Figura 3.7. Levantamiento del bloque Caparo. (tomado de Kohn et al.,1984)	43
Figura 3.9. Mapa de relieve de la zona en estudio. (tomado de Venturini 1983).....	46
Figura 3.10. Mapa de vegetación de la zona en estudio. (tomado de Vivas 1992).	48
Figura 4.1a. Valores promedios de esfericidad y redondez para la muestra no magnética de la cuenca del río Uribante	50
Figura 4.1b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra no magnética de la cuenca del río Uribante	51
Figura 4.2a. Valores promedios de esfericidad y redondez para la muestra magnética de la cuenca del río Uribante.....	52
Figura 4.2b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra no magnética de la cuenca del río Uribante.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Figura 4. 3a. Valores promedio de esfericidad y redondez para la muestra no magnética de la cuenca del río Caparo.....	54

Figura 4.3b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra no magnética de la cuenca del río Caparo	54
Figura 4.4a. Valores promedio de esfericidad y redondez para la muestra magnética de la cuenca del río Caparo	55
Figura 4.4b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra magnética de la cuenca del río Caparo	56
Figura 4.5a. Valores promedio de esfericidad y redondez para la muestra no magnética de la cuenca del río Michay.....	57
Figura 4.5b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra no magnética de la cuenca del río Michay.....	57
Figura 4.6a. Valores promedio de esfericidad y redondez para la muestra magnética de la cuenca del río Michay.....	58
Figura 4.6b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra magnética de la cuenca del río Michay.....	59
Figura 4.7a. Valores promedio de esfericidad y redondez para la muestra no magnética de la cuenca del río Canaguá.....	60
Figura 4.7b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra no magnética de la cuenca del río Canaguá.....	60
Figura 4.8a. Valores promedio de esfericidad y redondez para la muestra magnética de la cuenca del río Canaguá.....	61
Figura 4.8b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra magnética de la cuenca del río Canaguá.....	62
Figura 4.9. A) Valores promedio de esfericidad y redondez para cada cuenca, fracción no magnética. B) Valores promedio de esfericidad y redondez para cada cuenca, fracción magnética.....	63
Figura 4.10. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Uribante magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal.....	65
Figura 4.11. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Uribante magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps	

(conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal.....	68
Figura 4.12. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Caparo magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal.	70
Figura 4.13. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Uribante magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal.....	72
Figura 4.14. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Caparo magnético. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.	75
Figura 4.15. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Caparo no magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.	78
Figura 4.16. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Caparo magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.	80
Figura 4.17. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Caparo magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.	83

Figura 4.18. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Michay no magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.....	85
Figura 4.19. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Michay no magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.....	88
Figura 4.20. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Michay magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.....	90
Figura 4.21. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Michay magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.....	93
Figura 4.22. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Canaguá no magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.....	95
Figura 4.23. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Canaguá no magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal.....	98
Figura 4.24. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Canaguá magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps	

(conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.	100
Figura 4.25. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Canaguá magnética. A) Zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.	102
Figura 4.26. Mapa de pendientes a lo largo de los Andes Venezolanos	105
Figura 4.27. Mapa de elevaciones (resolución 90m.) a lo largo de los Andes de Venezuela	106
Figura 4.28. Mapa de relieve calculado usando un radio de 5 km.	109
Figura 4.29. Mapa de precipitaciones anuales promedio derivado del modelo trmm 2b31 para el período 1998-2009	111
Figura 4.30. Índice de humedad asumiendo: (a) precipitación uniforme, (b) precipitación variable usando los trmm's	113
Figura 4.31. Índice de humedad asumiendo: (a) precipitación uniforme, (b) precipitación variable usando los trmm's	115
Figura 4.32. Comparación del índice de humedad tsp. (a) sin precipitación y (b) con precipitación variable.	119
Figura 4.33. Comparación del índice de humedad usp: (a) sin precipitación y (b) con precipitación variable.	120
Figura 4.34. Comparación del índice de humedad ssp: (a) sin precipitación y (b) con precipitación variable.	121
Figura 4.35. Comparación de los diferentes índices de erosión tsp, usp y ssp. (a) sin precipitación y (b) con precipitación variable (tspp, uspp, ssp)	122
Figura 4.36. Medidas de longitud-temperatura, tasas de erosión y parámetros de control potencial para cada cuenca del flanco norandino (tomado de Bermúdez et. al 2012)	123

Figura 5.1. Índice de erosión SSP con precipitación variables, principales estructuras en la zona de estudio y variación de la esfericidad y redondez a lo largo de las cuatro cuencas analizada.....	134
Figura 5.2. Relaciones lineales entre: (A) precipitación y relieve, (B) índice de erosión TSP con precipitaciones y relieve, y (C) TSP con precipitaciones y redondez.....	139
Figura 5.3. Relaciones lineales entre: (A) precipitación y relieve 5-km de radio, (B) índice de erosión TSP con precipitaciones y relieve 5-km de radio, y (C) USP con precipitaciones y relieve 5-km de radio para las cuencas en el flanco Surandino que han sido caracterizadas hasta el momento	142
Figura 5.4. Comparación entre las cuencas del flanco norandino y surandino en términos de: (A) energía sísmica acumulada durante el período 1911-2011 y (B) patrón de precipitaciones a partir de los datos TRMM de la NASA durante el período 1998-2009	143

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Parámetros, ecuaciones y dimensión de las diversas variables objeto de estudio (tomado y modificado de Flores 2013).....	10
Tabla 2.2. Atributos topográficos secundarios que puede ser calculado mediante el análisis digital del terreno a partir del modelo de elevación digital (med). (tomado y modificado de Flores, 2013).....	11
Tabla 2.3. Minerales pesados agrupados en cuanto a su susceptibilidad magnética afín y la relación del ángulo de inclinación del equipo Frantz. (tomado y modificado de Hess, 1959).....	19
Tabla 2.4. Valores de esfericidad y redondez obtenidos de la aplicación del programa imagej, el número de grano es determinado por la figura 2.14A	24
Tabla 3.1. Formaciones aflorantes en cada una de las cuencas a estudiar	32
Tabla 4.1. Valores promedios de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la muestra no magnética de la cuenca del río Uribante	50
Tabla 4.2. Valores promedio de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la muestra magnética de la cuenca del río Uribante	51
Tabla 4.3. Valores promedio de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la muestra de la cuenca del río Caparo	53
Tabla 4.4. Valores promedio de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la muestra de la cuenca del río Caparo	55
Tabla 4.5. Valores promedio de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la muestra no magnética de la cuenca del río Michay.	56
Tabla 4.6. Valores promedio de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la muestra magnética de la cuenca del río Michay.	58

Tabla 4.7. Valores promedio de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la muestra no magnética de la cuenca del río Canaguá.	59
Tabla 4.8. Valores promedio de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la fracción magnética de la cuenca del río Canaguá.	61
Tabla 4.10. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Uribante	66
Tabla 4.11. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Uribante.	68
Tabla 4.12. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Uribante.	71
Tabla 4.13. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Uribante.	73
Tabla 4.14. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Caparo.	76
Tabla 4.15. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción no magnética de Caparo.	78
Tabla 4.16. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Caparo.	81
Tabla 4.17. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Caparo.	83
Tabla 4.19. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción no magnética de Michay.....	88
Tabla 4.20. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Michay.....	91
Tabla 4.21. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Michay.....	93
Tabla 4.22. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Canaguá.	96

Tabla 4.23. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Canaguá.	98
Tabla 4.24. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Canaguá.	100
Tabla 4.25. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Canaguá.	102
Tabla 4.26. Resultados obtenidos a través del análisis de microscopia electrónica.	103
Tabla 4.27. Valores estadísticos para pendiente y elevación registrados en las cuencas estudiadas	104
Tabla 4.28. Valores estadísticos del relieve calculado a radios de 1,3,5 y 7 kilómetros... ..	108
Tabla 4.29. Valores de precipitación anual promedio registrados en cada cuenca según el modelo trmm 2b31 para el período 1998-2009.	110
Tabla 4.30. Índices de humedad calculados para cada una de las cuencas con precipitación uniforme (wi) y con precipitación variable (wip) según los trmm.	112
Tabla 4.31. Capacidad de transporte de sedimentos calculada para cada una de las cuencas con precipitación uniforme (sti) y con precipitación variable (stip) según los trmm.	114
Tabla 4.32. Valores de índice de erosión para cada una de las cuencas con precipitación uniforme y con precipitación variable según los trmm. Tsp se refiere a total stream power; usp es el unit stream power y ssp es el shear stream power, los valores resaltados en grises corresponden a estos mismos índices pero tomando en cuenta la precipitación.	118
Tabla 5.1. Valores promedios de los diferentes parámetros analizados en las cuencas de interés	133
Tabla 5.2. Valores promedios de los diferentes parámetros analizados en las cuencas de interés	134
Tabla 5.3. Valores promedios de los diferentes parámetros analizados incluyendo dos nuevas cuencas: santo domingo (Bermúdez et al., 2012) y Boconó (Arcia y Viana, 2013). En esta tabla no se incluye la cuenca del río Uribante porque el número de sismos registrados es menor a 20 eventos para el período 1911-2011.	140
Tabla 5.4. Valores promedios de los diferentes parámetros analizados en las cuencas de interés	141

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Los ríos Uribante, Caparo, Michay y Canaguá, nacen en los estados, Mérida y Barinas respectivamente, siendo parte de este último estado los ríos Michay y Canaguá, todos drenan en dirección norte-sur hacia el Flanco Sur de la Cordillera Andina Venezolana, y los mismos desembocan en el Río Orinoco, el cual presenta un área de drenaje de aproximadamente 800.000 km².

El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo el análisis de la relación entre diversos factores como el clima, erosión y tectónica en el flanco surandino, a través de la interpretación de los rasgos geológicos, geomorfológicos y sedimentológicos y el estudio de minerales pesados pertenecientes a sedimentos modernos de los ríos antes mencionados. Aunque el período de comparación entre estas variables es el actual (Cuaternario), se consideraran los datos termocronológicos existentes en el área, los cuales permitirán extender el rango temporal de las observaciones que aquí se deriven desde el Oligoceno al presente.

En lo que se refiere a la expresión actual del relieve que conforma la Cordillera Andina, este podría reflejar la posible relación entre los procesos tectónicos, superficiales, la erosión y el clima, los cuales son responsables de la forma actual del paisaje. Es por ello, que el objetivo principal de esta investigación es interpretar las variaciones o relaciones existentes entre tales procesos que podrían actuar en forma acoplada o no, lo cual trae como consecuencia cierto aumento o variación en la tasa de erosión, y así este cambio es reflejado en alteraciones sobre los patrones de exhumación de la Cordillera de los Andes y de las cadenas montañosas adyacentes.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El modelado del relieve actual es el producto de la interacción de diferentes procesos que pueden trabajar en forma acoplada procesos endógenos (tectónica), exógenos (clima) y las intervenciones antrópicas (acción del hombre). Esto ocasiona un aumento en las tasas de erosión, las cuales a su vez pudieran incrementar la tasa de exhumación de orógeno. El área de estudio está ubicada en el flanco Sur-andino, en esta área se observa un importante efecto orográfico sobre el patrón de precipitaciones, es decir, que en este flanco la cantidad de lluvia es mucho mayor ya que las masas provenientes del cratón de Guayana y de otras latitudes al sur del continente se trasladan hacia el norte de Venezuela, encontrando una barrera natural (Los Andes de Venezuela) lo que ocasiona que todas las precipitaciones se concentren en esa área. También importantes estructuras como: el sistema de fallas de Caparo, el sistema de fallas Central-Sur Andino, el corrimiento del sur-este convergen en esta zona. Todas estas estructuras han sido pobremente estudiadas principalmente por lo difícil del acceso. Con respecto a esto último, sólo dos áreas permiten ingresar a la zona, las cuales serían la Carretera Táchira-Barinas y la carretera trasandina que comunica Barinitas con el pueblo de Santo Domingo en el estado Mérida.

Así el estudio indirecto a través de sedimentos modernos de ríos que drenan el flanco sur, podría generar la suficiente información para entender la relación entre los diferentes procesos mencionados anteriormente.

En consecuencia, las preguntas de investigación que se tratarían de responder en este Trabajo Especial de Grado serían:

- ¿Qué información sobre el flanco sur-andino podría arrojar la caracterización mineralógica de los sedimentos recientes de los ríos antes mencionados?
- ¿La tectónica jugaría un papel importante en la zona de estudio?
- ¿Están trabajando los procesos controladores del relieve actual en forma acoplada o no?

- ¿De qué forma la caracterización de partículas de sedimentos y de minerales pesados junto con los índices de erosión podrían ser integrados y comparados para esta área?
- ¿Reflejaría el relieve actual del flanco surandino las interacciones entre procesos climáticos y tectónicos?

1.2 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación forma parte del proyecto de grupo CDCH-UCV número PG-08-8273-2011 titulado “Determinación de la relación entre relieve, clima, tectónica y biodiversidad en orógeno 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 resultados que aquí se deriven, serán integrados dentro de los proyectos de investigación anteriormente mencionados, en primer lugar, ya que todos los ríos drenan hacia la cuenca del río Orinoco, y en segundo lugar, porque se podría obtener información acerca del rol de tectónica en el Flanco Sur-Andino y la discriminación de diferentes eventos tecto-térmicos y climáticos ocurridos en Los Andes del Norte de Suramérica.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Establecer la relación entre clima y tectónica como agentes controladores en el desarrollo de relieve de orógenos, por medio del análisis de minerales pesados en sedimentos de las cuencas hidrográficas de las cuencas de los ríos Canaguá, Caparo, Michay y Uribante.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar una diferenciación en cuanto al contenido mineralógico de los sedimentos modernos de los ríos Canaguá, Caparo, Michay y Uribante.
2. Realizar una diferenciación en cuanto a los índices de erosión calculados en cada una de las cuencas anteriormente mencionadas.
3. Elaborar histogramas de frecuencia, a través del análisis de la composición mineralógica de fracciones de sedimentos modernos de los ríos Canaguá, Caparo, Michay y Uribante.
4. Establecer posibles áreas de control climático sobre el relieve actual de la zona de estudio, a partir de la elaboración de un mapa de índices de erosión.
5. Establecer correlaciones entre relieve, tasa de precipitación, índices de erosión y parámetros sísmicos (deformación y energía) con la finalidad de reconocer en donde el relieve es principalmente controlado por clima, tectónica o por ambos.
6. Comparar los datos obtenidos durante este trabajo con los datos existentes para el flanco norandino (Bermúdez et al., 2012).

1.4 ALCANCE

Este proyecto de investigación permitirá establecer, en caso de que exista, la relación entre el clima, relieve y tectónica a lo largo del flanco surandino. Se pretende realizar la caracterización mineralógica y análisis de partículas a cuatro muestras de

sedimentos modernos transportados por los ríos Canaguá, Caparo, Michay y Uribante. A partir de esta caracterización y de los cálculos geomorfológicos cuantitativos que tomen en cuenta los diferentes atributos primarios del terreno se generará un mapa de distribución de minerales pesados y un mapa de erosión actual por sub-cuencas, que al ser combinados con la información geológica (tipo de litología y estructuras de deformación) deberá proveer indicios de zonas propensas a levantamiento tectónico o por erosión, o incluso por la interacción de ambos procesos. También, se desea discriminar el impacto ejercido por el efecto de barrera orográfica. Las cuatro muestras serán preparadas para su posterior fechado por el método de datación por huellas de fisión en apatitos, sin embargo la datación y los resultados no serán considerados en este proyecto de trabajo especial de grado, debido a que los tiempos de irradiación sobrepasan el cronograma de trabajo estipulado en el anteproyecto que derivó este Trabajo Especial de Grado.

1.5 ANTECEDENTES

Kohn et al., (1984) fueron los primeros investigadores que realizaron estudios de termocronología por trazas de fisión en apatitos a lo largo de la Cordillera Andina. También establecieron un modelo para el flanco surandino.

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

Méndez et al., (2007) investigaron la influencia que ejerce la estructura fisiográfica de la microcuenca y la estructura de la red de drenaje en las respuestas rápidas y violentas del sistema mediante cálculos y mediciones de parámetros morfométricos; cálculo del tiempo de concentración; y estimación de los hidrogramas unitarios y caudales pico de crecientes, los cuales son parte de los cálculos que se utilizan en la tesis.

Bermúdez, M. (2009) realizó la discriminación de los patrones de exhumación de los Andes Venezolanos a través del estudio de las trazas de fisión en apatitos. Cuantificando la historia de erosión durante la evolución del orógeno. También estableció la historia termal de la cuenca Barinas-Apure y discriminó que la exhumación de dicho orógeno está siendo controlada por la tectónica y que el clima no ejerce un factor preponderante al menos durante el Mioceno-Plioceno a partir de un estudio similar al propuesto pero en el flanco norandino.

Bermúdez et al., (2010) realizó una discriminación de bloques tectónicos con diferentes comportamientos y velocidades de exhumación basado en análisis geomorfológicos y edades de trazas de fisión en apatitos. También determinaron que en el bloque de Caparo se conservan las mayores edades de exhumación encontradas en Los Andes de Venezuela, además de representar la zona con menores longitudes promedios de trazas de fisión, lo que indicaría que el enfriamiento de este bloque ha sido lento desde el Oligoceno al presente.

Bermúdez et al., (2012) realizó un análisis discriminativo de la relación existente entre clima, tectónica, y procesos superficiales, mediante comparación múltiple de tasas de erosión a corto plazo con tasas de erosión a largo plazo estimados a partir de datos termocronológicos detríticos a lo largo de Los Andes de Venezuela.

Flores, M. (2013) realizó la discriminación entre relieve, clima, y tectónica utilizando los mismos métodos mencionados en este proyecto a lo largo de la cuenca del río Guárico, y sus principales conclusiones indican diferencias en términos de erosión dentro de las sub-cuencas y un patrón de redondez y esfericidad heredados posiblemente durante los procesos de depositación de la Formación Guárico. También, ese trabajo usa datos termocronológicos existentes para discriminar al menos tres diferentes pulsos de exhumación ocurridos durante el Eoceno, Oligoceno y Mioceno. Sin embargo, el trabajo de Flores (2013) aún continua y ahora se está tratando de fechar las muestras detríticas para tener una mayor información acerca de las relaciones entre terrenos fuentes, la procedencia sedimentaria, y la relación con esos tres pulsos de exhumación.

Arcia y Viana (2014) estudiaron 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 encontrando importantes correlaciones entre la tectónica y el clima como agentes controladores del paisaje actual.

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO Y METODOLOGÍA

2.1 INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo del presente trabajo de grado es necesario dominar y manejar diversos conceptos relacionados con el análisis de minerales pesados, la geomorfología cuantitativa y los fundamentos de los distintos software y ensayos que se utilizaron para obtener y procesar los datos de este estudio.

La metodología utilizada se organizó en un diagrama, ubicado en la figura (2.1), donde pueden seguirse cronológicamente las etapas que se cumplieron hasta llegar a los resultados, las mismas serán detalladas a continuación.

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este capítulo se describirá cada uno de los fundamentos teóricos que conforman la metodología que aquí se aplicará y se presentarán algunos conceptos clave.

2.2.1 Geomorfología cuantitativa

En sus comienzos, la geomorfología como una rama solo se enfocaba en el aspecto visual de los efectos que ocurrían en la superficie terrestre, y permite interpretar la geología a partir de la morfología de una región y de su integración con el clima y la tectónica; hoy en día se han desarrollado mecanismos y técnicas cuantitativas las cuales tienen como objetivo fundamental encontrar expresiones matemáticas que faciliten entender los procesos naturales que dan origen a las geformas existentes en el paisaje (Mayer, 1990).

2.2.2 Análisis visual de formas de granos

Consiste en la medición de diferentes parámetros (esfericidad, redondez, diámetro, etc.) de las partículas que conforman los sedimentos modernos de ríos seleccionados en este Trabajo Especial de Grado. Se utilizará un microscopio óptico de luz reflejada y luz polarizada con la finalidad de reconocer los minerales pesados existentes en las muestras.

2.2.3 Análisis de imágenes mediante ImageJ

Se empleará el programa ImageJ bajo ambiente Windows, el cual puede ser utilizado para determinar área, media, perímetro, así como otros puntos dependiendo del interés del usuario a partir de las fotografías de los minerales pesados. De igual manera, este programa permite analizar partículas, medir longitudes de trayectorias y ángulos.

2.2.4 Concentración y beneficio de minerales

Se utilizará la metodología existente en el Laboratorio de Termocronología de la UCV, para separar los minerales pesados de las muestras de sedimentos antes mencionadas. Esta metodología consiste en: a) Tamizado de las muestras, b) separación mediante el uso de la mesa hidrodinámica Wilfley, c) separación magnética manual, d) separación magnética usando el equipo magnet-lift MLH-11, e) separación por líquidos densos (tetrabromuro, densidad 2.96 grs/cm^3), f) separación magnética usando el equipo isodinámico Frantz L-1, g) separación por líquidos densos (diyodometano de densidad 3.33 grs/cm^3), y por último: h) montaje de minerales pesados en portaobjetos. En las secciones posteriores se explicará con detalle cada una de las fases mencionadas en este renglón.

2.2.5 Cálculo de variables y parámetros morfométricos de las cuencas.

Las variables morfométricas que serán determinadas para cada una de las cuencas consideradas en este trabajo son resumidas en la Tabla 2.1

Variable	Parámetro	Símbolo	Ecuación	Dimensión
Escala de la cuenca	Área	A	-	L ²
	Perímetro	P	-	L
	Longitud	L	-	L
	Ancho	W	-	L
	Diámetro	D	$D = (4A/\pi)^{1/2}$	L
Gradiente y forma del relieve de la cuenca	Altura máxima	H	-	L
	Altura mínima	h	-	L
	Relieve máximo	H _b	H _b = H-h	L
	Radio del relieve	R	R = H _b /L	-
	Pendiente mediana	S _{md}	Construcción gráfica	%
	Pendiente media del perfil longitudinal de la corriente principal	S _m	$S_m = \left(\frac{\sum \frac{\sqrt{S_{mi}}}{L_i}}{n} \right)^2$ S _{mi} ⁽¹⁾ m ⁽²⁾	%

Tabla 2.1. Parámetros, ecuaciones y dimensión de las diversas variables objeto de estudio (Tomado y modificado de Flores 2013)

La Tabla 2.2 resume los índices topográficos y de erosión que serán determinados para cada una de las cuencas consideradas en el presente estudio.

Atributo	Definición	Significado
(1) índices topográficos de humedad	$W_T = \ln \left(\frac{A_S}{T \tan \beta} \right)$	Esta ecuación asume condiciones de estados estables y describe la distribución espacial y la extensión de zonas de saturación.
(2)	$W = \ln \left(\frac{A_S}{\tan \beta} \right)$	Esta ecuación en particular asume condiciones de estados estables y propiedades de suelos uniformes (ejem. La transmisividad es constante a lo largo de la cuenca y es igual a la unidad).

(3)		$W = \ln \left(\frac{A_s}{\tan \beta} \right)$	Estos índices cuasi dinámicos sustituyen el área efectiva de drenaje debido a la contribución de la pendiente del terreno y por ello supera las limitaciones obtenidas del estado estable usado en el primer par de las ecuaciones.
(4)	Índices de potencia del flujo	$SPI = A_s \tan \beta$	Medir el poder de la erosión del flujo de agua basada en la descarga asumida (q) es proporcional a un área específica de captación (As). Predice la erosión neta en áreas de perfiles convexo y cóncavo tangenciales (flujos de aceleración y zonas de convergencias) y deposición en áreas de perfiles cóncavos (zonas de decrecimiento de la velocidad del flujo).
(5)		$LS = (m + 1) \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^m$	Este índice de capacidad de transporte de sedimento se deriva de la unidad teórica de flujo de potencia y es equivalente al factor longitudinal de la pendiente en la Ecuación universal revisada de pérdida de suelo en ciertas circunstancias.
(6)		$CIT = A_s (\tan \beta)^2$	La variación del índice de flujo de potencia es usado a veces para predecir las locaciones de las cabeceras de las corrientes de primer orden (indicador de canal).

Tabla 2.2. Atributos topográficos secundarios que puede ser calculado mediante el análisis digital del terreno a partir del modelo de elevación digital (MED). (Tomado y modificado de Flores, 2013)

2.3 METODOLOGÍA

La metodología que se empleará en el presente Trabajo Especial de Grado consta de tres fases que se describen a continuación:

2.3.1 Pre campo:

- Recopilación bibliográfica y/o hemerográfica: Libros, tesis, artículos, informes técnicos.
- Recopilación cartográfica: Mapas geológicos, mapas topográficos, mapas de precipitaciones, fotografías aéreas, imágenes de satélite, imágenes de radar, datos de precipitación, evapotranspiración y humedad.
- Elaboración del mapa fotogeológico, un estudio geomorfológico y planificación del campo (vías de acceso, sitios para toma de muestras, etc.) En este mapa se observaran las estructuras, el drenaje dividiéndose por cuencas, las unidades en las que está dividida y vías de acceso de la zona.

2.3.2 Campo:

- El campo consistió en 7 días intensivos, donde se recolectaron entre 4 muestras entre 5 a 10kg de peso. Las muestras de sedimentos actuales de río se tomaron en bancos de arenas dentro del cauce del río y sus tributarios, esto se hizo por medio de una pala. El grupo de campo consistió en 5 personas. Los materiales utilizados fueron: mapas de la zona, brújula, GPS, libreta, piqueta, etc.

2.3.3 Laboratorio y Oficina:

- En esta etapa se realizó el cálculo de las tasas de erosión y medidas geomorfológicas cuantitativas de la zona mediante el programa *ArcGIS*. 10.0.
- Se calcularon los diferentes atributos primarios y secundarios del terreno mediante geomorfología cuantitativa usando códigos escritos en Matlab y otros códigos desarrollados en ForTran y suministrados por el Prof. Bermúdez. Con el estudio de los índices topográficos primarios y secundarios del terreno se obtuvieron una serie de datos que serán presentados en el capítulo de resultados y análisis de los mismos.
- Se realizó la separación de minerales pesados en el Laboratorio de Termocronología de la UCV, la Figura 2.1 resume en forma de diagrama de flujo cada una de las sub-etapas empleadas en esta fase.

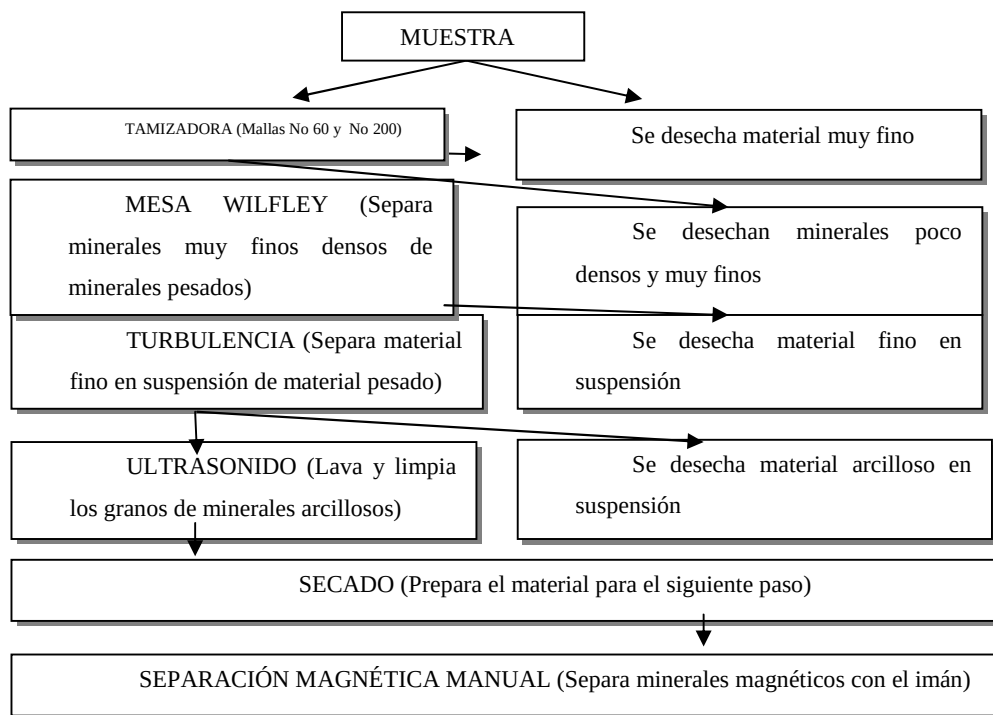


Figura 2. 1. Diagrama de flujo que muestra el procesamiento de las muestras en el Laboratorio de Termocronología (Extraído de Flores y Méndez 2005)

- Se prepararon las secciones de montaje de minerales pesados y se analizaron mediante un microscopio petrográfico.
- Se realizaron los estudios de forma, redondez, esfericidad sobre minerales pesados pertenecientes a sedimentos detríticos de los ríos Uribante, Caparo, Michay, Canaguá y sus principales tributario mediante análisis visual (lupa) y automatizado a través del empleo del software ImageJ.

2.4 DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS UTILIZADAS

2.4.1 Análisis de Minerales Pesados

En la mayoría de las areniscas hay pequeñas cantidades de minerales accesorios y estos son componentes que aparecen en proporciones menores del 1%. Los minerales pesados pueden dividirse en tres grupos: ligeros hasta $3,0 \text{ gr/cm}^3$, medios de $3,0$ a $4,0 \text{ gr/cm}^3$ y pesados más de $4,0 \text{ gr/cm}^3$ (Milosvski et al., 1982). Estos minerales pesados pueden ser opacos (ilmenita, magnetita, etc.) o no opacos (apatito, zircón, etc.) (Boggs, 2009). Su peso específico suele ser superior a $2,9 \text{ gr/cm}^3$, más alto que los valores para el cuarzo y feldespatos ($2,6 \text{ gr/cm}^3$), por esta razón para separarlos del resto del sedimento y analizarlos se utilizan líquidos densos. Estos proporcionan una idea del área fuente.

a) Separación de los minerales pesados por sistemas hidrogravimétricos

Este método consiste en la separación de los minerales pesados de los livianos, utilizando la Mesa de Wilfley, la cual separa los minerales según su densidad. Esta consiste en una tabla inclinada provista de una serie de separaciones no muy altas y paralelas entre sí, con movimientos continuos vibratorios, los cuales permiten la distribución precisa de la muestra (o pulpa) hacia los depósitos ubicados en la parte baja de dicha Mesa (Ver Figura 2.2)



Figura 2. 2. Mesa de Wilfley ubicada en el Laboratorio de Termocronología de la UCV

La figura 2.3 ilustra la forma como las partículas son dispersadas por el movimiento vibratorio de la mesa y la manera en que las partículas livianas se trasladan a los contenedores ubicados en los laterales de la mesa.

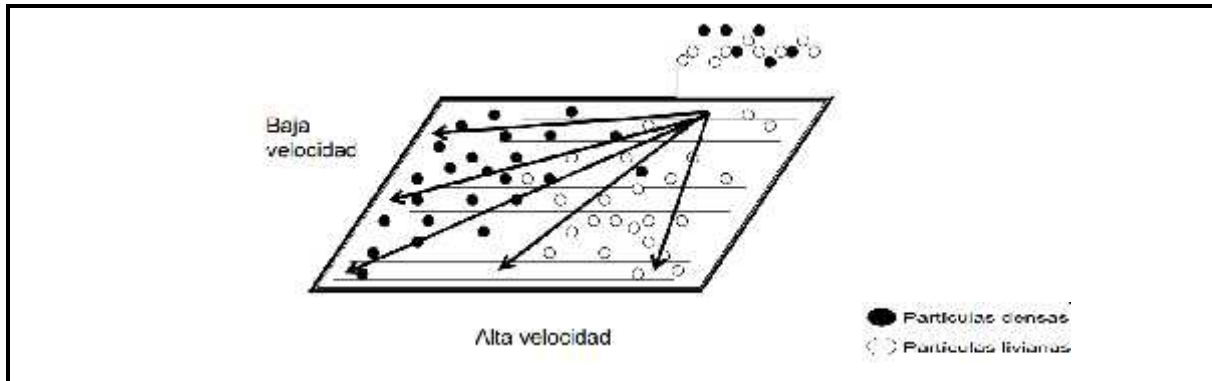


Figura 2. 3. Disposición de las partículas según su densidad en la mesa de Wilfley durante el proceso. (tomado y modificado de <http://ingenieria.udea.edu.co/cim2005/mineralurgia/concentracion.pdf>)

b) Separación magnética de minerales pesados

Haciendo uso de un imán para la separación manual de minerales magnéticos, se acerca el imán a la muestra, protegido con un papel parafinado, para evitar que los granos se adhieran directamente al imán y así facilitar la recolección, en esta fracción se hayan generalmente ilmenita y magnetita, entre otros (Gamero y Reveti, 2011). Ver figura 2.4 y 2.5.

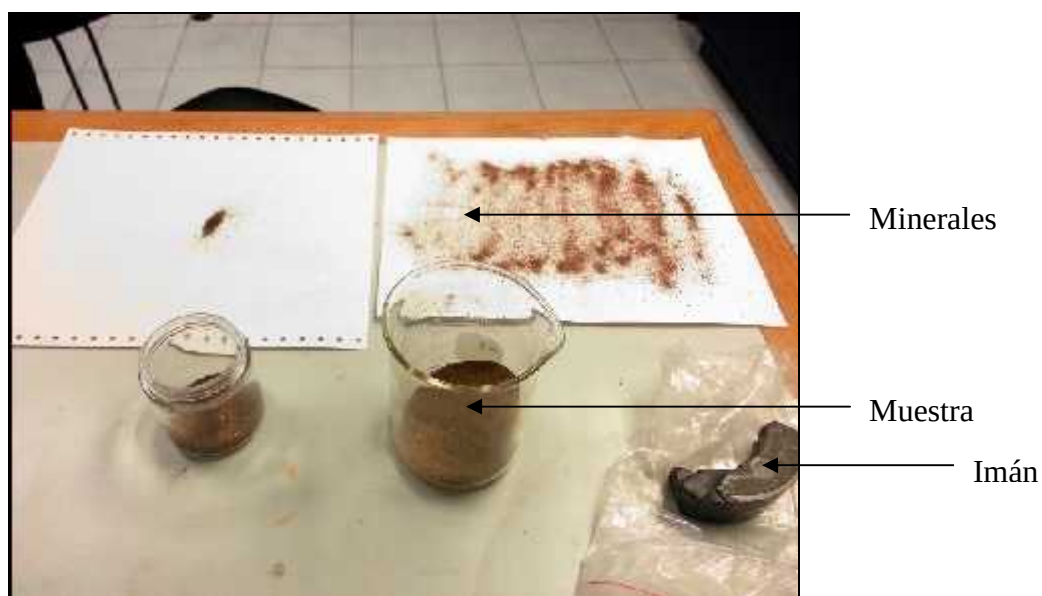


Figura 2. 4. *Materiales para la separación magnética manual (Tomado de Flores, 2013)*



Figura 2. 5. *Método de separación magnética manual*

c) Separación de minerales pesados mediante Bromoformo

Se debe concentrar la muestra con la finalidad de poseer una mayor cantidad de minerales pesados y para esto es necesario usar el Bromoformo (CHBr_3) obteniendo una fracción mayor o igual a 2.96 grs/cm^3 . También se puede emplear tetrabromuro (Tetrabromoetano, acetileno de tetrabromuro, TBE tetrabromoacetileno o líquido de Muthmann's).



Figura 2.6. Método de separación de minerales pesados mediante Bromoformo

d) Separación magnética de la muestra con el equipo isodinámico tipo Frantz

El equipo está compuesto por un riel con dos canales, en un riel estarán los minerales no magnéticos o de menor susceptibilidad magnética y en el otro los minerales magnéticos o con mayor susceptibilidad magnética. (Ver Figura 2.7). Este riel se encuentra entre dos bobinas que generan un campo magnético variable controlado por un amperímetro. La muestra se introduce en pequeñas cantidades por la parte superior del equipo, los granos son interceptados por un borde que divide y dirige las dos fracciones en recipientes separados (magnéticos y no magnéticos). Este proceso se repite varias veces cambiando el amperaje para cada fracción.

Existen diferentes formas de utilizar el separador magnético Frantz, ya que se puede variar su inclinación de funcionamiento de $20^\circ - 5^\circ$ y así aprovechar tanto el campo magnético del equipo como la fuerza de atracción de la tierra.



Figura 2.7. Separador Magnético Isodinámico Frantz

La Tabla 2.3. Representa la agrupación de minerales en cuanto su susceptibilidad magnética y la relación que guardan con la inclinación del equipo Frantz.

Ángulo de Inclinación 20°				Ángulo de Inclinación 5°	
A Imán de mano	B Magnéticos a 0.4 A	C Magnéticos a 0.8 A	D Magnéticos a 1.2 A	E Magnéticos a 1.2 A	F No Magnéticos a 1.2 A
Magnetita Pirrotita	Ilmenita Granate Olivino Cromita Cloritoide	Hornblenda Hiperesteno Augita Actinolita Estaurolita Epidoto Biotita	Diópsido Tremolita Enstatita Espinela Estaurolita Moscovita Zeosita	Esfena Leucoxeno Apatito Andalucita Monzonita Xenocita	Circón Rutilo Anatasa Pirita Corindón Topacio Fluorita

		Clorita Turmalina	Clinozoisita Turmalina		Kyanita Sillimanita Anhidrita Berilo
--	--	----------------------	---------------------------	--	---

Tabla 2.3. *Minerales pesados agrupados en cuanto a su susceptibilidad magnética afín y la relación del ángulo de inclinación del equipo Frantz. (Tomado y modificado de HESS, 1959)*

e) Elaboración de secciones de montaje para minerales pesados

Los minerales pesados obtenidos mediante etapas anteriores, específicamente las fracciones de 1,2 A, magnéticas y no magnéticas, fueron montadas directamente sobre un portaobjetos de vidrio, el cual se recubre de una fina capa de agente cementante (Bálsamo de Canadá, barniz o cualquier otra resina). Luego se dejan caer cuidadosamente una pequeña cantidad de granos, evitando aglomeramiento de material y tratando que los granos queden dispersos sobre el portaobjetos, finalmente se recubre de nuevo con la resina, evitando la formación de burbujas (Ver Figura 2.8).

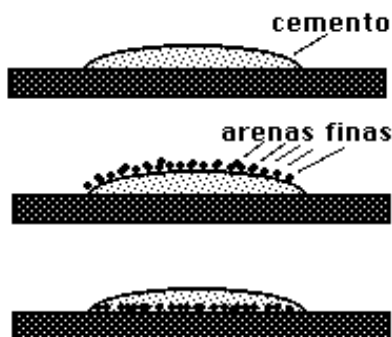


Figura 2.8. *Esquema para la preparación de una sección montada (Tomado de: <http://edafologia.ugr.es/optmine/intro/prepaare.htm#anchor253414>)*

f) Microscopia Electrónica de Barrido (M.E.B)

Luego de preparar montaje de las secciones de minerales pesados, se procedió a hacer un análisis de las mismas median un microscopio electrónico de barrido, el cual

es un instrumento que permite obtener e identificar la distribución de los elementos químicos que componen cada uno de los minerales que se encuentran en la muestra, además de generar tablas e imágenes a través de las cuales se puede observar la estructura y morfología de los granos o cristales, permitiendo así realizar un estudio detallado de estos.

g) Análisis Morfológico Digital de Imágenes de Minerales Pesados

Complementario al estudio de estimación visual de los índices de esfericidad y redondez en los minerales pesados, se realizó un análisis morfológico de estos parámetros mediante el software para el análisis digital de imágenes llamado imageJ, para esto se tomaron fotografías los minerales estudiados con una cámara fotográfica digital modelo Olympus E330, conectada a un microscopio petrográfico modelo Olympus CX31, luego estas imágenes fueron procesadas en un ordenador.



Figura 2.9. Microscopio Petrográfico mediante el cual se realizados el estudio de los minerales.

El proceso de análisis digital de imágenes se realizó por medio del software ImageJ, cuyo fin es calcular ciertos parámetros geométricos, mediante los valores de los pixeles que componen la imagen seleccionada, pudiendo así calcular área, perímetro, redondez esfericidad y longitud de cada grano.

A continuación se presentan la secuencia de pasos a ejecutar para el análisis digital de imágenes, el cual se efectuó para la gráfica de índices de esfericidad y redondez según Krumbein y Sloss (1955), mediante el software ImageJ, con el propósito de recalibrar los valores que ésta grafica presenta.

Primeramente para abrir y cargar la imagen a ser analizada con ImageJ, se debe abrir desde el menú *File* seleccionar la opción *Open*, luego dentro del cuadro de diálogo desplegado, se elige la imagen que se desea abrir, y presionar el botón *Abrir*, inmediatamente se genera una ventana que muestra la imagen a ser analizada (ver Figura 2.10)



Figura 2.10. Pasos para abrir una imagen con el software ImageJ

Una vez abierta la imagen, ésta debe de ser procesada modificando los colores, para ello desde el menú *Image* seleccionar la opción *Adjust* y luego *Threshold*, en el cuadro de dialogo se selecciona la opción B&W, la cual genera el contraste de colores entre negro y

blanco que es necesario para definir la forma de los granos a calcular; finalmente presionar el botón *Apply* (ver Figura 2.11).

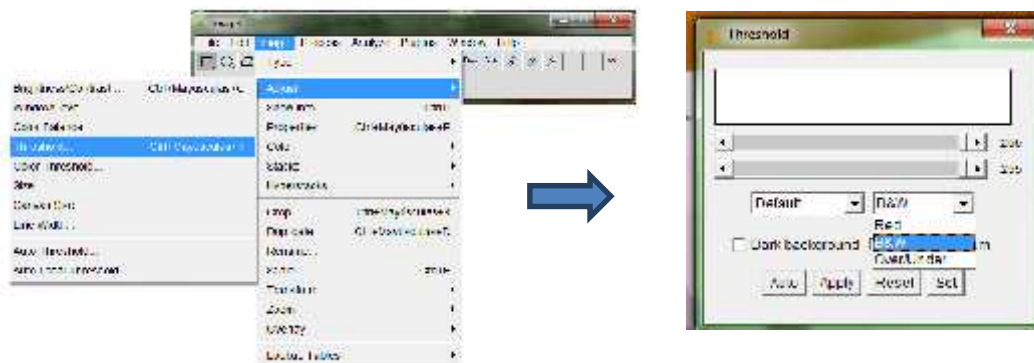


Figura 2.11. *Pasos para generar contraste de color en la imagen a ser analizada digitalmente*

Luego se procede a determinar los parámetros morfométricos a calcular, para esto se debe desplegar el cuadro de dialogo en el menú *Analyze* y se selecciona la opción *Set Measurements*, esto genera una ventana en donde se observan los parámetros a calcular que ofrece el programa, se seleccionan los requeridos por el usuario, luego se presiona el botón del mouse en la opción *Redirect to*, para redireccionar los parámetros a ser calculados directamente sobre la imagen, y finalmente presionar el botón *OK* (ver Figura 2.12).

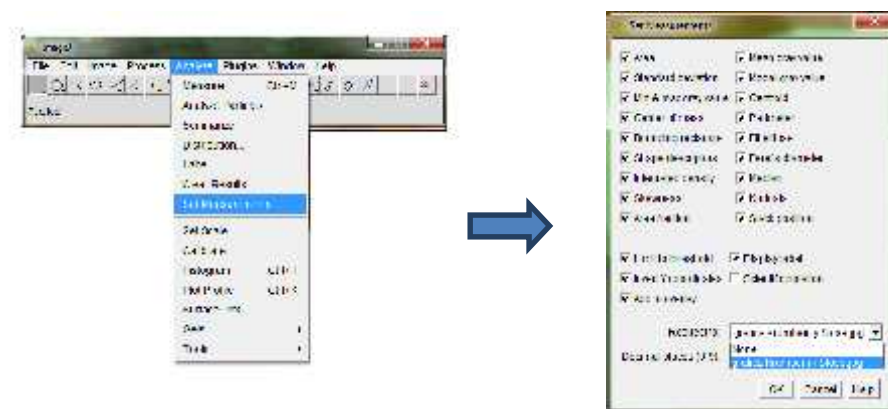


Figura 2.12. *Pasos para seleccionar los parámetros a ser calculados en la imagen a analizar*

Se abre una ventana donde se abre la pestaña *Show* seleccionando la opción *Outlines*, la

cual se utilizaba para seleccionar los contornos de las partículas a ser analizadas, y se presiona el botón *Ok* (Ver Figura 2.13).

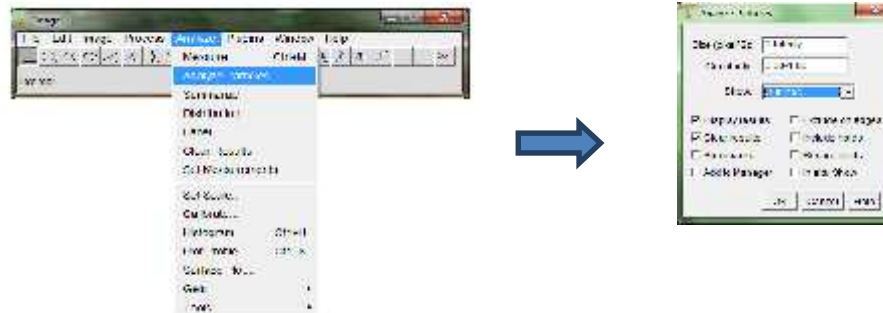
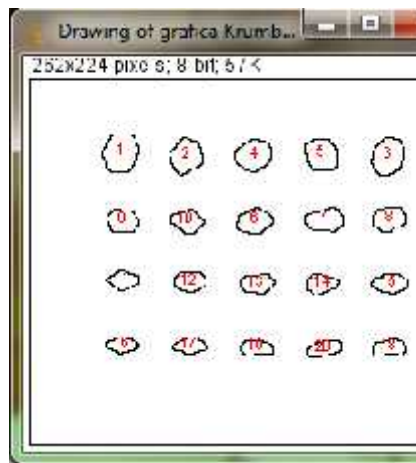
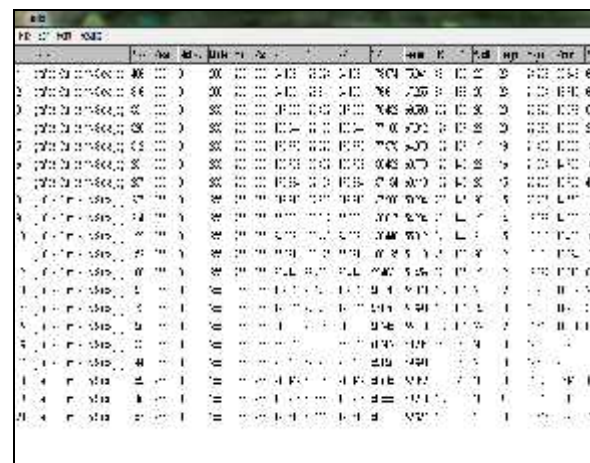


Figura 2.13. Pasos para finalizar el análisis de partículas

Seguido a esto automáticamente se generan dos ventanas, una de ellas muestra el contorno de cada partícula analizada identificada con un número (Ver Figura 2.14a), el cual sirve para ubicar en resultado de los parámetros analizados de dicha partícula en la otra ventana que muestra la tabla de resultados (Ver Figura 2.14b).



(A)



(B)

Figura 2.14. a) Ventana que muestra el contorno y numeración de cada partícula analizada; b) Ventana que muestra los resultados obtenidos por el procesamiento digital de imágenes.

Previamente al análisis de las muestras de este Trabajo Especial de Grado, se procedió a validar el método de análisis automatizado de imágenes mediante la discriminación de la

redondez y esfericidad de la figura de Krumbein y Sloss (1954). Así, la Figura 2.14 B muestra los resultados de aplicar la metodología antes mencionada para el análisis de partícula a la imagen de Krumbein y Sloss (1954) (Figura 2.15A).

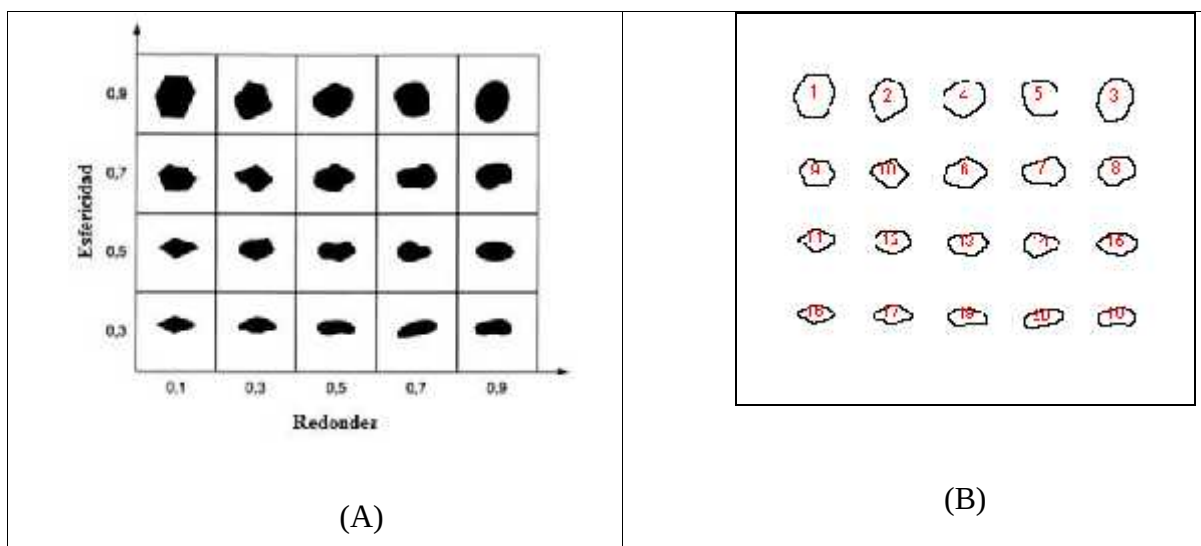


Figura 2.15. (A) Carta de relación esfericidad-redondez de Krumbein y Sloss (1954)
(B) Resultados de la delineación de los granos de la figura 3.22 por parte del programa ImageJ

La Tabla 2.4 resume los valores de esfericidad y redondez discriminados por el programa ImageJ para las partículas de la Figura 2.14A.

N° Grano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Esfericidad	0.885	0.878	0.911	0.912	0.932	0.854	0.811	0.877	0.913	0.826
Redondez	0.841	0.870	0.781	0.828	0.867	0.681	0.578	0.702	0.747	0.716

N° Grano	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Esfericidad	0.731	0.883	0.797	0.813	0.811	0.717	0.733	0.738	0.758	0.712
Redondez	0.589	0.630	0.554	0.631	0.539	0.465	0.480	0.447	0.437	0.394

Tabla 2.4. Valores de esfericidad y redondez obtenidos de la aplicación del programa ImageJ, el número de grano es determinado por la Figura 2.14A

2.5 GEOMORFOLOGÍA CUANTITATIVA

La geomorfología cuantitativa tiene como principal objetivo usar expresiones matemáticas que ayuden y faciliten al entendimiento de los procesos naturales que dan origen a las geoformas que componen el paisaje (Mayer, 1990).

Zevenbergen y Thorne (1987)(Dikau 1989) definen geomorfología cuantitativa, como la delineación automática de variables relativas a las cuencas de drenaje, y en la delineación de formas del terreno.

Estas expresiones permiten el análisis de atributos primarios y secundarios del terreno. Entendiendo por atributo primario a aquellos que pueden ser calculados directamente desde el Modelo Digital de Elevación (MDE) (Wilson y Gallant, 2000). En cuanto a los atributos secundarios son aquellos que implican combinaciones de los atributos primarios y constituyen un conjunto de derivados empíricamente (Moore et al., 1991; 1993).

Los principales atributos primarios calculados a través del Modelos de Elevación Digital son: altitud, pendiente, área, longitud de la trayectoria de flujo, longitud de la cuenca, perfil de curvatura, plano de curvatura, proporción de elevación, redes de drenaje, entre otros. Los atributos secundarios se calculan a partir de dos o más atributos primarios, estos son importantes, ya que permiten describir el patrón como una función de proceso. Esos atributos que cuantifican el papel desempeñado por la topografía en la redistribución de agua a través del paisaje. Los índices secundarios utilizados en este trabajo son:

2.5.1 Índices de Erosión

Según Bermúdez et al., (2012) los índices de erosión pueden ser calculados de diferentes maneras como función de la tasa de gasto de energía potencial por corrientes de agua, este se ha usado ampliamente en los estudios de erosión, transporte de sedimentos, y

en geomorfología como una medida de la fuerza erosiva de los ríos y arroyos (Wilson y Gallant, 2000). Este estudio se fundamenta en una predicción de la tasa de incisión en el lecho de roca como una función de la potencia de la corriente (Finlayson et al, 2002; Tucker y Whipple, 2002.):

$$\dot{e} = k A_s^m S^n$$

Donde $\dot{e}$ es la tasas de incisión local, A_s es el área de drenaje aguas arriba (usada como una aproximación para la descarga), S es la pendiente local, m , n y k son constantes. Donde el parámetro k está relacionado a la litología.

Con el propósito de incorporar las variaciones espaciales en la tasa de precipitación P y estudiar su influencia sobre el índice de erosión se realiza la siguiente modificación a la fórmula anterior, quedando de la siguiente manera:

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

Siendo entonces, la sumatoria de las precipitaciones sobre cada pixel que compone la cuenca; donde A_p es el área de cada. Bermúdez et al., (2012) denomina $\dot{e}_p$ al índice de erosión con precipitación.

2.5.1.1 Poder de flujo total (TSP)

La tasa de incisión está controlada por el poder de flujo total o "*Total Stream Power (TSP)*", $m=1$, $n=1$.

$$TSP = A_s S$$

1)

2.5.1.2 Poder de flujo unitario (USP)

La tasa de incisión está controlada por la amplitud del canal, también se conoce como "*Stream Power Per Unit Channel Width (USP)*", $m = \frac{1}{2}, n=1$. Así:

$$USP = \sqrt{A_s} S \quad 2)$$

2.5.1.3 Poder de flujo de cizalla (SSP)

Si la incisión es controlada por el esfuerzo de cizalla fluvial o "*Fluvial Shear Stress (SSP)*", $m = \frac{1}{3}, n = \frac{2}{3}$. Así se obtiene:

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

2.5.2 Relieve

El relieve según Bermúdez et al. (2012) es calculado como la diferencia entre dos rásters, el proporcionado por la máxima elevación dentro de un radio variable (1, 3 y 5 km) y el ráster proporcionado por el modelo de elevación digital del área de estudio. Así:

$$R = H_r - h \quad 4)$$

Donde H_r es el ráster obtenido de considerar la máxima elevación en un radio r , y h es el ráster de elevaciones dato por el MED.

2.5.3 Índices de Humedad

El índice de humedad fue originalmente desarrollado para predecir las áreas saturadas y también para predecir la profundidad del nivel freático del suelo.

Valores altos del índice de humedad indican potencial para la acumulación de agua en el suelo, y coincide con aquellas zonas de baja pendiente y con un valor de área de drenaje específica alto. Valores bajos del índice de humedad indican bajo potencial topográfico para la acumulación de agua en el suelo, ya sea por tratarse de un área con una cuenca de captación pequeña o por un alto valor de pendiente, indicador de suelos bien drenados.

Otro tipo de aplicaciones del índice de humedad, junto con la pendiente del terreno, es la predicción de propiedades del suelo.

La topografía determina la distribución del agua en el suelo y los procesos erosivos, influyendo en la erosión – deposición de materiales, el lavado de nutrientes y minerales, el contenido de materia orgánica, la profundidad del suelo, etc.

Moore et al. (1993) encontraron que la pendiente y el índice de humedad son los atributos topográficos que mayor correlación presentan con la variabilidad espacial de propiedades del suelo.

$$W_T = \ln \left(\frac{A_s}{T \cdot \tan(\quad)} \right) \quad 5)$$

$$W = \ln \left(\frac{A_s}{\tan(\quad)} \right) \quad 6)$$

Siendo en la primera expresión A_s el área de captación específica de la cuenca, T la transmisividad del suelo cuando el suelo está saturado, y β es el gradiente de la pendiente (en grados) (Moore et al., 1991). La segunda ecuación contiene un término menos, debido a que asume que las propiedades del suelo son uniformes, es decir, que la T transmisividad del suelo es constante a través o a lo largo de todo el paisaje (Moore et al., 1991).

2.5.4 Índice de capacidad de transporte de sedimentos

Es un índice utilizado para estimar el potencial topográfico para la erosión o deposición por medio de una expresión que representa el cambio en la capacidad de transporte de sedimentos en la dirección del flujo.

$$LS = (m + 1) \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^m \left(\frac{\sin(\beta)}{0.0896} \right)^n \quad 7)$$

Siendo:

LS = Índice de la capacidad de transporte de sedimentos

A_s = Área de drenaje específica

b = Ángulo de la pendiente local

m y n son constantes análogas a los valores para los índices de erosión TSP , USP y SSP .

Moore y Wilson (1993) proponen este índice como el factor LS de la $RUSLE$ (Revised Universal Soil Loss Equation, Renard *et al.* 1991). Este índice, a diferencia del original propuesto en la ecuación revisada, que incorporaba una corrección del factor para ajustarse a pendientes complejas, contempla la influencia de la convergencia y divergencia del flujo en la determinación del potencial topográfico para la erosión laminar.

CAPÍTULO III

3. GEOLOGÍA REGIONAL

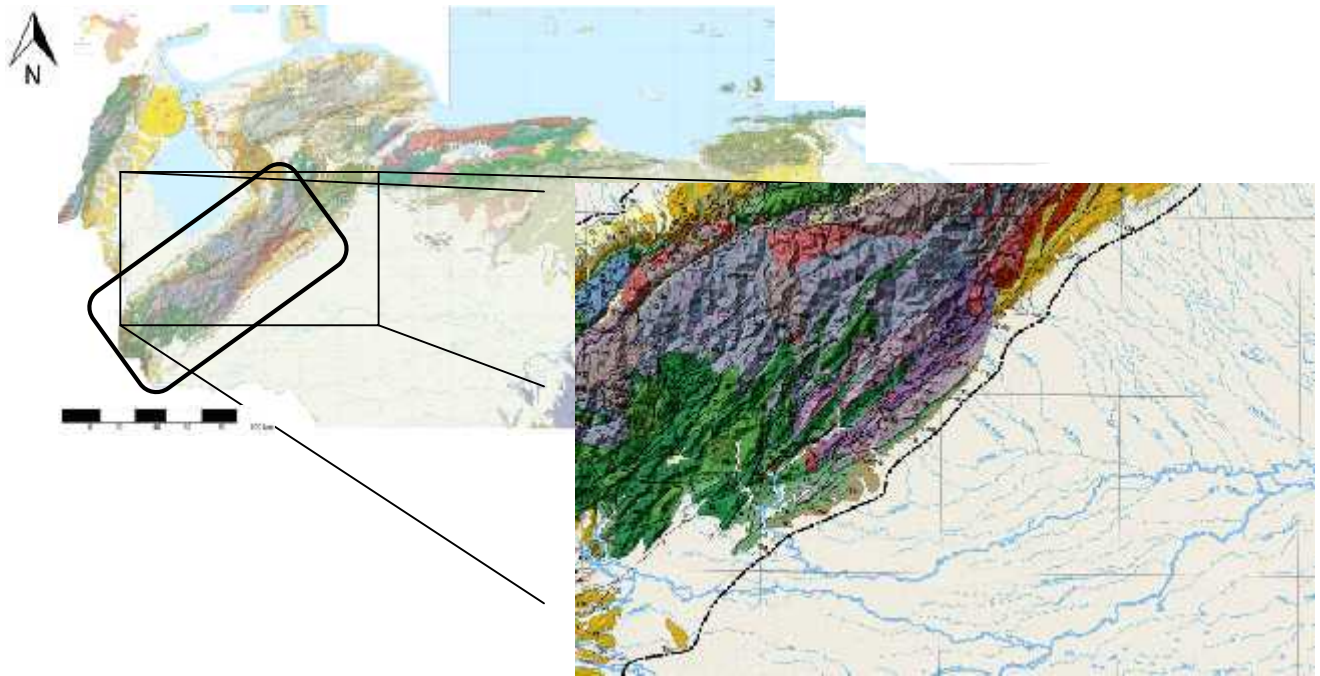
3.1 INTRODUCCIÓN

En el siguiente capítulo se expondrá a detalle la ubicación de la zona de estudio, incluyendo toda la información recabada sobre la geología regional, describiendo cada una de las formaciones que corresponden a las cuencas, así como también, la geomorfología del área.

Serán descritos dentro del marco de la geología estructural los procesos que han afectado la región Occidental del país dando como resultado la configuración actual, enfocándose en los aspectos fisiográficos como lo son el relieve, clima, hidrografía y vegetación de los Andes Venezolanos.

3.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio presenta una gran extensión, abarcando tres estados del país comenzando de Oeste a Este con el río Uribante en el estado Táchira el río Canaguá en el estado Mérida, luego el río Caparo y Michay en el estado Barinas. La Figura 3.1 ilustra la ubicación del área de estudio y las principales formaciones geológicas involucradas.



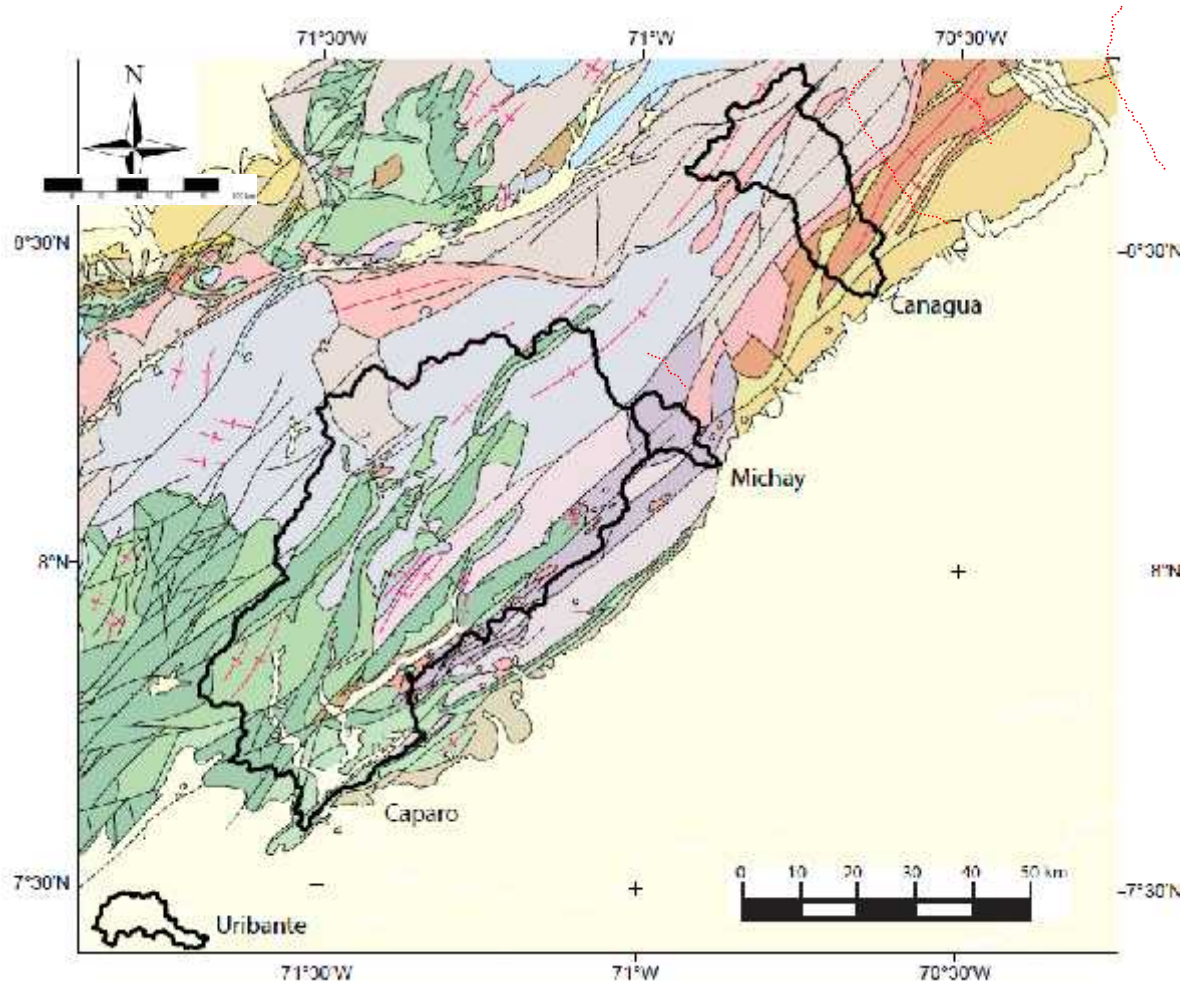


Figura 3.1. Zona de estudio

A continuación, en la Tabla 6 se describen cada una de las formaciones geológicas que afloran en cada drenaje.

Río	Formaciones	Edad	Características
CAPARO	Caparo	Ordovícico tardío	Principalmente limolitas arenáceas gris oscuro, limolitas finamente micáceas, localmente

			carbonáceas
CANAGUÁ	Rio Yuca	Plioceno	conglomerados, areniscas, limolitas y arcillas de color pardo claro
	Parangula	Mioceno Medio	conglomerados lenticulares de grano grueso y areniscas de grano fino
	Paguey	Eoceno	Lutitas marinas de grises a negras
	Mirador	Eoceno	Areniscas blancas grano medio, material carbonaceo
	Complejo Iglesias	Proterozoico	Ortogneis biotítico, gneises migmatíticos, sills de anfibolitas
	Carvajal	Pleistoceno	arenas y gravas macizas
MICHAY	Sierra Nevada	Precámbrico superior	alternancia de esquistos micáceos, gneises y anfibolita
	Cerro Azul	Paleozoico Inferior	filitas azul-verdoso, esquistos sericíticos laminados
URIBANTE	La Cope	Plioceno Temprano	Conglomerados, areniscas y calizas

Tabla 3.1. Formaciones aflorantes en cada una de las cuencas a estudiar

3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES.

La geología de la zona de estudio está compuesta por las formaciones mencionadas en la tabla anterior, las cuales serán descritas a continuación:

El río Caparo atraviesa la Formación Caparo de edad Ordovícico Tardío. Según Benedetto y Sánchez (1979) se compone principalmente de limolitas arenáceas gris oscuro, limolitas finamente micáceas, localmente carbonáceas, frecuentemente laminadas, areniscas de granos finos a medio, color gris, a veces calcáreos, fosilíferos y lutitas que incluyen a algunos tipos oscuros y carbonáceos con graptolites.

Seguidamente el río Canaguá atraviesa varias formaciones, la primera de ella es el Complejo Iglesias de edad Precámbrico Tardío, compuesta litológicamente según Bellizia y Pimentel, de esencialmente esquistos y gneises cuarzo-feldespático-micáceo-granatíferos, ortogneises graníticos y anfibolitas; localmente se encuentran cuerpos lenticulares de cuarcitas, migmatitas y mármoles y en el tope de la sección, esquistos pelíticos bien laminados con estauroлита, andalusita y cianita. En segundo lugar se encuentra la Formación Mirador de edad Eoceno Medio, descrita por González de Juana et. al (1980) como una sección caracterizada por areniscas blancas de grano fino a medio con capas delgadas de gránulos o guijarros de cuarzo; toda la sección presenta material carbonáceo, observándose algunas intercalaciones de lutitas en su tercio superior y capas delgadas de carbón interestratificadas con las mismas. La Formación Paguey de edad Eoceno Tardío, está compuesta por tanto en el subsuelo como en la superficie, por lutitas marinas grises a negras, duras, astillosas, bien laminadas, muy foraminíferas y con niveles comunes de nódulos sideríticos e, incluso, ftaníticas. seguida de la Formación Parángula edad Mioceno Temprano a Medio, compuesta por conglomerados lenticulares de grano grueso, de color gris a verdoso y pardo claro a blanco; areniscas de grano fino en capas masivas con estratificación cruzada, localmente glauconíticas en la superficie, mientras que en subsuelo la litología es similar, pero con la ausencia de los conglomerados. Luego tenemos la Formación Río Yuca de edad Mioceno tardío, compuesta litológicamente como una unidad

que aflora en una amplia faja a lo largo del flanco sureste de los andes desde el río Socopó hasta el área de Acarigua, limitada al norte por su contacto con la Formación Parángula y al sur con la Formación Guanapa o sedimentos recientes. Y finalmente la Formación Carvajal de edad Pleistoceno, que según el Léxico Estratigráfico de Venezuela, consiste de arenas y gravas macizas, frecuentemente con estratificación cruzada, mal estratificadas, mal cementadas, pardas y micáceas.

Por su parte el río Michay, presenta dos unidades, primeramente la Asociación Sierra Nevada de edad Precámbrico, descrita según Léxico Estratigráfico de Venezuela como, una gran variedad de tipos litológicos; presenta alternancia de micaesquistos y gneises, gneises migmatíticos, anfibolitas, gneises graníticos y localmente mármoles y cuarcitas. Y la Asociación Cerro Azul de edad Paleozoico Temprano, compuesta de filitas azul-verdoso, esquistos sericíticos laminados grisáceos y cuarcitas impuras. Diversos plutones afloran en el seno de las unidades El Granito Cerro Azul y el Granito de la Soledad (Léxico Estratigráfico de Venezuela).

Finalmente el Río Uribante atraviesa la Formación La Cope de edad Mioceno Tardío al Plioceno Temprano, dividida en dos miembros de carácter informal: un miembro inferior que consiste generalmente en conglomerados masivos con clastos de diámetro de 5 a 30 cm, con grado de redondez variable, compuestos generalmente de fragmentos detríticos, areniscas y calizas, como resultado de la erosión de rocas del Cretáceo. El miembro superior consiste en arcilitas grises, moteadas con colores rojizo a amarillento, alternándose con areniscas blanquecinas, rosadas y amarillentas, masivas, con abundante matriz y aislados niveles de conglomerados (Léxico Estratigráfico de Venezuela).

3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La Cordillera Andina Venezolana, está representada por una estructura compuesta por una serie de bloques fallados; los cuales según González de Juana et al (1968), están constituidos por grandes unidades que se han ido diferenciando, tanto en función de los esfuerzos que han experimentado, variables en tiempo y espacio, como en función de su

contenido litológico particular. El estilo estructural está definido mediante un patrón de cizallamiento.

La cordillera andina, también presenta un sistema de fallas muy extenso, el cual presenta la misma dirección de la cordillera, en sentido noreste, siendo su falla más importante la falla de Boconó, con 450 kilómetros de longitud aproximadamente, esta atraviesa el eje de los Andes entre la depresión de Táchira y Morón, donde cambia de rumbo acoplándose al sistema de fallas San Sebastián- El Pilar, la falla de Boconó presenta un desplazamiento dextral transcurrente.

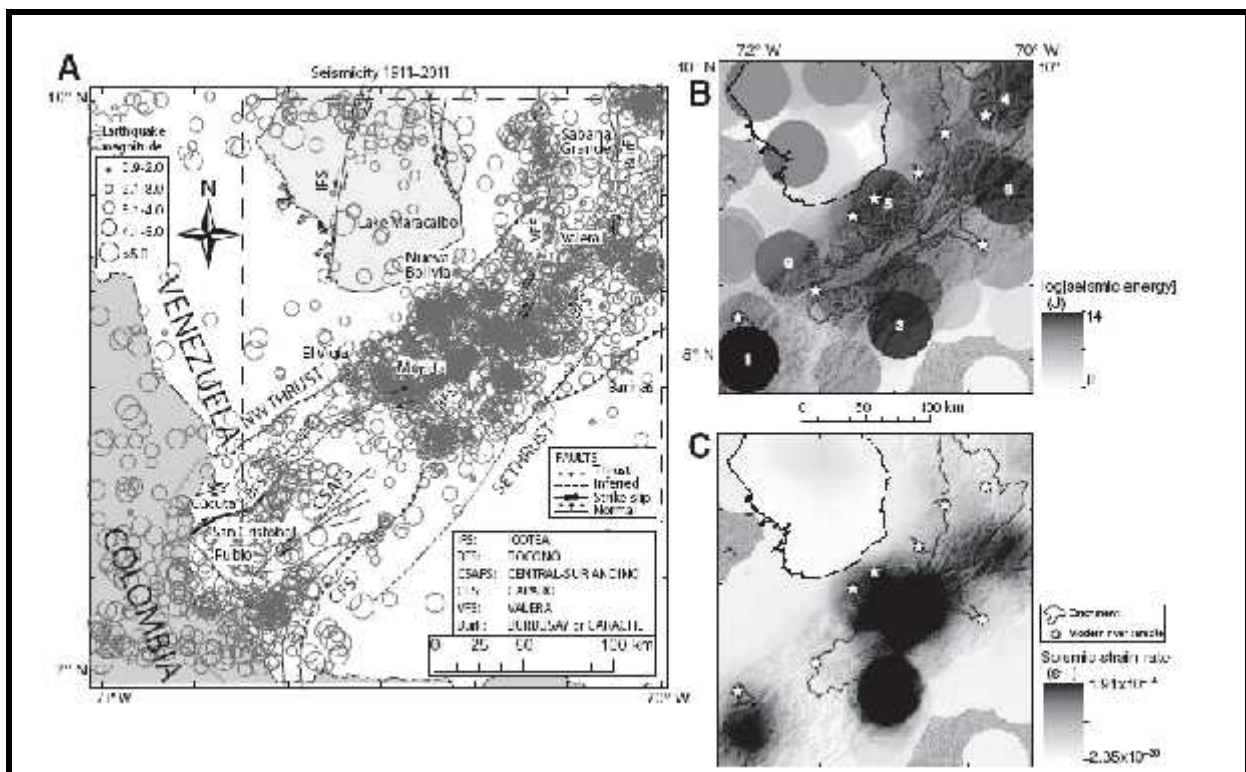


Figura 3.2. (A) Mayor sistema de fallas activo (modificado por Audemard et al., 2000) y datos de sismicidad recopilada durante el periodo 1911-2011 por la biblioteca digital de la Universidad de los Andes (<http://Igula.ciens.ula.ve/>) y FUNVISIS (<http://funvisis.org.ve/>). (B) Acumulación de energía Sísmica liberada, calculada por el registro de sismos. Sismos individuales con $M > 5$ ocurridos fuera de los Andes Venezolanos son indicados (1-31 Diciembre 1993, 9,65° N, 70,70° W, $M_w = 5.4$; 2-21 Diciembre 2001, 8,17° N, 70,96° W, $M_w = 5.6$; 3-03 enero 2006, 9,89° N, 71,92° W, $M_w = 5.0$; 4-04 Agosto 2006, 9,97° N, 70,65° W, $M_w = 5.2$; 5-29 Diciembre 1995, 9,75° N,

70.26° W, $M_w = 5.3$; 6-12 Febrero 1998, 9.14° N, 70.23° W, $M_w = 5.6$). (C) Tasa de tensión sísmica como ha sido predecida desde la distribución y magnitudes de terremotos y los terremotos de máxima magnitud M_{max} , de cada captura usando un contenedor de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ de los datos. Tomada de Bermúdez et al (2012).

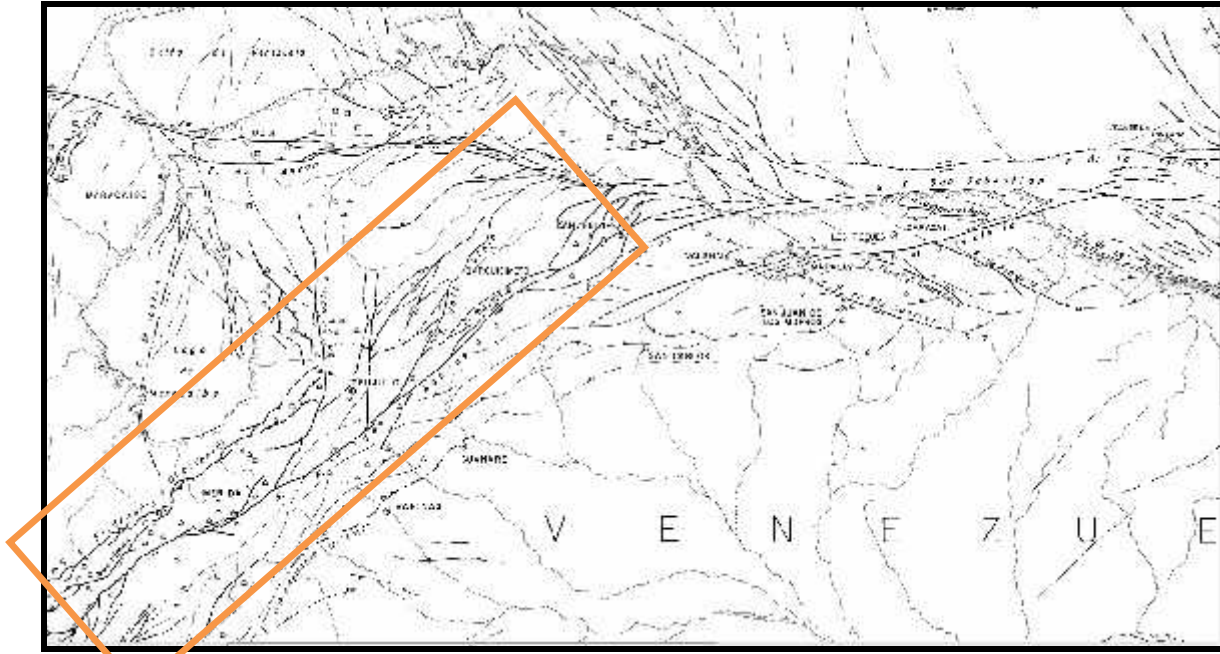


Figura 3.3. Mapa Neotectónico de Venezuela. Tomado y modificado de Flores 2013
(Tomado y modificado de FUNVISIS 1993)

Según Schubert (1972), la estructura del levantamiento andino, es producto de los esfuerzos compresivos de la Falla de Boconó, lo cual genera una estructura en flor.

Deramitroff (1971), dice que los Andes venezolanos, sufrieron deformación debido a cizallamientos ocurridos durante el Terciario. Esta deducción se fundamenta en las “ramas” destrales a lo largo de la Falla de Boconó, y el levantamiento que estos presentaron, el cual inicio en el Mioceno Tardío, con una orientación de $80^\circ - 90^\circ$ del esfuerzo compresivo principal, que es el responsable de la zona de Falla de Boconó y los corrimientos asociados a esta.

El Léxico Estratigráfico de Venezuela describe la cordillera andina como el accidente orográfico más prominente del país, tienen unos 36.120 kilómetros cuadrados de

extensión, y constituyen una prolongación de Los Andes colombianos orientales, que al llegar al Nudo de Pamplona se bifurcan en dos cadenas: la Cordillera de Los Andes y la Sierra de Perijá, que en conjunto abarcan aproximadamente el 6% de la superficie territorial venezolana.

Los Andes venezolanos propiamente dichos comienzan en el suroeste en la depresión del Táchira, desde donde se extienden en dirección noreste hasta la depresión de Barquisimeto-Acarigua en los Estados Lara y Cojedes.

La transición de la Cordillera de Los Andes a las planicies circundantes es bastante abrupta, especialmente en el flanco septentrional en el estado Mérida, y en el flanco meridional al oeste de Acarigua, donde se desarrolla una estrecha faja piemontina ocupada por unidades conglomeráticas jóvenes. En las cercanías de Motatán se separa hacia el norte la Serranía de Trujillo.

En la culminación tectónica de Los Andes (Estado Mérida), además de las metamórficas antiguas ya mencionadas, afloran unidades paleozoicas de metamorfismo bajo a muy bajo, mientras que en ambos declives, de Táchira y Lara, afloran predominantemente rocas mesozoicas no metamorfizadas. A consecuencia de esto, la geomorfología andina no sólo está influenciada por la estructura primaria, en realidad un gigantesco y complejo pilar tectónico, sino también por la clase de rocas expuestas, y se acusan profundas diferencias topográficas entre las zonas donde afloran las unidades paleozoicas y más antiguas, y aquellas donde predominan rocas del Mesozoico.

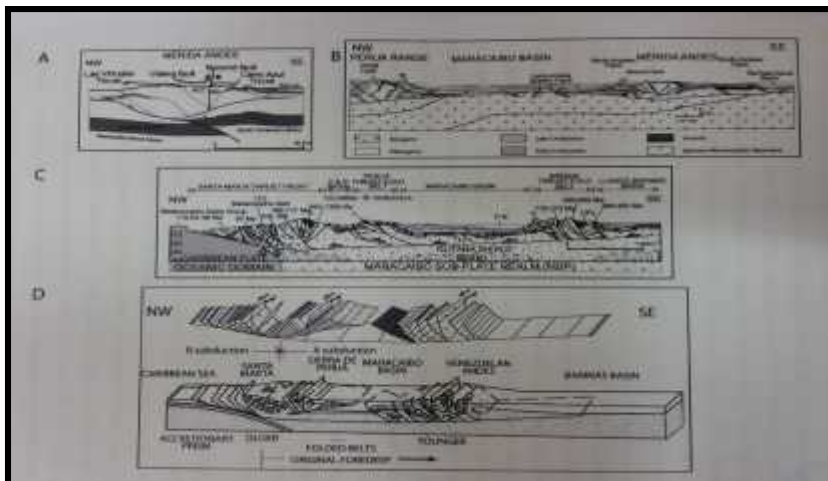


Figura 3. 4 *Modelo Estructural de los Andes (Tomado de Bermúdez 2012)*

3.5 EVOLUCIÓN TECTONO – ESTRATIGRÁFICA

La cadena montañosa de los Andes, está compuesta litológicamente por rocas cuyas edades van desde el Precámbrico hasta el Neógeno. Donde su historia de formación está asociada a la evolución del margen norte de la Placa Suramericana.

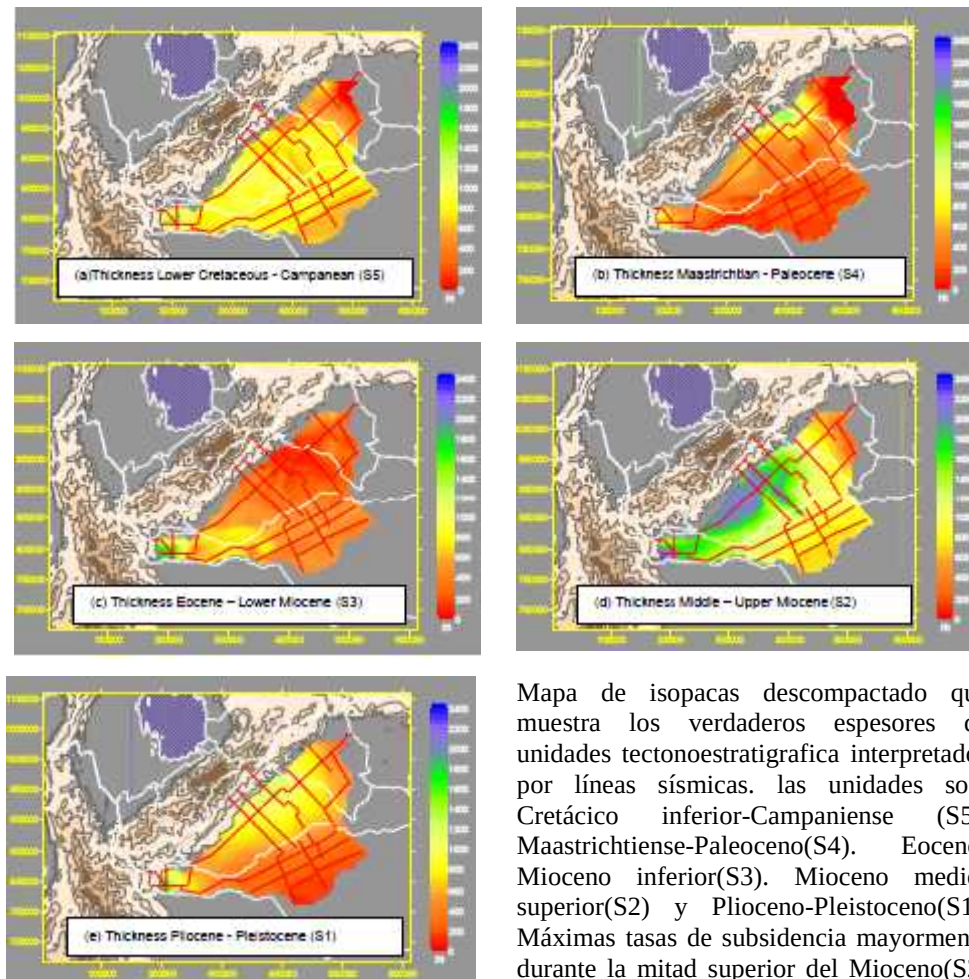
Según González de Juana et al. (1980) posteriormente en la transición Permo-Triásica, se levanta el Arco de Mérida con una dirección aproximadamente perpendicular a la actual cordillera andina y se desarrollaron aperturas Jurásicas, responsables de la formación de grabenes y estructuras asociadas rellenas con sedimentación continental, Formación La Quinta. (Lugo et al, 1995).

Posteriormente en la placa suramericana comienza un periodo de calma tectónica con presencia de sedimentación de margen pasivo dando origen a una plataforma continental y en el interior cuencas distensivas, representadas en el Occidente de Venezuela como las fosas tectónicas de Machiques, Uribante y Barquisimeto. Estos surcos reciben grandes volúmenes de sedimentos fluviales (Formación Río Negro) durante el Barremiense, a comienzo del Aptiense habían sido prácticamente rellenos y las aguas marinas comenzaron a progresar sobre las áreas positivas.

Por motivo del movimiento de la Placa Caribe hacia el noreste, se forman una diacrónica generación de escamas tectónicas (napas) con vergencia hacia el sur y sureste, en el Eoceno inferior, conocidas con el nombre de las Napas de Lara (Stephan, 1977). Estas Napas producen una carga litostática adicional originando un sistema de fallas en forma de bisagra que controla la sedimentación de la cuenca a partir de la incorporación de las escamas tectónicas sobre el norte de la Placa Suramericana.

En el Eoceno medio se produce la invasión de la cuenca de Barinas por mares epicontinentales depositándose la Formación Gobernador luego la flexura de la cuenca de Barinas-Apure ocasionada por el emplazamiento de las napas permitió la sedimentación de la Formación Pagüey. En el Eoceno Superior un cambio en el paleogradiente del cratón hizo migrar los ambientes marinos marginales hacia el Norte y Oriente.

En el paso del Terciario Inferior al Superior ocurren en Venezuela Occidental movimientos tectónicos (Mio-Plioceno) generalizados, originados por la colisión de Panamá-Baudo-Chocó contra la esquina noroccidental suramericana (Dengo y Covey, 1993). Esta colisión levanta prácticamente toda la zona, tanto a las actuales cordilleras de Perijá y Andes de Mérida, las cordilleras metamórficas emplazadas tectónicamente, las provincias de surcos y hasta las zonas anteriormente cubiertas por mares de poca profundidad, tanto en Barinas como en el Lago de Maracaibo, se convirtieron en áreas positivas (González de Juana et al, 1980).



Mapa de isopacas descompactado que muestra los verdaderos espesores de unidades tectonoestratigráficas interpretados por líneas sísmicas. Las unidades son: Cretácico inferior-Campaniense (S5). Maastrichtiense-Paleoceno (S4). Eoceno-Mioceno inferior (S3). Mioceno medio-superior (S2) y Plioceno-Pleistoceno (S1). Máximas tasas de subsidencia mayormente durante la mitad superior del Mioceno (S2) y Plioceno-Pleistoceno (S1), que corresponde al levantamiento de los Andes de Mérida.

Figura 3. 5. *Espesores de las Formaciones geológicas en estudio (tomado de Chacín y Jácome 2008)*

3.6 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Según Tricart (1961) la evolución geomorfológica permite caracterizar los siguientes conjuntos estructurales:

- a. Los núcleos cristalinos, que sobresalen en las partes más elevadas de los Andes (norte de la sierra de la Culata, sierra Nevada de Mérida, sierra de Tovar).
- b. La depresión del Chama, que corresponde a una fosa tectónica, encerrada en la zona de máximo alzamiento. El fondo de esta depresión está ocupado por terrazas más o menos extensas.
- c. Las zonas preandinas, formadas por terrenos sedimentarios post-paleozoico adosados al núcleo de alzamiento máximo.
- d. Las cuencas de los extremos que corresponden a ensillamientos tardíos del alzamiento de la orogénesis andina, representada por las depresiones del Táchira y de Carora (Venturini 1983).

Según Moreno y Siso (1993) la cordillera andina corresponde a una de las prolongaciones más septentrionales del sinclinal andino suramericano. Siendo su fisionomía el resultado del levantamiento de dos grandes bloques o pilares tectónicos separados por hendiduras longitudinales o fosas tectónicas individualizadas a través de complejos campos de fallas normales y paralelas. Donde la tectónica evidencia grandes pliegues anticlinales y sinclinales.

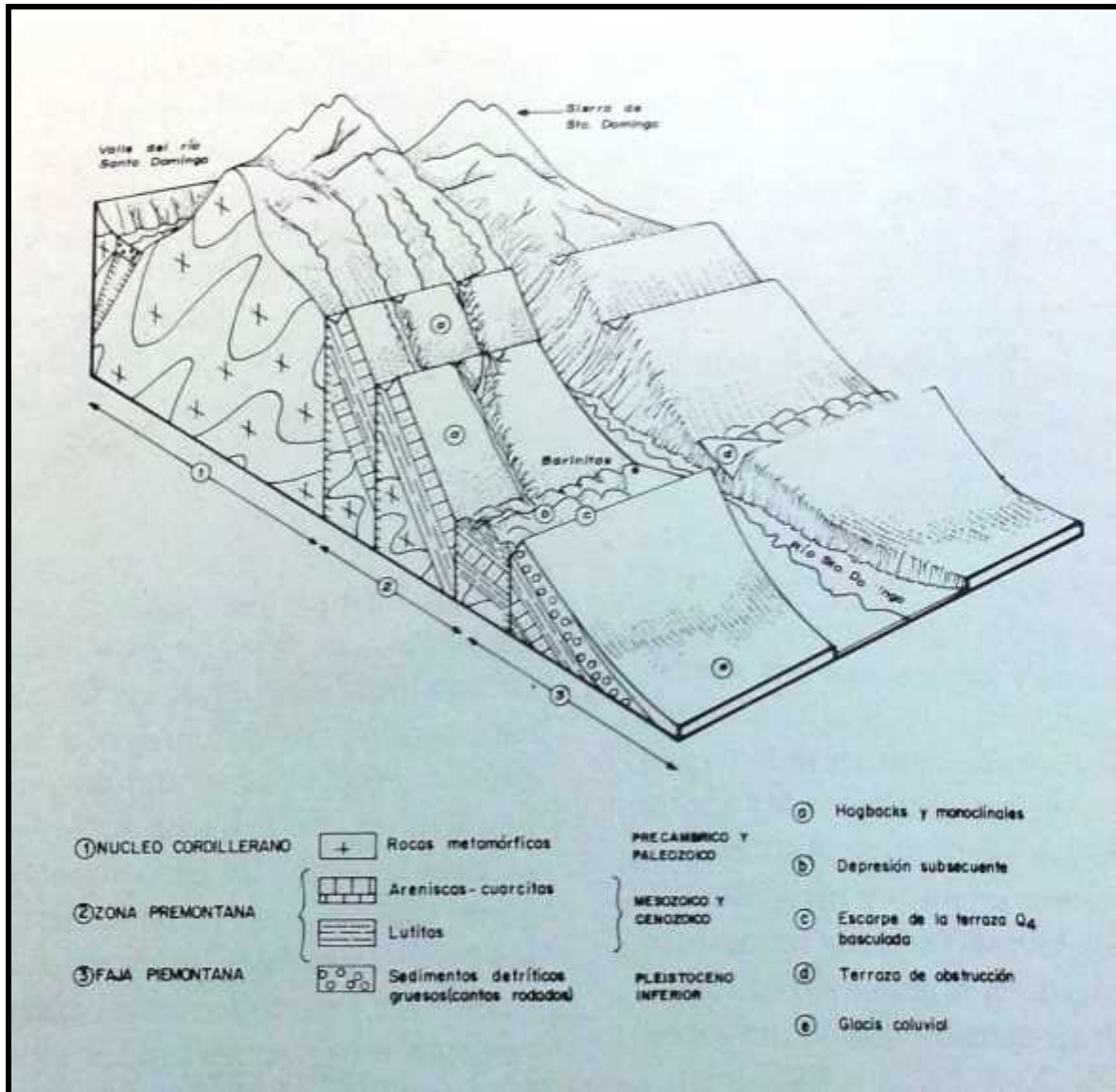


Figura 3. 6. Geomorfología de los sistemas Caparo y Central-Surandino (tomado de Venturini 1983)

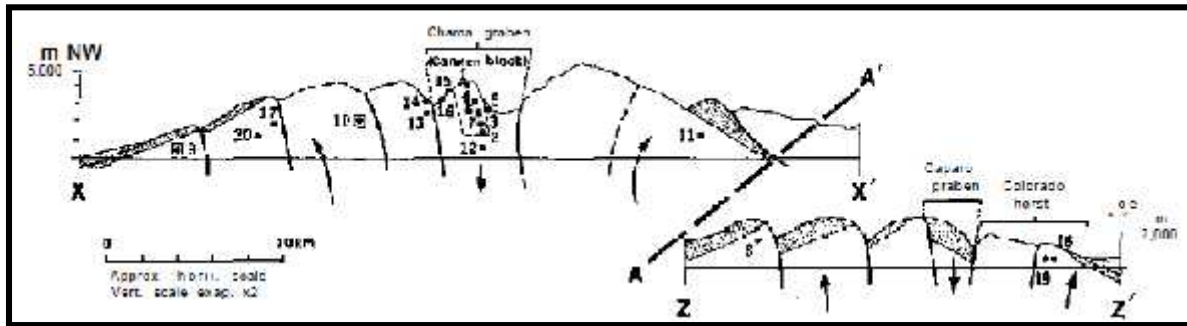


Figura 3. 7. Levantamiento del Bloque Caparo. (Tomado de Kohn et al.,1984)

3.7 CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS

3.7.1. Clima

El clima del área de estudio, ubicada en la región de los andes específicamente en el flanco sur andino de la cordillera. Según Venturini (1983), el sub espacio montañoso andino tiene un clima totalmente distinto al de sus áreas vecinas, concretamente, es más húmedo y las precipitaciones durante el año revisten un carácter típicamente ecuatorial, con dos periodos de lluvia en abril-mayo-junio y en septiembre-octubre-noviembre, alternado con dos periodos secos uno de diciembre a marzo y otro menos seco entre julio y agosto. Estas características generales están fuertemente modificadas por la influencia del relieve, de tal forma que es necesario adoptar una división regional-sectorial para definir las características bioclimáticas.

- El frente montañoso del NO, presenta una elevada pluviosidad relativamente bien repartida. La estación seca de diciembre a marzo, no es acentuada y se producen lluvias torrenciales.
- El frente montañoso SE presenta en relación al frente NO diferencias climáticas, que son el resultado de su posición entre los llanos y los alrededores de Maracaibo. Pero esas diferencias se atenúan y desaparecen con la altitud. El ascenso

orográfico del aire seco no es suficiente durante el periodo seco bien marcado de los llanos, como para provocar precipitaciones importantes en el mismo. Con excepción de algunos sitios más o menos húmedos, como en algunos valles (Venturini, 1983).

Climáticamente se caracterizan por presentar once subtipos climáticos, que van desde el extremo del Tropical lluvioso de selva Af(W'') en las partes andinas más bajas de la vertiente lacustrina (Estación la Fría) tomada del INAMEH y el tropical lluvioso de bosque AM(W) en la vertiente andino-llanera, al tropical de altura paramero H. después de los 1600m de altitud comienzan a predominar los climas tropicales de altura (G) con temperaturas medias inferiores a 18°C y después de los 3000m los climas de alta montaña (H) con promedios térmicos inferiores a 11°C. (Vivas 1992)

- Los flancos tienen una gran importancia por los pisos altitudinales que presentan y por la orientación con respecto al sol, sobre todo a partir de los 1500m de altitud. En el interior de la cadena montañosa los flancos son suficientemente húmedos para dar lugar a la selva. Tal es el caso de los alrededores de Mérida, donde aparece la selva hidrófila. (Venturini, 1983)

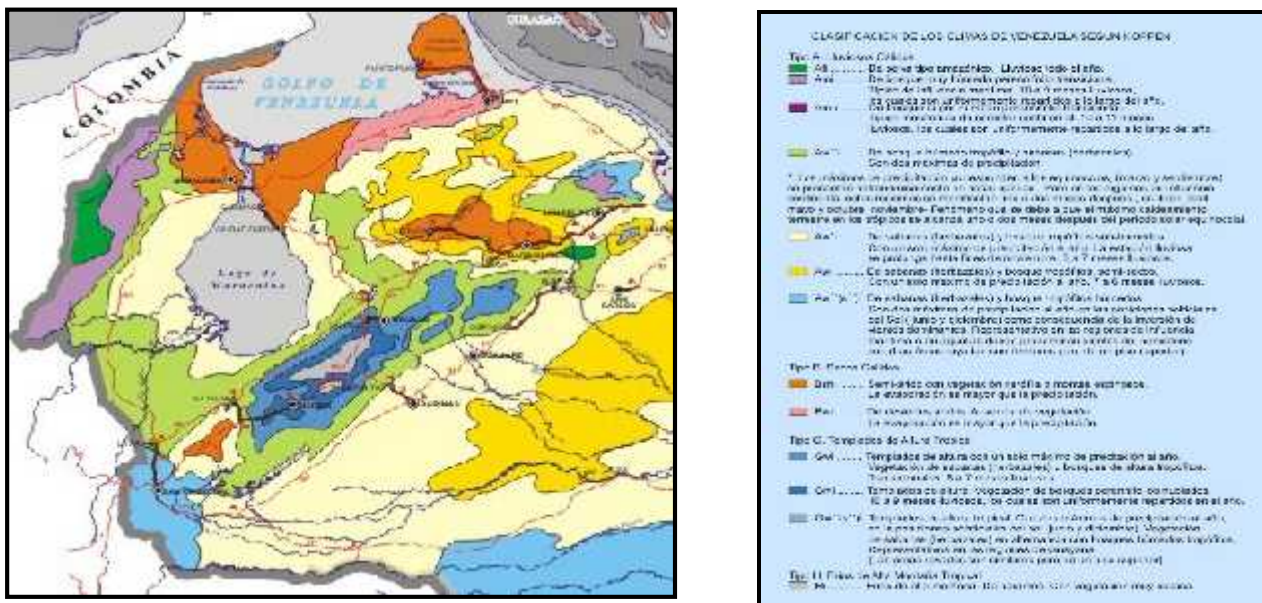


Figura 3. 8. Clima de la Región Andina. Imagen tomada de <http://www.venemia.com/Vzla/VzlaClima/VeneClima10.php>

3.7.2. Relieve

El relieve de la zona, está integrado por un macizo bien individualizado, el cual se extiende desde la frontera colombiana, en dirección noreste, hasta la depresión de Barquisimeto. Este macizo está comprendido entre los límites de los estados Táchira, Mérida y Trujillo.

Los flancos que miran al norte y al sur, constituyen unidades de relieve que regularmente entran en contacto con las tierras llanas vecinas, a través de una alargada y estrecha franja que se denomina piedemonte. Mientras los flancos se caracterizan por formar un relieve de vertientes abruptas con pendientes superiores al 40%, largas y rectilíneas; los piedemonte conforman un paisaje quebrado, ciertamente, pero integrado más que todo por colinas disectadas e individualizadas, bajas, frecuentemente redondeadas o alargadas, de vertientes cortas y con pendientes, aunque inclinadas, siempre con valores generales menores a el de la cordillera (Vivas, 1992).

Además del relieve de colinas señalado, los piedemontes también están conformados por altas terrazas y conos aluviales, dispuestos de manera destacada sobre los lechos actuales de los ríos que disectan esos depósitos. (figura 3.9).



Figura 3. 9. Mapa de Relieve de la zona en estudio (Tomado de Venturini 1983).

3.7.3. Vegetación

El escalonamiento climático que tanto caracteriza la ecología andina, es el factor determinante de la instalación de la vegetación natural en el espacio regional que tratamos.

Huber y Alarcón (1988) en su “Mapa de Vegetación de Venezuela” sintetizan los tipos de cubierta vegetal para la cordillera de los Andes. Ellos señalan que la vegetación se caracteriza por los numerosos tipos boscosos y los páramos alto-andino, ambos con elevado grado de endemismo florístico. Los autores dividen la región en las siguientes formaciones vegetales:

- Bosque ombrofilos basimontanos semi-decíduos estacionales: son bosque altos, con dos estratos arbóreos y densidad variable.
- Bosque ombrofilos basimontanos/submontanos, sub-siempre-verdes.
- Bosques ombrofilos submontanos/ montanos, siempre-verdes: son bosque de altura media y relativamente densos.
- Bosque ombrofilos montanos siempre-verdes: son las selvas nubladas andinas. Densos de altura media a alta y sotobosque bien desarrollados.
- Páramos andinos: se incluyen sub-páramos, páramos y súper-páramos, cada uno con especies propias.
- Matorrales xerófilos y cardonales: son pequeñas colonias de vegetación xerófila.

Monasterio (1980) clasifica las formaciones vegetales andinas a través de dos gradientes. la variación térmica altitudinal y la variación hídrica. las formaciones vegetales de los piedemontes y del macizo montañoso que destacan son.

- La selva estacional que ha sido una cubierta muy intervenida en ambos piedemontes.
- El bosque decíduo sobrepasando ligeramente los 1.000 m de altura.
- El arbustal espinoso que puede llegar aproximadamente hasta los 1600-1800 m.
- Selva submontana que alcanza los 1800m.
- La selva estacional montana que se encuentra a altitudes parecidas a la anterior, pero con n promedios de precipitación inferiores.
- La selva siempre-verde seca hasta un poco mas de 2.000 m con lluviosidad entre 1.000- 1.500 mm.
- La selva nublada montana baja, con alta pluviosidad entre 2.000-2.500 mm, hasta 2.000 m de altura aproximadamente.
- La selva montana alta, con rasgos de precipitación muy variables y de altura de hasta 3.000m de altitud.

- El páramo con sus pisos Andinos y Altiandino, con rasgos de precipitación variables y altitudes por encima de los 3.000 m en general.

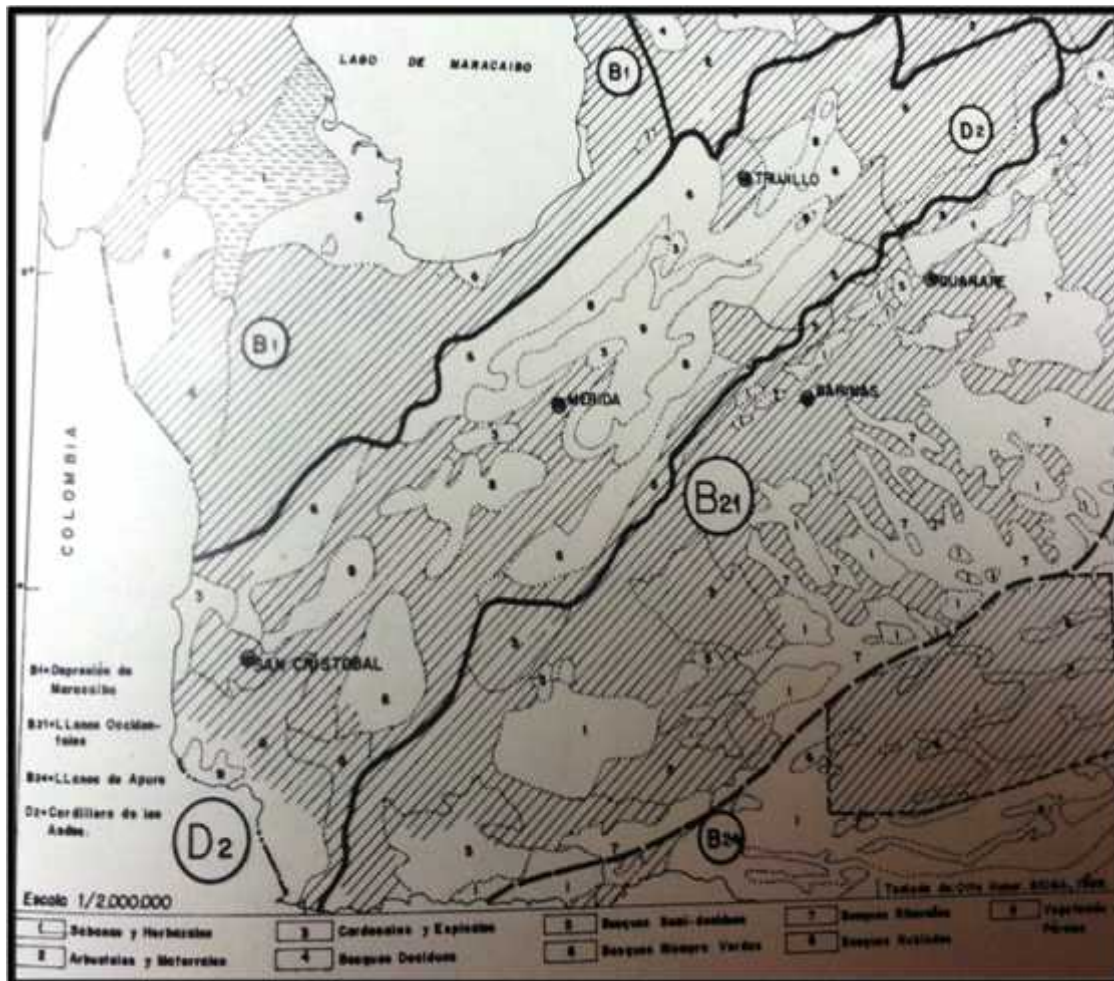


Figura 3. 10. Mapa de Vegetación de la zona en estudio (Tomado de Vivas 1992).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan los resultados derivados de los análisis: químicos, mineralógicos, petrográficos, morfo-textural de los minerales pesados obtenidos de las muestras de sedimentos modernos de los ríos de interés. También, como fue mencionado en el capítulo de la metodología, se presentan los resultados obtenidos del análisis digital del terreno: índices primarios (elevación y pendiente) y secundarios (índices de erosión, de humedad, y la capacidad de transporte de sedimentos). De esta manera se obtienen una serie de datos cuantitativos y cualitativos que son mostrados en formas de mapas e histogramas, y que serán discutidos en las secciones siguientes.

4.2 ANÁLISIS MORFO-TEXTURAL

El análisis morfo-textural se basó, en el estudio de los minerales pesados previamente separados y concentrados, presentes en las secciones montadas realizadas para las muestras de cada cuenca, mediante el “software” ImageJ, el cual permitió obtener cuantitativamente los parámetros de redondez y esfericidad de los minerales analizados, para luego ser comparados con el análisis visual obtenido mediante la tabla de redondez-esfericidad de Krumbein y Sloss (1954).

Se debe acotar que durante el análisis mineralógico de las diferentes muestras texturales, ópticas y morfológicas, hay ciertos cristales que no pudieron ser identificados, y se denominaron en este estudio como Grupo D, para poder incluirlos en los análisis estadísticos realizados.

La Tabla 4.1 resume a continuación los resultados del análisis morfo-textural para la fracción no magnética del río Uribante. En esta Tabla se observa que los minerales más abundantes corresponden a los óxidos (51.2%), seguidos por los circones (34.21 %), granos de cuarzo (11.6%) y un mineral de rutilo (2.3%) para esta fracción.

Tabla 4.1 Valores promedios de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la muestra no magnética de la cuenca del río Uribante

Propiedades	Uribante No Magnético			
	Circón (15) 34,9%	Cuarzo (5) 11,6%	Óxidos (22) 51,2%	Rutilo (1) 2,3%
Esfericidad	0,788	0,793	0,796	0,833
Redondez	0,649	0,729	0,789	0,821

La tabla 4.1 es mostrada en forma de histogramas en la Figura 4.1 y 4.1b.

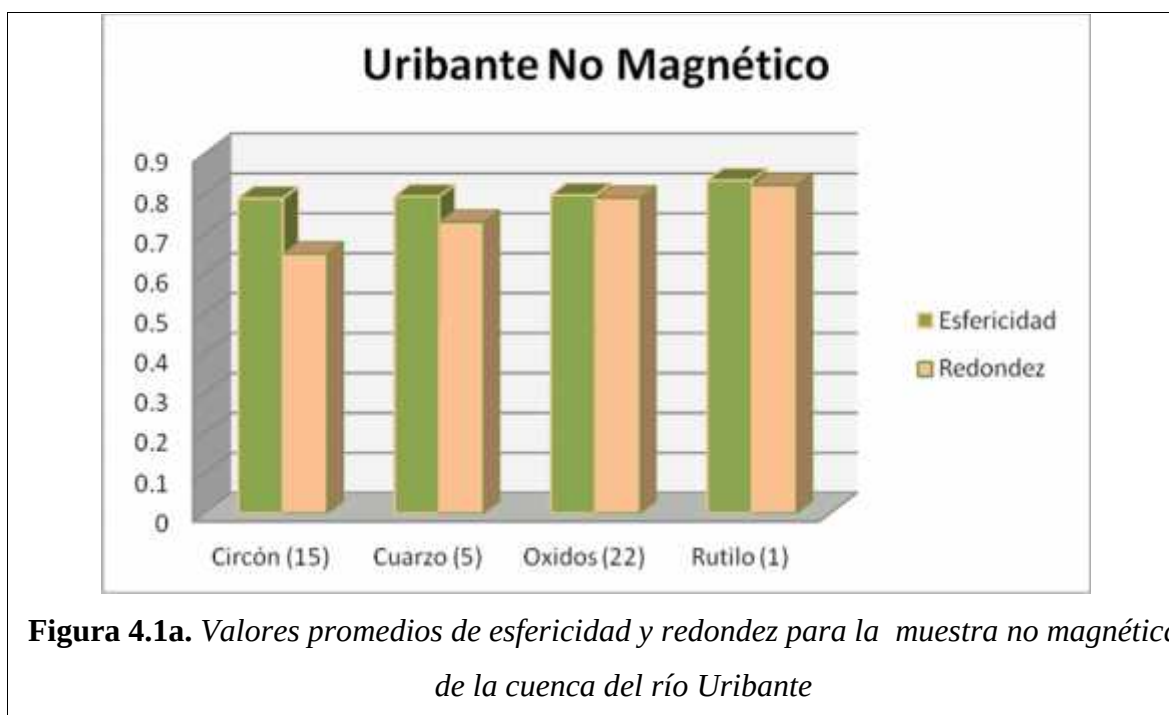


Figura 4.1a. Valores promedios de esfericidad y redondez para la muestra no magnética de la cuenca del río Uribante

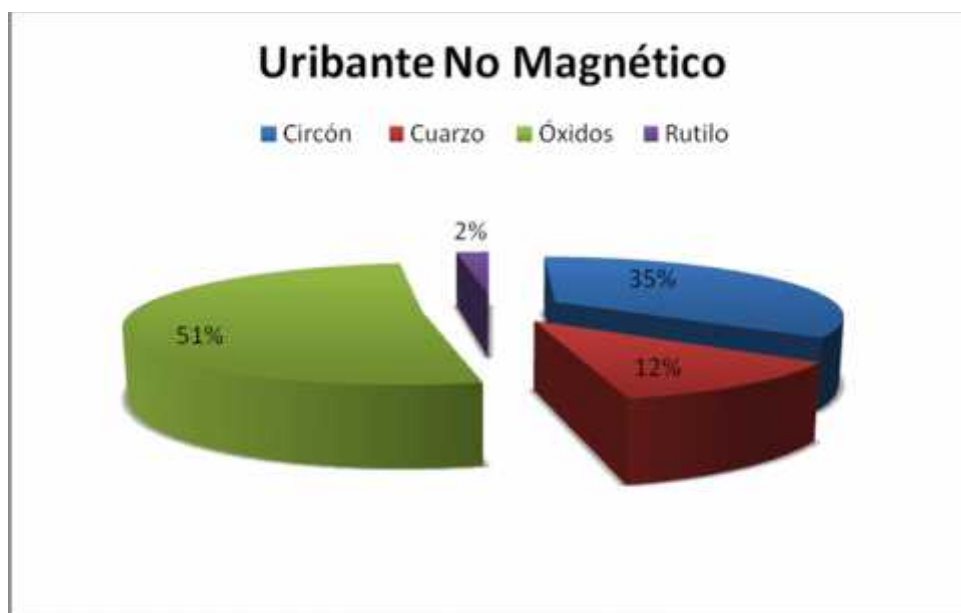


Figura 4.1b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra no magnética de la cuenca del río Uribante

La Tabla 4.2 resume a continuación los resultados del análisis morfo-estructural para la fracción magnética del río Uribante. En esta tabla se observa que los minerales más abundantes corresponden a los óxidos (48.75%), seguidos por los circones (22.5 %), apatitos (7.5%) y granos del grupo D (18.8%) para esta fracción.

Tabla 4.2. Valores promedio de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la muestra magnética de la cuenca del río Uribante

Propiedades	Uribante Magnético			
	Circón (18)22.5%	Apatito (6)7.5%	Óxidos (39)48.8%	Grupo D (15)18.8%
Esfericidad	0,786	0,803	0,823	0,828
Redondez	0,685	0,774	0,761	0,779

Los resultados de la Tabla 4.2 son mostrados en forma gráfica en la Figura 4.2a y 4.2b. Se observa en esta Figura que los granos de apatitos son los que poseen una mayor redondez.

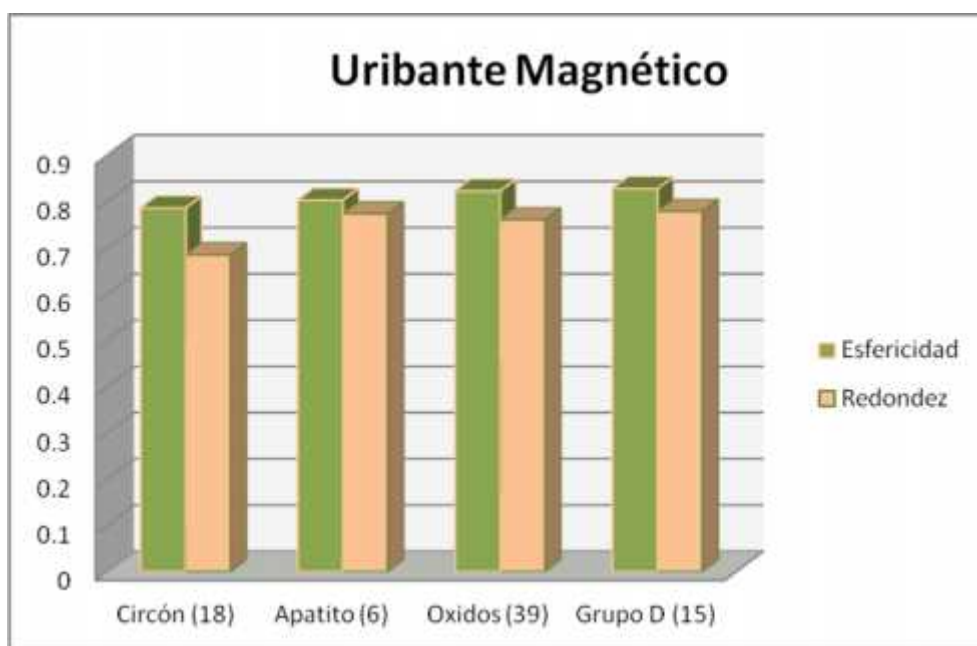


Figura 4. 2a. Valores promedios de esfericidad y redondez para la muestra magnética de la cuenca del río Uribante



Figura 4.2b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra magnética de la cuenca del río Uribante

La Tabla 4.3 resume a continuación los resultados del análisis morfo-estructural para la fracción no magnética del río Caparo. En esta Tabla se observa que los minerales más abundantes corresponden a los circones (60.5%), seguidos por los de apatito (25.6 %), granos de rutilo (7%), óxidos (4.7%) y un cristal de sillimanita (2.3%) para esta fracción.

Tabla 4.3. Valores promedio de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la muestra de la cuenca del río Caparo

Propiedades	Caparo No Magnético				
	Circón (26)60.5%	Apatito (11)25.6%	Óxidos (2)4.7%	Rutilo (3)7%	Sillimanita (1)2.3%
Esfericidad	0,764	0,808	0,835	0,738	0,738
Redondez	0,757	0,693	0,743	0,737	0,552

La Figura 4.3a y 4.3b resumen en forma gráfica los valores mostrados en la Tabla 4.3, se observa en esta figura que los cristales de óxidos y apatitos poseen mayor esfericidad que el resto de los granos.

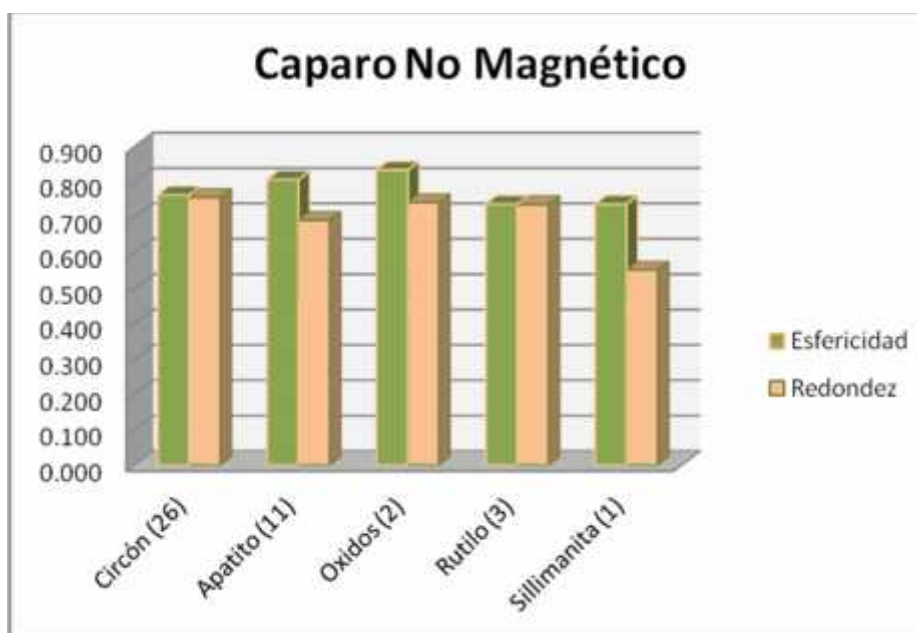


Figura 4. 3a. Valores promedio de esfericidad y redondez para la muestra no magnética de la cuenca del río Caparo

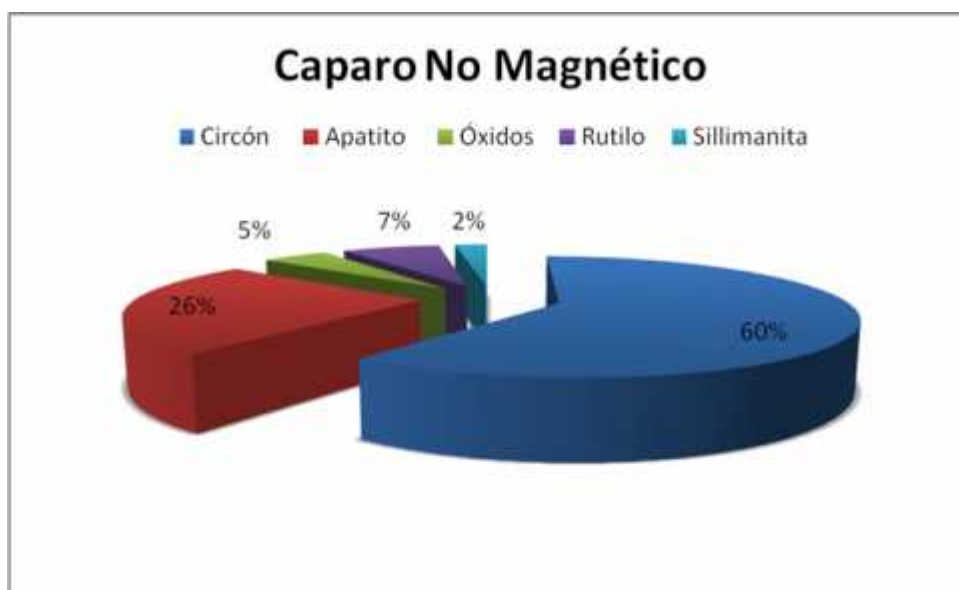


Figura 4.3b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra no magnética de la cuenca del río Caparo

La Tabla 4.4 resume a continuación los resultados del análisis morfo-estructural para la fracción magnética del río Caparo. En esta Tabla se observa que los minerales más abundantes corresponden a los circones (56.3%), seguidos por los de rutilo (27.1 %) y apatitos (16.7%) para esta fracción.

Tabla 4.4. *Valores promedio de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la muestra de la cuenca del río Caparo*

Propiedades	Caparo Magnético		
	Circón (27)56.3%	Apatito (8)16.7%	Rutilo (13)27.1%
Esfericidad (Media)	0,785	0,761	0,794
Redondez (Media)	0,679	0,632	0,769

La Figura 4.4 resume en forma gráfica los valores mostrados en la Tabla 4.4a y 4.4b, se observa en esta figura que los cristales de rutilo poseen mayor esfericidad y redondez que el resto de los minerales reconocidos.

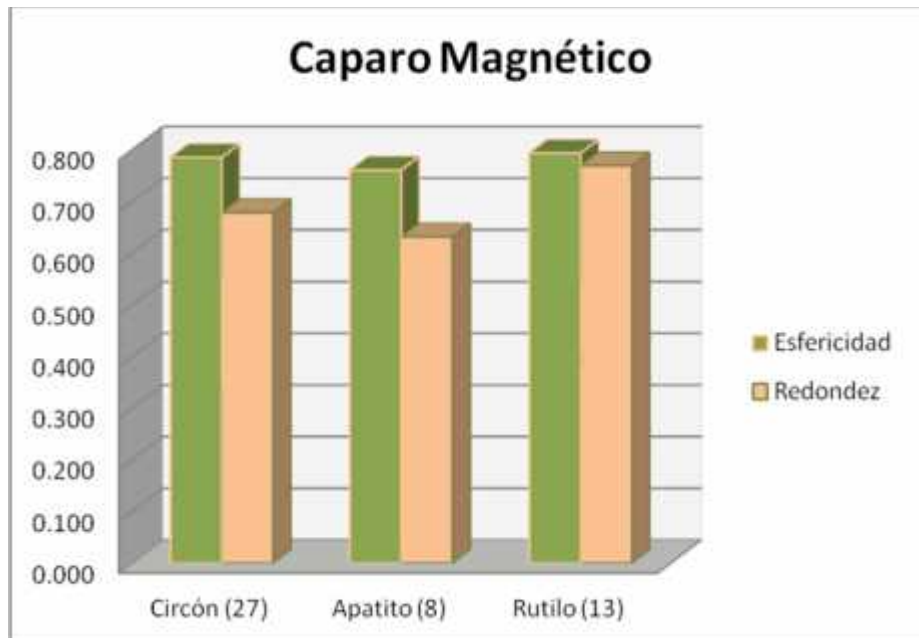


Figura 4. 4a. *Valores promedio de esfericidad y redondez para la muestra magnética de la cuenca del río Caparo*

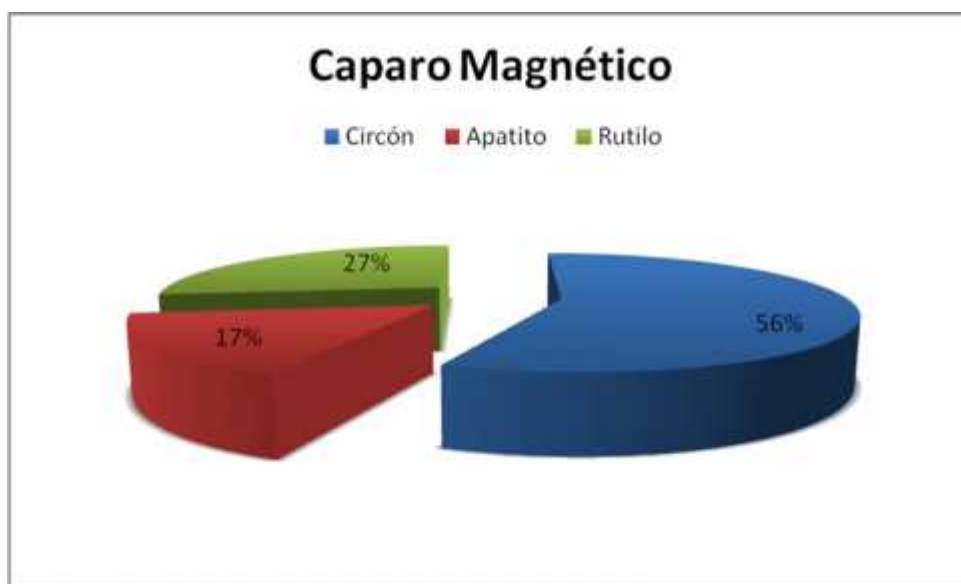


Figura 4.4b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra magnética de la cuenca del río Caparo

La Tabla 4.5 resume a continuación los resultados del análisis morfo-estructural para la fracción no magnética del río Michay. En esta Tabla se observa que los minerales más abundantes corresponden a los óxidos (36.1%), seguidos por los circones (30.6 %), granos de cuarzo (25%), apatitos (4.2%), cristales de topacio (2.8%) y un mineral de rutilo (1.4%) para esta fracción.

Tabla 4.5. Valores promedio de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la muestra no magnética de la cuenca del río Michay.

Propiedades	Michay No Magnético					
	Circón (22)30.6%	Cuarzo (18)25%	Apatito (3)4.2%	Óxidos (26)36.1%	Rutilo (1)1.4%	Topacio (2)2.8%
Esfericidad	0,776	0,817	0,774	0,809	0,855	0,769
Redondez	0,697	0,794	0,758	0,778	0,849	0,647

La Figura 4.5a y 4.5b resumen en forma gráfica los valores mostrados en la Tabla 4.5, se observa en esta figura que los cristales de rutilo poseen mayor esfericidad y redondez, seguido por los granos de cuarzo y óxidos.



Figura 4.5a. Valores promedio de esfericidad y redondez para la muestra no magnética de la cuenca del río Michay

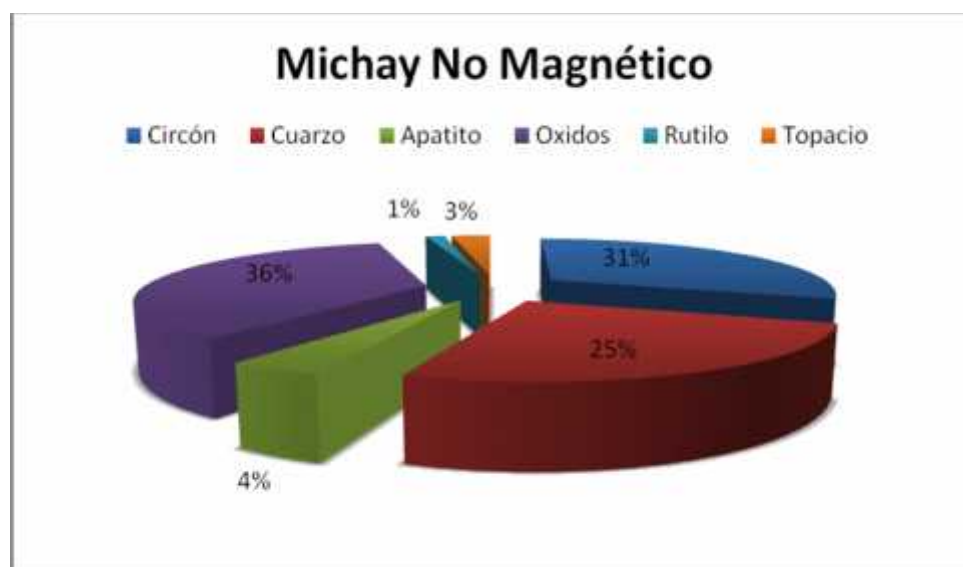


Figura 4.5b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra no magnética de la cuenca del río Michay

La Tabla 4.6 resume a continuación los resultados del análisis morfo-estructural para la fracción magnética del río Michay. En esta tabla se observa que los minerales más

abundantes corresponden a los de Grupo D (33.3%), seguidos de los apatitos (27.3 %), granos de circón (15.2%), óxidos (15.2%) y rutilo (9%) para esta fracción.

Tabla 4.6. Valores promedio de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la muestra magnética de la cuenca del río Michay.

Propiedades	Michay Magnético				
	Circón (5) 15.2%	Apatito (9)27.3%	Óxidos (5)15.2%	Rutilo (3)9%	Grupo D (11)33.3%
Esfericidad	0,764	0,743	0,743	0,777	0,785
Redondez	0,785	0,726	0,717	0,712	0,793

La Figura 4.6a y 4.6b resumen en forma gráfica los valores mostrados en la tabla anterior, se observa en esta figura que los cristales pertenecientes al grupo D poseen mayor esfericidad y redondez, seguido por los granos de circón, llama la atención en esta figura que la redondez es mucho mayor tanto para el grupo D, como para los granos de circón. Este comportamiento es diferente a lo observado en las muestras anteriores.

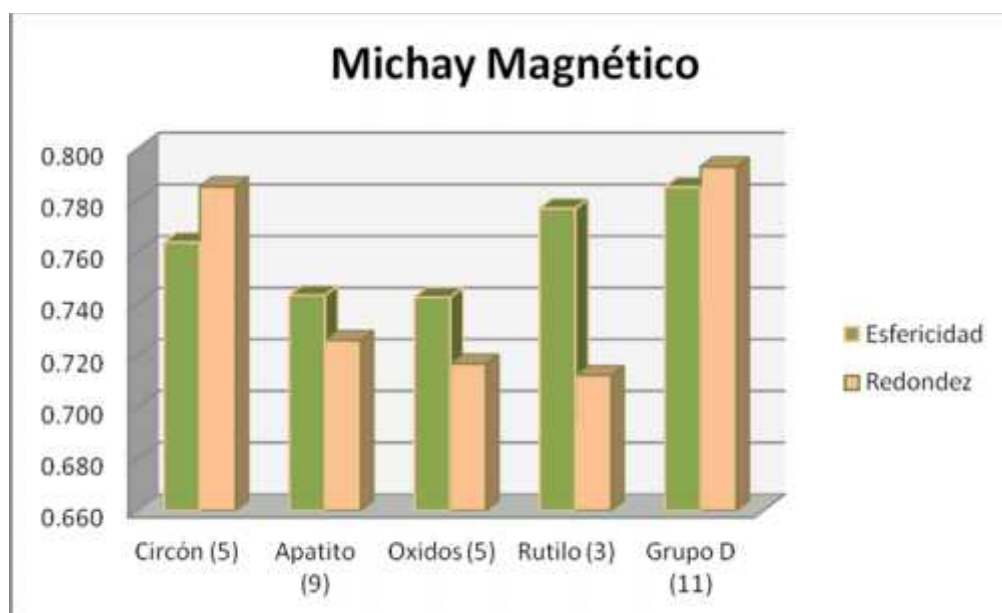


Figura 4.6a. Valores promedio de esfericidad y redondez para la muestra magnética de la cuenca del río Michay

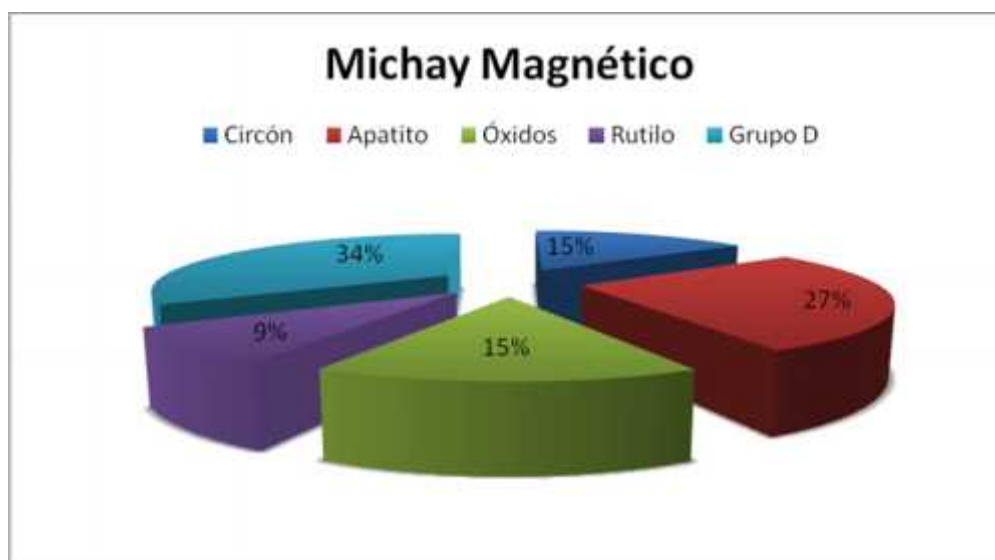


Figura 4.6b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra magnética de la cuenca del río Michay

La Tabla 4.7 resume a continuación los resultados del análisis morfo-estructural para la fracción no magnética del río Canaguá. En esta tabla se observa que los minerales más abundantes corresponden a los apatitos (40.6%), seguidos por los circones (28.1 %), óxidos (18.8%), rutilo (9.4%) y un cristal de sillimanita (3.1%) para esta fracción.

Tabla 4.7. Valores promedio de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la muestra no magnética de la cuenca del río Canaguá.

Propiedades	Canaguá No Magnético				
	Circón (9)28.1%	Apatito (13)40.6%	Óxidos (6)18.8%	Rutilo (3)9.4%	Sillimanita (1)3.1%
Esfericidad	0,761	0,784	0,790	0,810	0,807
Redondez	0,665	0,695	0,695	0,773	0,681

La Figura 4.7a y 4.7b resumen en forma gráfica los valores mostrados en la tabla anterior, se observa en esta figura que los cristales presentan valores similares de esfericidad y redondez, siendo los valores de esfericidad mayores que los de redondez para todos los minerales que componen la muestra.

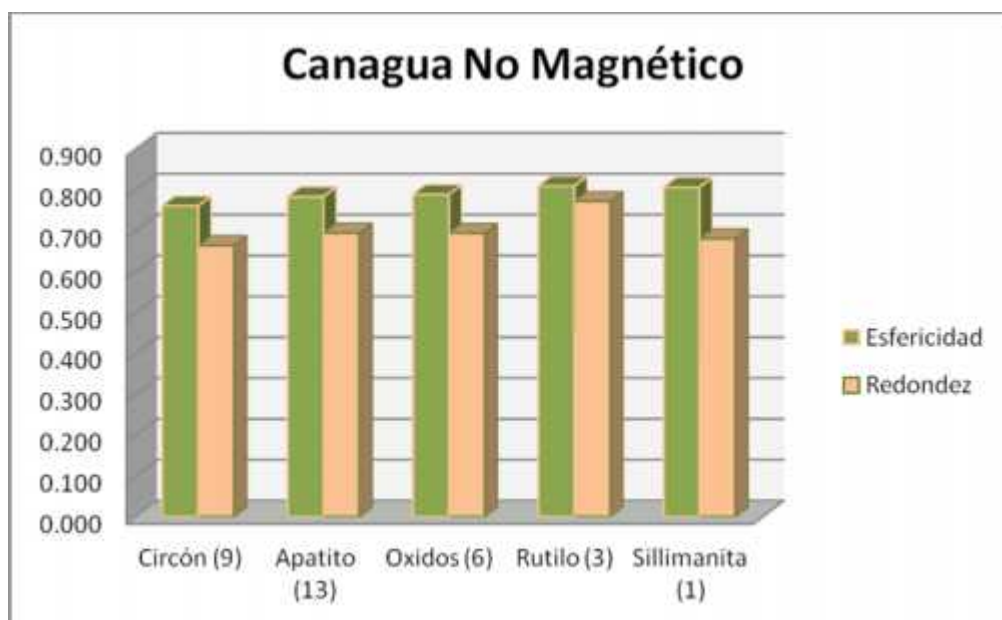


Figura 4. 7a. Valores promedio de esfericidad y redondez para la muestra no magnética de la cuenca del río Canaguá



Figura 4.7b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra no magnética de la cuenca del río Canaguá

La Tabla 4.8 resume a continuación los resultados del análisis morfo-estructural para la fracción magnética del río Canaguá. En esta tabla se observa que los minerales más

abundantes corresponden a los circones (37.6%), seguidos por los de sillimanita (25 %), granos de rutilo (16.7%), Cuprita (16.7%) y apatitos (4.2%) para esta fracción.

Tabla 4.8. Valores promedio de esfericidad y redondez, obtenida a través del análisis digital de minerales pesados para la fracción magnética de la cuenca del río Canaguá.

Propiedades	Canaguá Magnético				
	Circón (9) 37.6%	Apatito (1) 4.2%	Cuprita(4) 16.7%	Rutilo (4) 16.7%	Sillimanita (6) 25%
Esfericidad	0,733	0,792	0,770	0,792	0,723
Redondez	0,687	0,693	0,680	0,703	0,664

La Figura 4.8a y 4.7b resumen en forma gráfica los valores mostrados en la tabla anterior, se observa en esta figura que los cristales pertenecientes al apatito y rutilo poseen mayor esfericidad, seguido por los granos de circón, llama la atención en esta figura que la redondez muy parecida para todos los minerales.

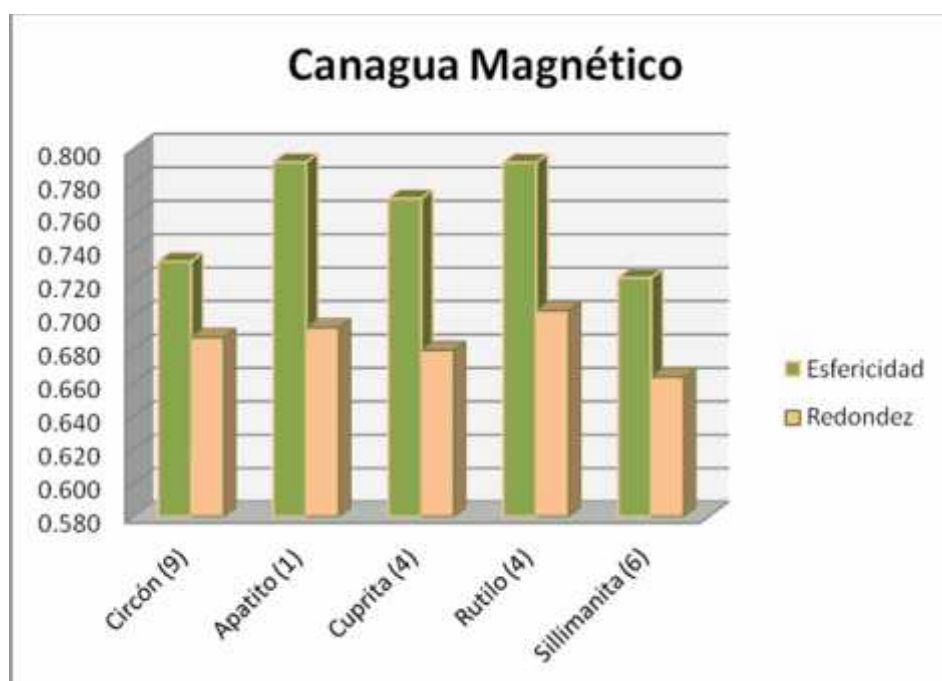


Figura 4. 8a. Valores promedio de esfericidad y redondez para la muestra magnética de la cuenca del río Canaguá

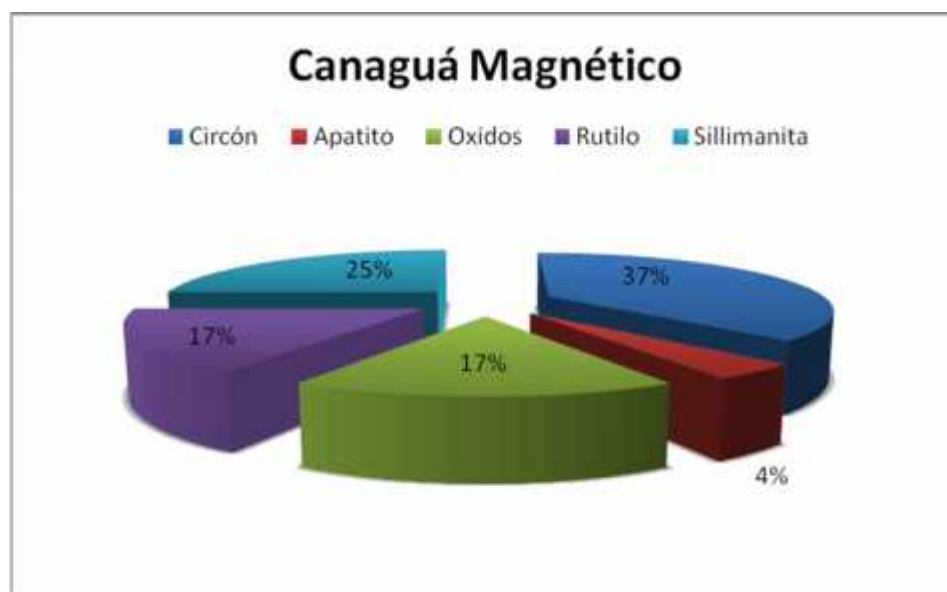
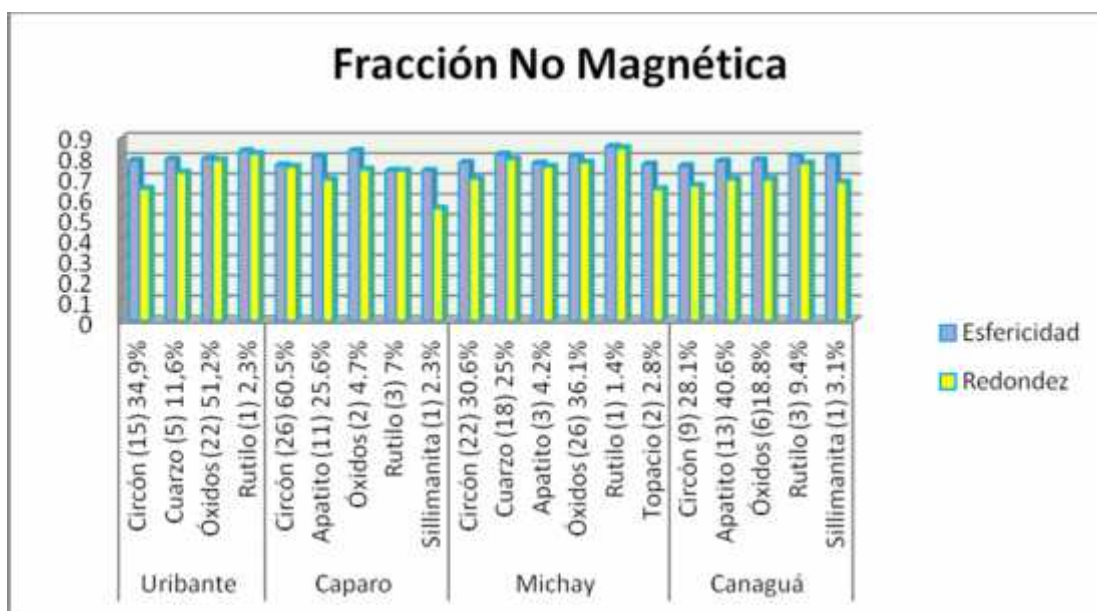
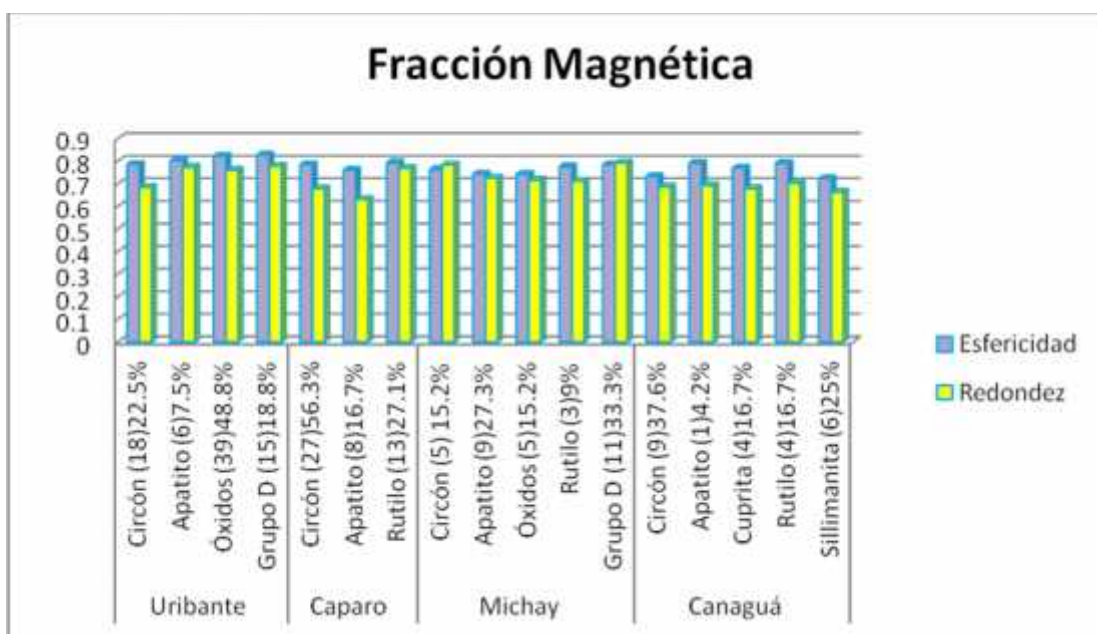


Figura 4.8b. Valores porcentuales de cada mineral para la muestra magnética de la cuenca del río Canaguá



(A)



(B)

Figura 4. 9. A) Valores promedio de esfericidad y redondez para cada cuenca, fracción no magnética. B) Valores promedio de esfericidad y redondez para cada cuenca, fracción magnética.

4.3 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)

En este estudio se analizaron un total de 16 minerales, distribuidos en cuatro (04) minerales por cuenca (dos (02) de la fracción magnética y dos (02) de la fracción no magnética), a través del mismo se buscaba corroborar los resultados en cuanto a la identificación de estos minerales obtenidos por medio del análisis con el microscopio petrográfico, también se quiso dar nombre a algunos minerales opacos, posiblemente óxidos que no pudieron ser identificados mediante el análisis con el microscopio petrográfico y por último se quería observar con una mayor resolución los parámetros texturales y morfológicos de los cristales observados.

4.3.1 RIO URIBANTE

4.3.1.1 Muestra Uribante No Magnético

La Figura 4.10 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción magnética del río Uribante. La figura 4.10 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.10A, se observa que el Carbono (C) y el oxígeno (O) representan los mayores valores de conteos por segundos. A pesar de que aparece un pico de valores de azufre (S), ese valor es un ruido o artefacto producto del esmalte con el cual fueron recubiertas las muestras. Como este valor es frecuente en todos los análisis por microscopía, no se hará énfasis en describir ese elemento en los resultados siguientes. La Figura 4.10 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la figura 4.10A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.10B indicando que se trata del mismo grano.

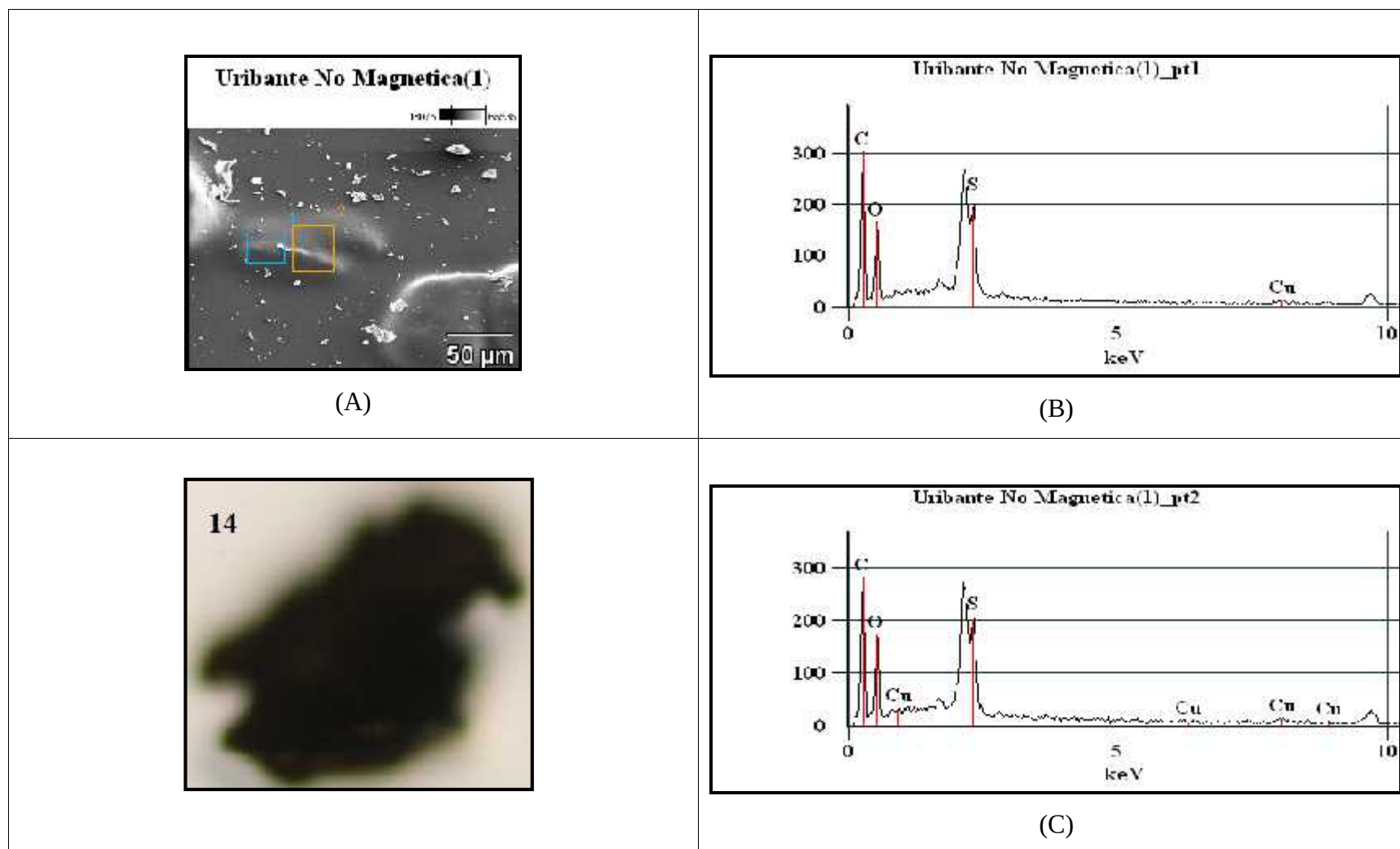


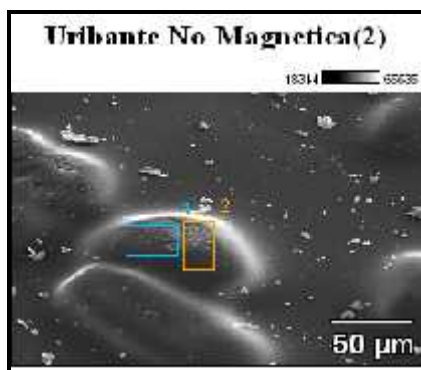
Figura 4. 10. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Uribante magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal.

Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.10 B y C son resumidos en la tabla 4.10.

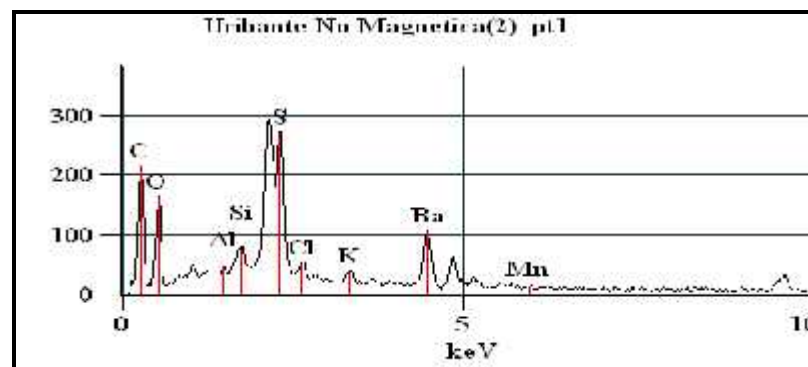
Tabla 4.10. Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Uribante

	C-K	O-K	S-K	Cu-K
Weight %				
Uribante No Magnética(1)_pt1	67.21	25.20	6.22	1.37
Uribante No Magnética(1)_pt2	65.76	26.17	6.45	1.62
Atom %				
Uribante No Magnética(1)_pt1	75.76	21.32	2.63	0.29
Uribante No Magnética(1)_pt2	74.62	22.29	2.74	0.35

La Figura 4.11 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción magnética del río Uribante. La figura 4.11 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.11A, se observa que el Carbono (C) y el oxígeno (O) representan los mayores valores de conteos por segundos. A pesar de que aparece un pico de valores de azufre (S), ese valor es un ruido o artefacto producto del esmalte con el cual fueron recubiertas las muestras. Como este valor es frecuente en todos los análisis por microscopía, no se hará énfasis en describir ese elemento en los resultados siguientes. La Figura 4.11 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la figura 4.11A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.11B indicando que se trata del mismo grano.



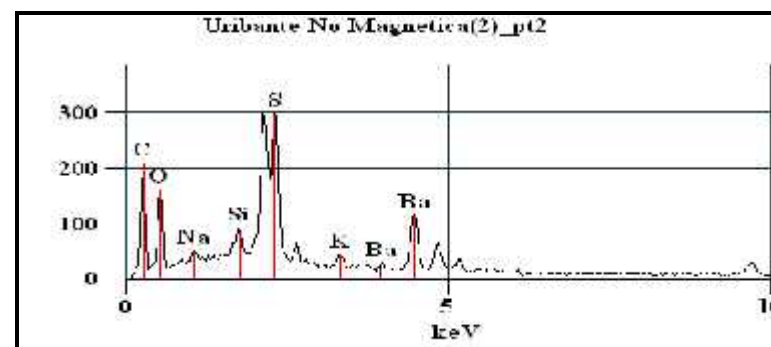
(A)



(B)



(D)



(C)

Figura 4. 11. *Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Uribante magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.*

Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.11 B y C son resumidos en la tabla 4.11.

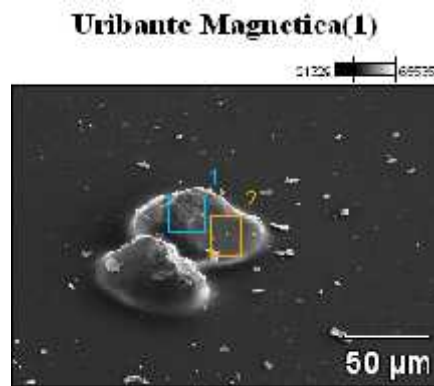
Tabla 4.11 Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Uribante.

	C-K	O-K	Na-K	Al-K	Si-K	S-K	Cl-K	K-K	Mn-K	Ba-L
Weight %										
<i>Uribante No Magnética(2)_pt1</i>	60.10	15.65		0.70	1.44	6.63	1.27	0.96	0.07	13.17
<i>Uribante No Magnética(2)_pt2</i>	43.39	18.20	1.68		2.41	10.57		1.35		22.40
Atom %										
<i>Uribante No Magnética(2)_pt1</i>	77.90	15.23		0.40	0.80	3.22	0.56	0.38	0.02	1.49
<i>Uribante No Magnética(2)_pt2</i>	66.45	20.93	1.34		1.58	6.07		0.63		3.00

4.3.1.2 Muestra Uribante Magnético (1.2 amp).

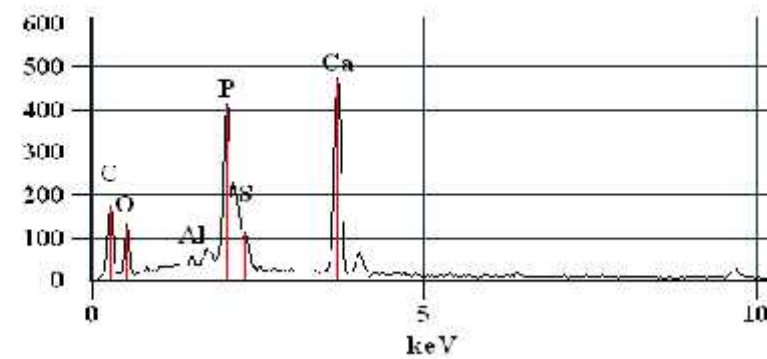
La Figura 4.12 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción magnética del río Uribante. La figura 4.12 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.12A, se observa que el Carbono (C) y el oxígeno (O) representan los mayores valores de conteos por segundos. A pesar de que aparece un pico de valores de azufre (S), ese valor es un ruido o artefacto producto del

esmalte con el cual fueron recubiertas las muestras. Cómo este valor es frecuente en todos los análisis por microscopía, no se hará énfasis en describir ese elemento en los resultados siguientes. La Figura 4.12 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la figura 4.12A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.12B indicando que se trata del mismo grano.



(A)

Full scale counts: 470 Uribante Magnética(1) p11



(B)

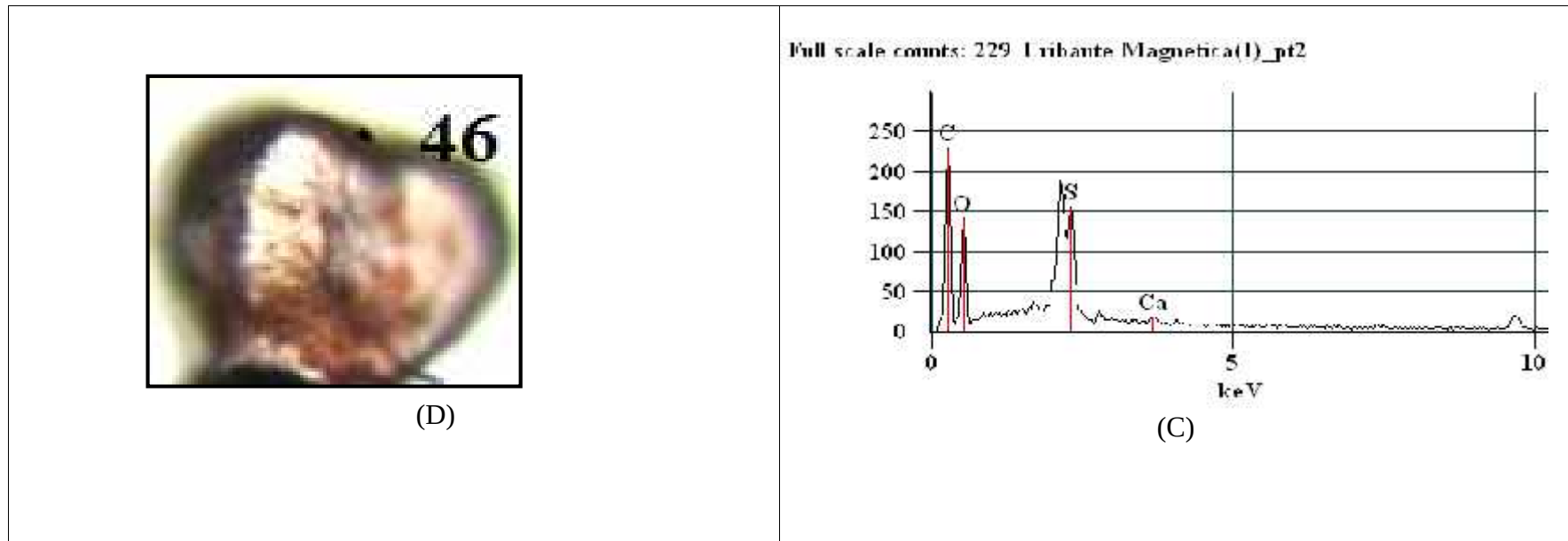


Figura 4.12. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Caparo magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.12 B y C son resumidos en la tabla 4.12.

Tabla 4.12 Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Uribante.

	C-K	O-K	Al-K	P-K	S-K	Ca-K
Weight %						
Uribante Magnetica(1)_pt1	45.00	20.71	0.61	10.46	2.68	20.54
Uribante Magnetica(1)_pt2	66.01	26.55			6.81	0.63
Atom%						
Uribante Magnetica(1)_pt1	62.47	21.59	0.38	5.63	1.39	8.55
Uribante Magnetica(1)_pt2	74.44	22.47			2.88	0.21

La Figura 4.13 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción magnética del río Uribante. La figura 4.13 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.13A, se observa que el Carbono (C) y el oxígeno (O) representan los mayores valores de conteos por segundos. A pesar de que aparece un pico de valores de azufre (S), ese valor es un ruido o artefacto producto del esmalte con el cual fueron recubiertas las muestras. Cómo este valor es frecuente en todos los análisis por microscopía, no se hará énfasis en describir ese elemento en los resultados siguientes. La Figura 4.13 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la figura 4.13A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.13B indicando que se trata del mismo grano.

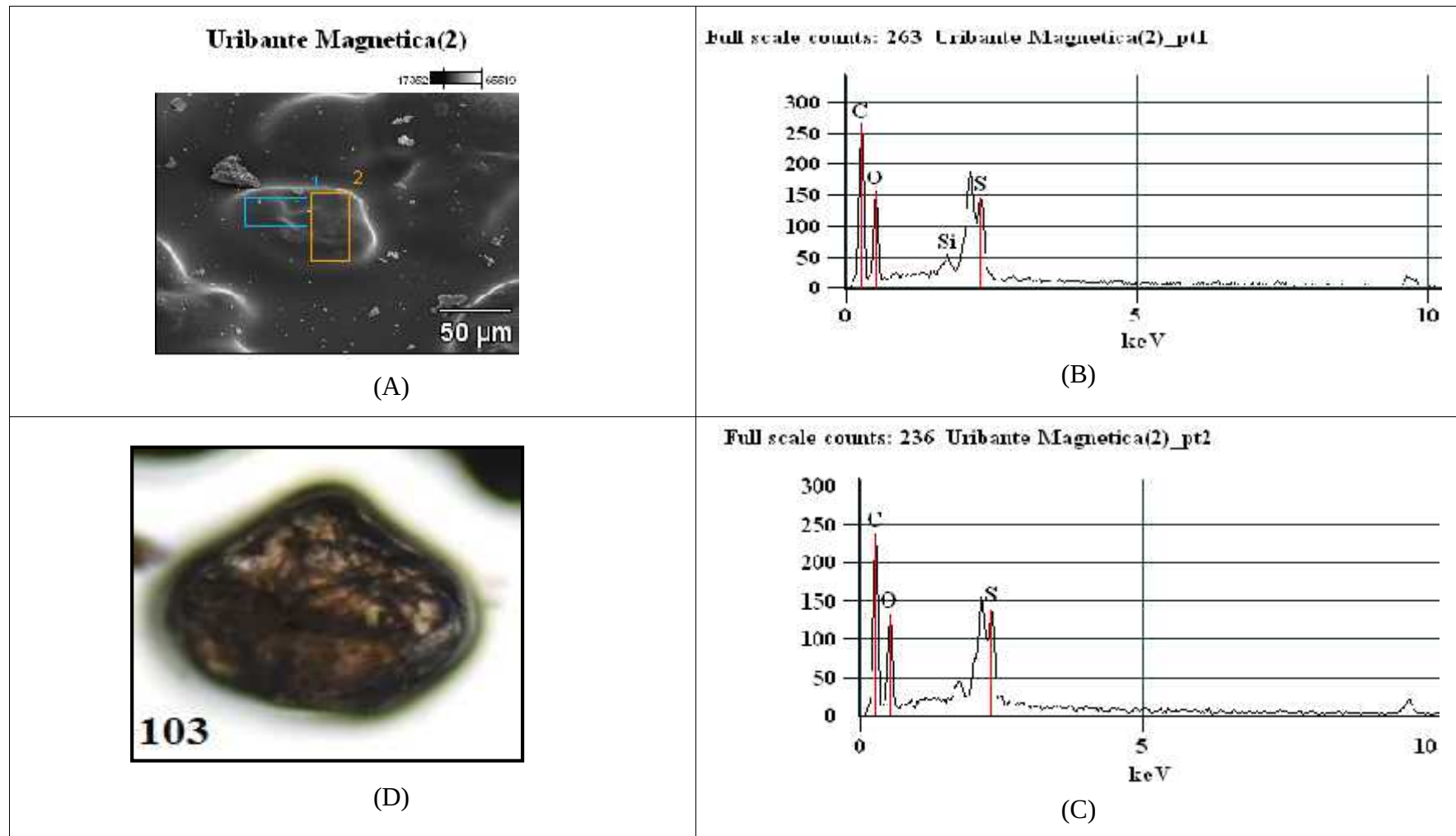


Figura 4.13. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Uribante magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.13 B y C se encuentran resumidos en la tabla 4.13.

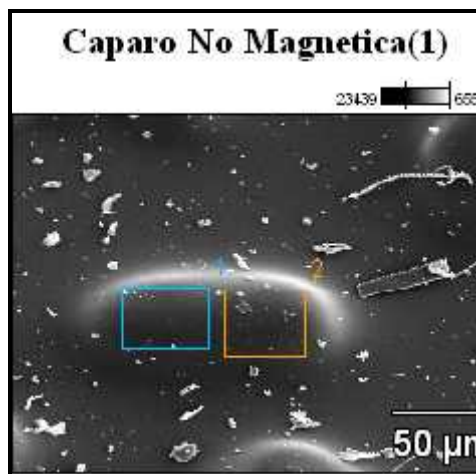
Tabla 4.13 Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Uribante.

	C-K	O-K	Si-K	S-K
Weight %				
Uribante Magnética(2)_ pt1	67.49	25.77	1.15	5.60
Uribante Magnética(2)_ pt2	67.74	26.59		5.67
Atom %				
Uribante Magnética(2)_ pt1	75.48	21.63	0.55	2.35
Uribante Magnética(2)_ pt2	75.42	22.22		2.36

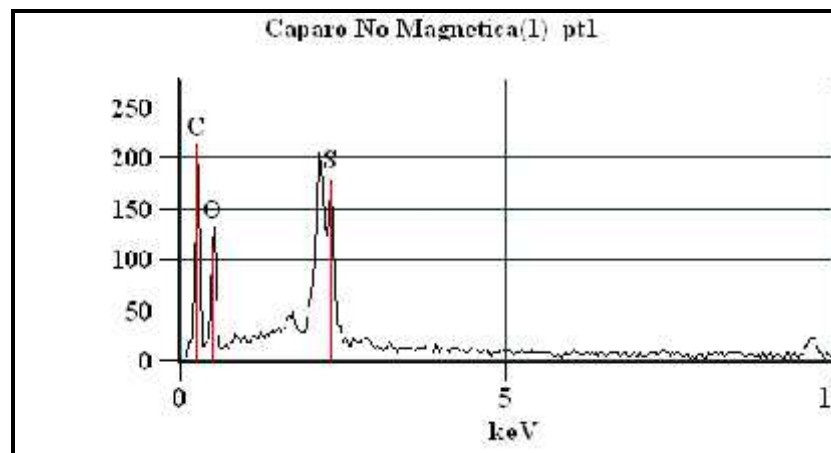
4.3.2 RÍO CAPARO

4.3.2.1 Muestra Caparo No Magnético

La Figura 4.14 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción no magnética del río Caparo. La figura 4.14 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.14A, se observa que el Carbono (C) y el oxígeno (O) representan los mayores valores de conteos por segundos. La Figura 4.14 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la Figura 4.14A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.14B indicando que se trata del mismo grano.



(A)



(B)

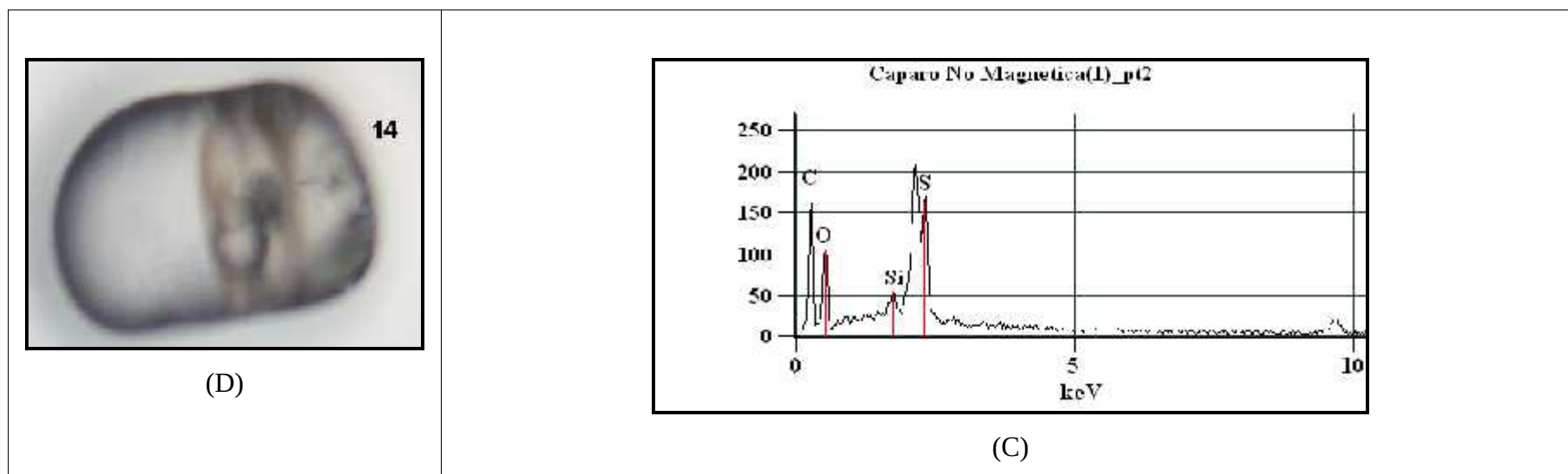


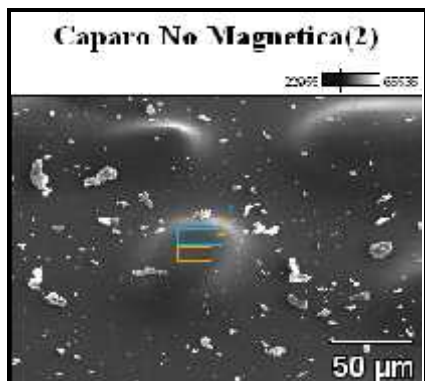
Figura 4. 14. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Caparo magnético. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. D)Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.14B y C son resumidos en la tabla 4.14.

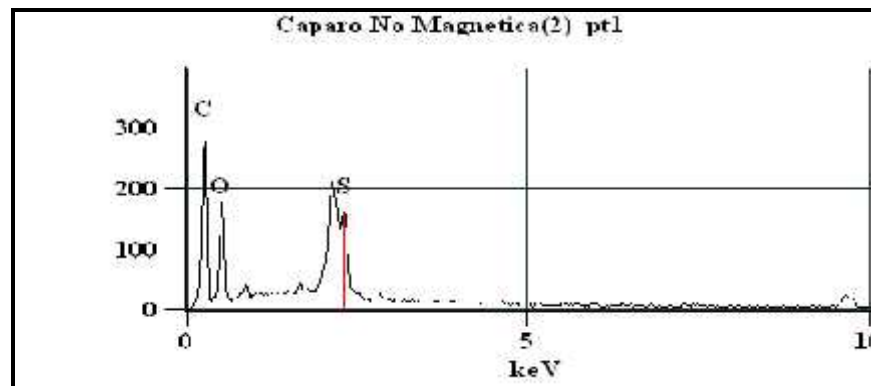
Tabla 4.14 Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Caparo.

	C-K	O-K	Si-K	S-K
Weight %				
Caparo No Magnética(1)_pt1	67.23	25.28		7.49
Caparo No Magnética(1)_pt2	66.60	24.21	1.62	7.57
Atom %				
Caparo No Magnética(1)_pt1	75.53	21.32		3.15
Caparo No Magnética(1)_pt2	75.43	20.58	0.78	3.21

La Figura 4.15 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción no magnética del río Caparo. La figura 4.15 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.15A, se observa que el Carbono (C) y el oxígeno (O) representan los mayores valores de conteos por segundos. La Figura 4.15 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la Figura 4.15A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.15B indicando que se trata del mismo grano.



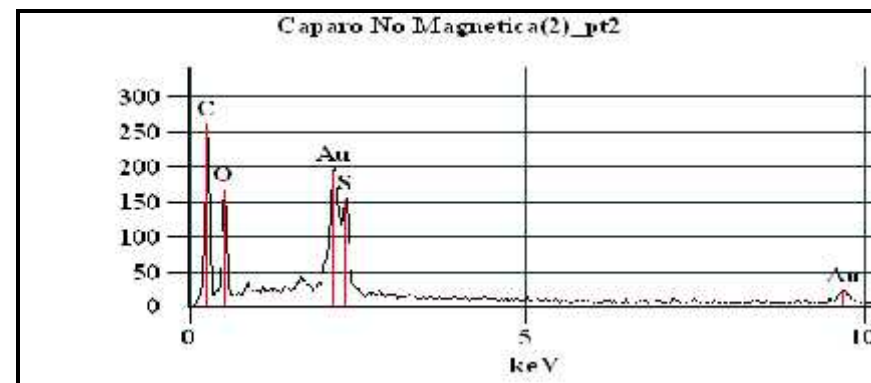
(A)



(B)



(D)



(C)

Figura 4. 15. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Caparo no magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. (D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

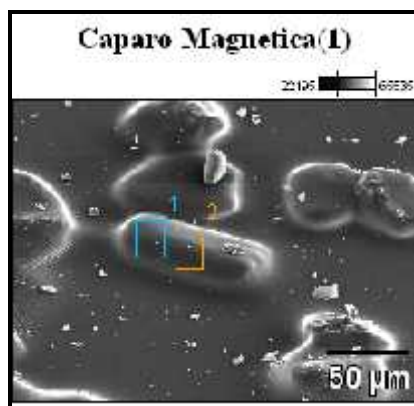
Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.15B y C son resumidos en la tabla 4.15.

Tabla 4.15 Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción no magnética de Caparo.

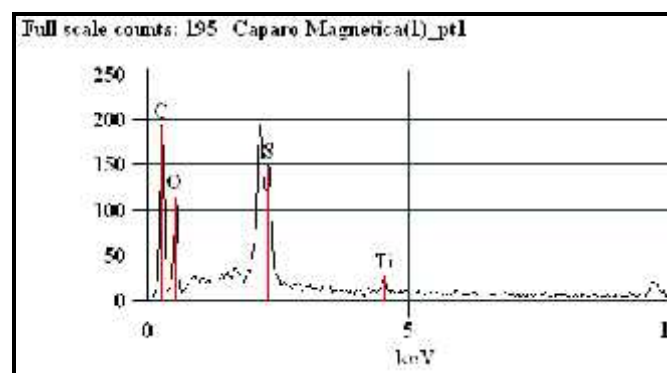
	C-K	O-K	S-K	Au-L
Weight %				
Caparo No Magnética(2)_pt1	66.55	27.93	5.52	
Caparo No Magnética(2)_pt2	42.53	21.88	5.94	29.65
Atom %				
Caparo No Magnética(2)_pt1	74.29	23.40	2.31	
Caparo No Magnética(2)_pt2	67.52	26.08	3.54	2.87

4.3.2.2 Muestra Caparo Magnético (1.2 amp).

La Figura 4.16 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción magnética del río Caparo. La figura 4.16 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.16A, se observa que el Carbono (C) y el oxígeno (O) representan los mayores valores de conteos por segundos. A pesar de que aparece un pico de valores de azufre (S), ese valor es un ruido o artefacto producto del esmalte con el cual fueron recubiertas las muestras. Cómo este valor es frecuente en todos los análisis por microscopía, no se hará énfasis en describir ese elemento en los resultados siguientes. La Figura 4.16 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la figura 4.16A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.16B indicando que se trata del mismo grano.



(A)



(B)

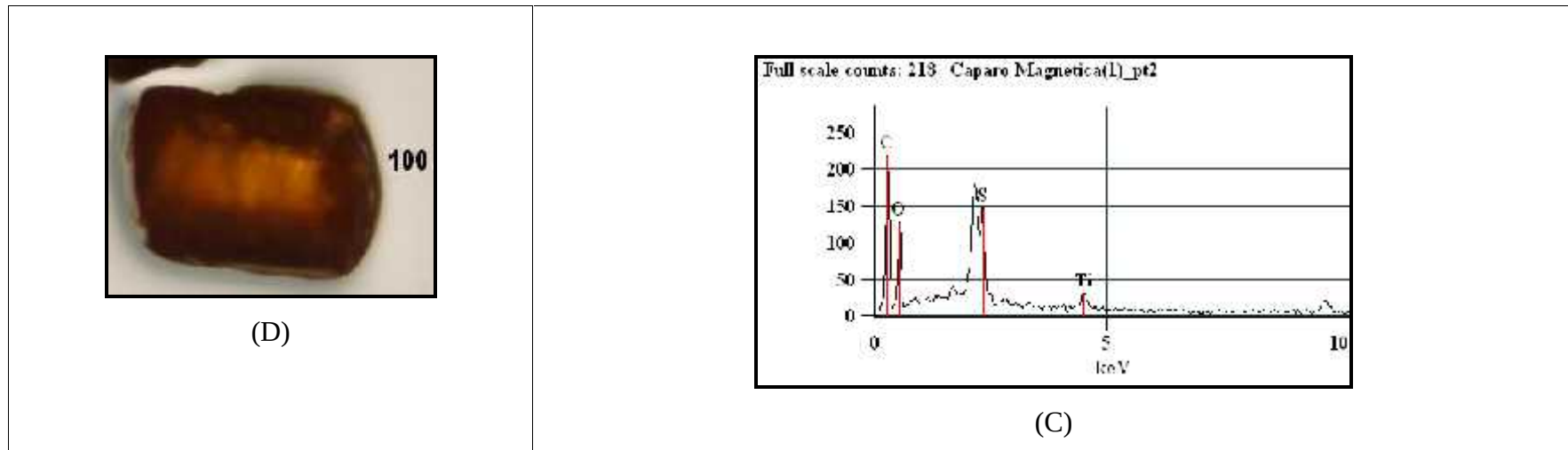


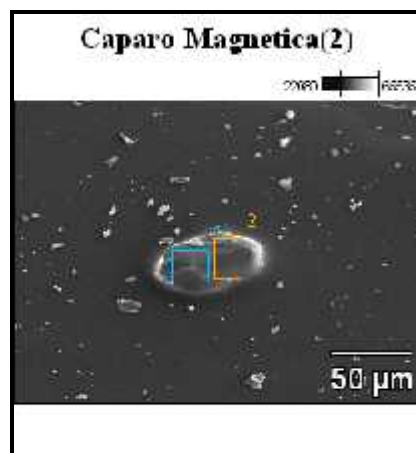
Figura 4. 16. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Caparo magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. (D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.16B y C son resumidos en la tabla 4.16.

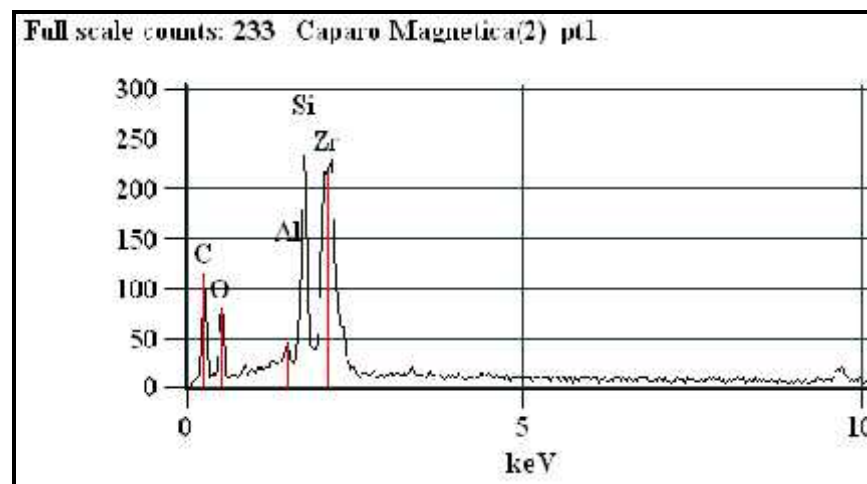
Tabla 4.16 Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Caparo.

	C-K	O-K	S-K	Ti-K
Weight %				
Caparo Magnética(1)_pt1	67.05	25.13	6.87	0.95
Caparo Magnética(1)_pt2	66.51	24.82	6.55	2.12
Atom%				
Caparo Magnética(1)_pt1	75.57	21.26	2.90	0.27
Caparo Magnética(1)_pt2	75.47	21.14	2.78	0.60

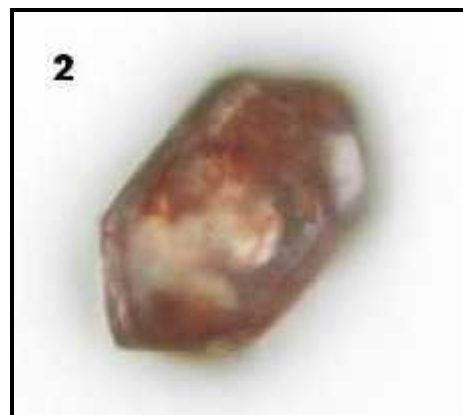
La Figura 4.17 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción magnética del río Caparo. La figura 4.17 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.17A, se observa que el Silicio (Si) y el Circón (Zr) representan los mayores valores de conteos por segundos. La Figura 4.17 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la Figura 4.17A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.17B indicando que se trata del mismo grano.



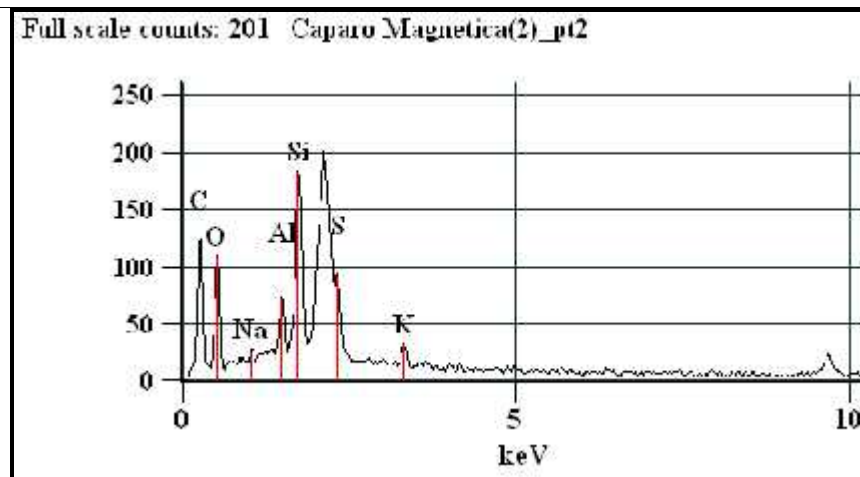
(A)



(B)



(D)



(C)

Figura 4. 17. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Caparo magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal.(D)Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.17B y C son resumidos en las tabla 4.17.

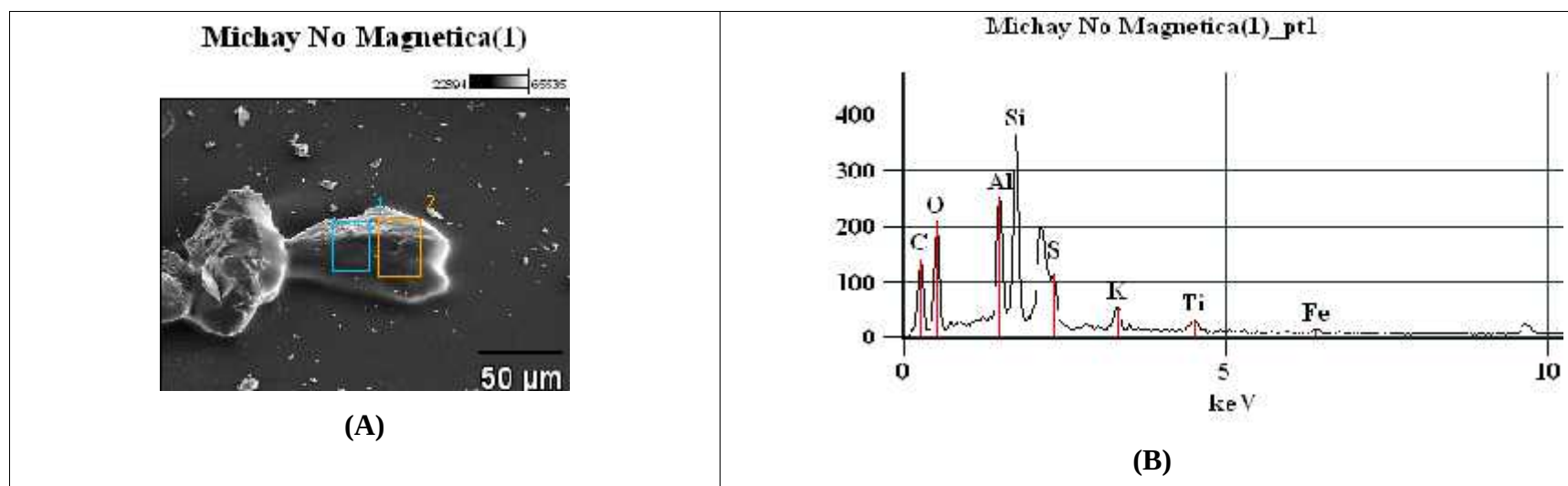
Tabla 4.17 Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de **Caparo**.

	C-K	O-K	Na-K	Al-K	Si-K	S-K	K-K	As-K	Zr-L
Weight %									
<i>Caparo Magnética(2)_pt1</i>	53.43	16.20		1.17	6.84			1.86	20.50
<i>Caparo Magnética(2)_pt2</i>	60.82	24.34	1.11	2.17	6.24	4.46	0.85		
Atom%									
<i>Caparo Magnética(2)_pt1</i>	74.21	16.89		0.72	4.06			0.41	3.75
<i>Caparo Magnética(2)_pt2</i>	71.35	21.44	0.68	1.13	3.13	1.96	0.31		

4.3.3 RIO MICHAY

4.3.3.1 Muestra Michay No Magnético

La Figura 4.18 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción no magnética del río Michay. La figura 4.18 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.18A, se observa que el Silicio (Si) y el Aluminio (Al) representan los mayores valores de conteos por segundos. La Figura 4.18 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la Figura 4.18A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.18B indicando que se trata del mismo grano.



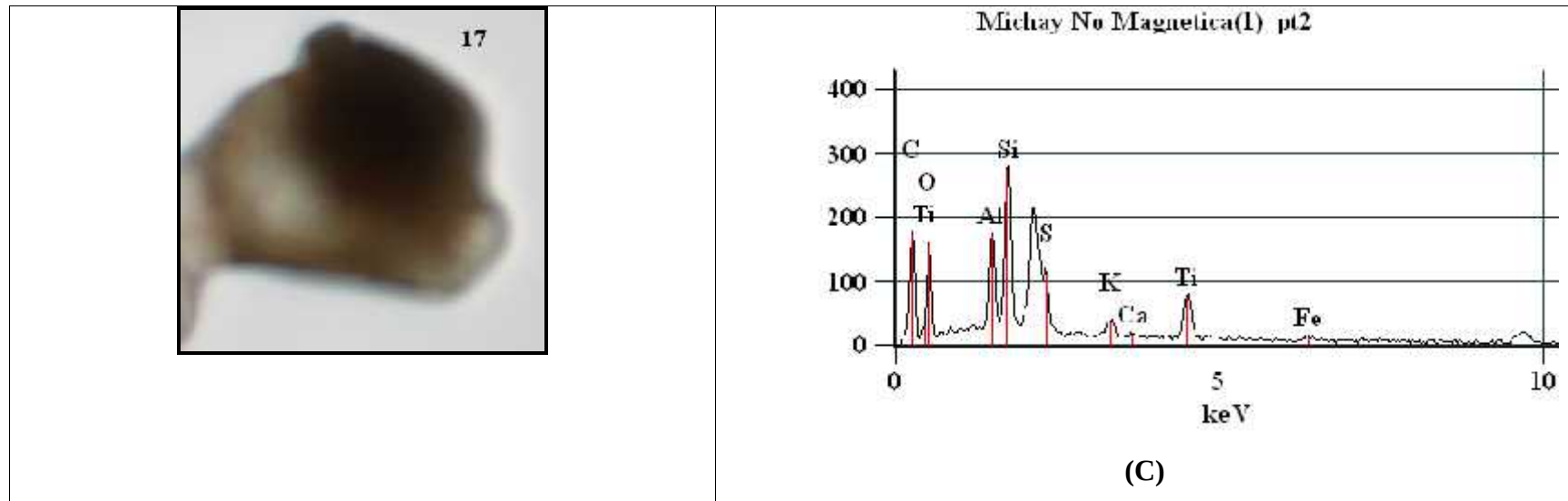


Figura 4. 18. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Michay no magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. (D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

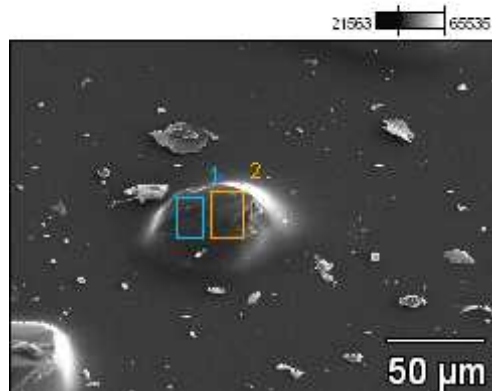
Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.18B y C son resumidos en las tabla 4.18.

Tabla 4.18 Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción no magnética de Michay.

	<i>C-K</i>	<i>O-K</i>	<i>Al-K</i>	<i>Si-K</i>	<i>S-K</i>	<i>K-K</i>	<i>Ca-K</i>	<i>Ti-K</i>	<i>Fe-K</i>
				Weight %					
<i>Michay No Magnética(1)_pt1</i>	43.70	29.05	6.74	11.13	4.62	2.37		1.55	0.84
<i>Michay No Magnética(1)_pt2</i>	48.66	25.67	4.29	7.54	4.64	1.46	0.25	6.86	0.62
				Atom %					
<i>Michay No Magnética(1)_pt1</i>	57.28	28.59	3.93	6.24	2.27	0.95		0.51	0.24
<i>Michay No Magnética(1)_pt2</i>	63.04	24.217	2.48	4.22	2.25	0.58	0.10	2.23	0.17

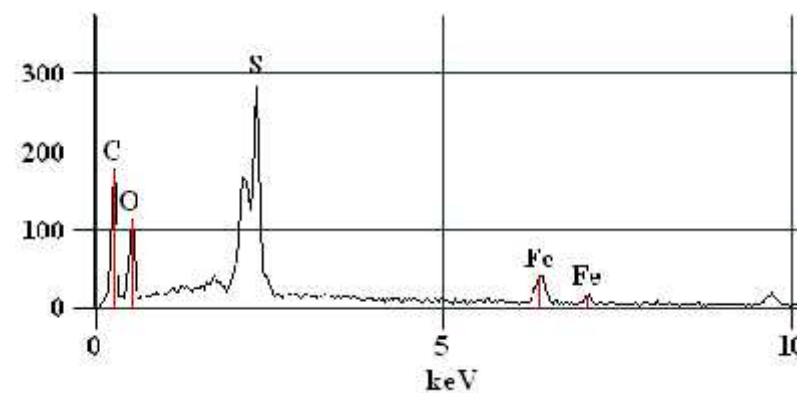
La Figura 4.19 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción no magnética del río Michay. La figura 4.19 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.19A, se observa que el Carbono (C) y el Silicio (Si) representan los mayores valores de conteos por segundos. La Figura 4.19 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la Figura 4.19A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.19B indicando que se trata del mismo grano.

Michay No Magnetica(2)



(A)

Michay No Magnetica(2)_pt1

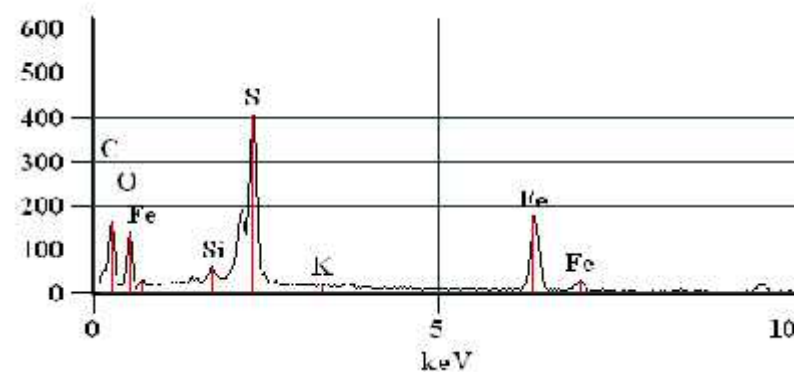


(B)



(D)

Michay No Magnetica(2)_pt2



(C)

Figura 4. 19. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Michay no magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. (D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.19B y C son resumidos en la tabla 4.19.

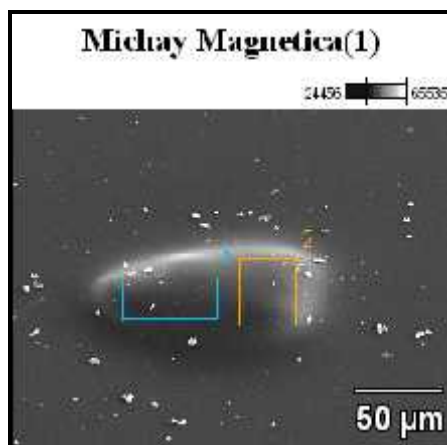
Tabla 4.19 Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción no magnética de Michay.

	C-K	O-K	Si-K	S-K	K-K	Fe-K
Weight %						
Michay No Magnética(2)_pt1	63.92	18.92		11.07		6.09
Michay No Magnética(2)_pt2	44.89	14.217	1.17	13.24	0.36	25.36
Atom %						
Michay No Magnética(2)_pt1	76.48	16.99		4.216		1.57
Michay No Magnética(2)_pt2	66.84	16.74	0.74	7.39	0.17	8.12

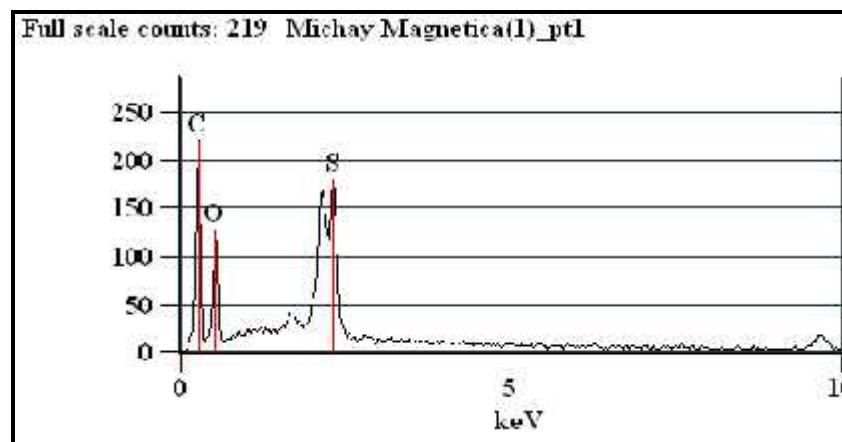
4.3.3.2 Muestra Michay Magnético (1.2amp).

La Figura 4.20 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción magnética del río Michay. La figura 4.20 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.20A, se observa que el Carbono (C) y el oxígeno (O) representan los mayores valores

de conteos por segundos. La Figura 4.20 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la Figura 4.20A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.20B indicando que se trata del mismo grano.



(A)



(B)

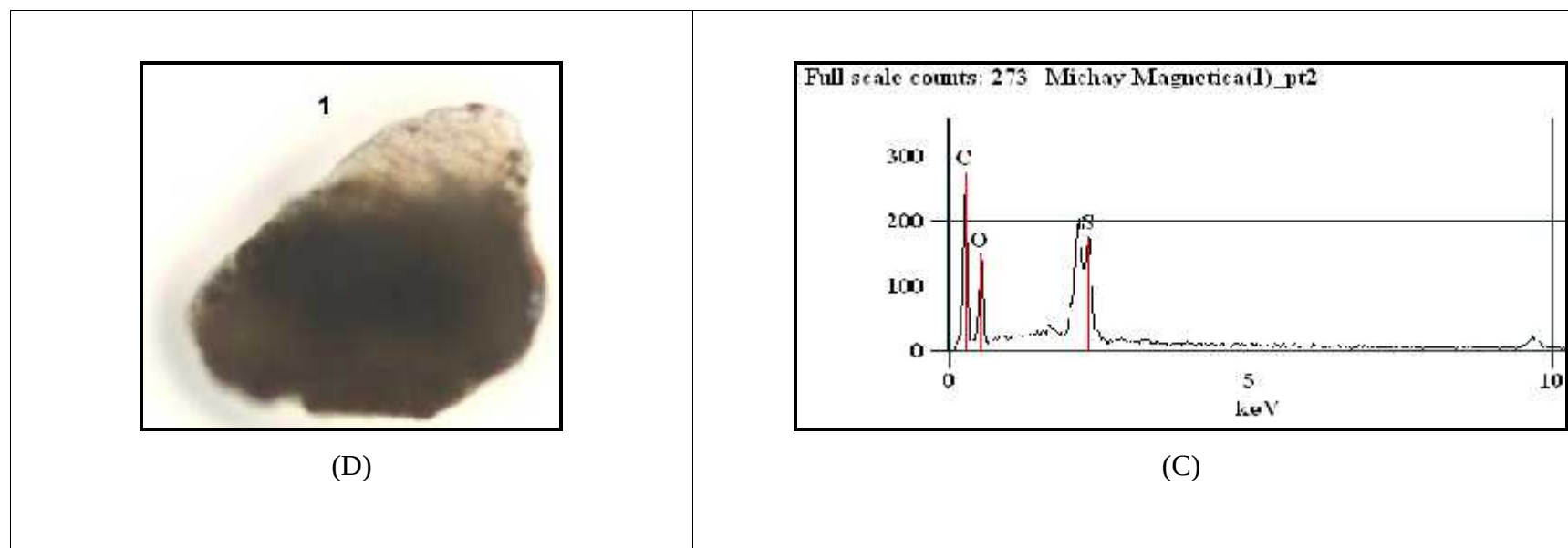


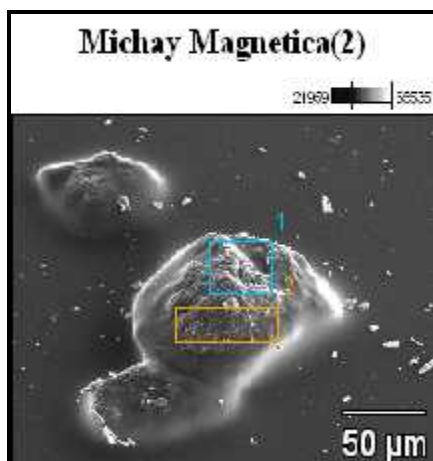
Figura 4.20. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Michay magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. (D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.20B y C son resumidos en las tabla 4.20.

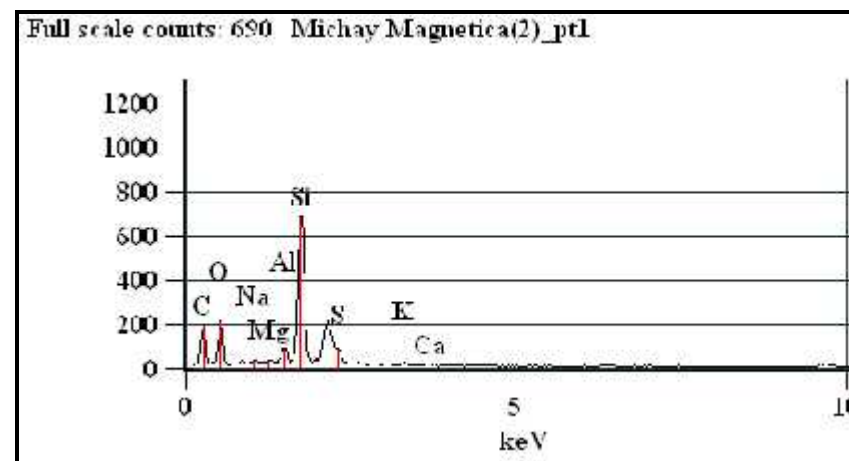
Tabla 4.20 Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Michay.

	C-K	O-K	S-K
	Weight %		
Michay Magnética(1)_pt1	66.78	25.74	7.48
Michay Magnética(1)_pt2	67.87	25.84	6.29
	Atom %		
Michay Magnética(1)_pt1	75.11	21.74	3.15
Michay Magnética(1)_pt2	75.73	21.64	2.63

La Figura 4.21 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción magnética del río Michay. La figura 4.21 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.21A, se observa que el Silicio (Si) y el Aluminio (Al) representan los mayores valores de conteos por segundos. La Figura 4.21 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la Figura 4.21A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.21B indicando que se trata del mismo grano.



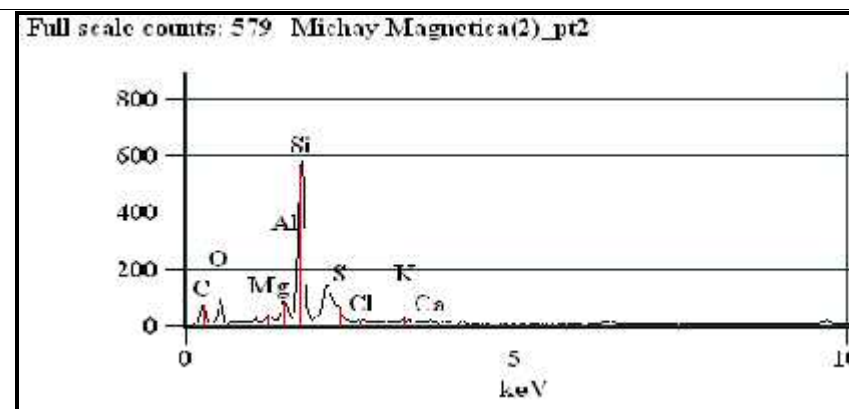
(A)



(B)



(D)



(C)

Figura 4.21. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Michay magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. (D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

Figura 4.22. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Michay magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. (D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

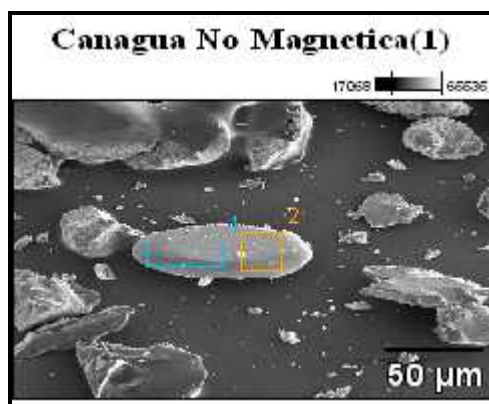
Tabla 4.21. Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal de la muestra Michay magnética. Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.21B y C son resumidos en la tabla 4.21.

	C-K	O-K	Na-K	Mg-K	Al-K	Si-K	S-K	Cl-K	K-K	Ca-K
Weight %										
Michay Magnética(2)_pt1	50.52	25.74	1.47	0.76	1.90	15.69	2.96		0.57	0.39
Michay Magnética(2)_pt2	50.89	19.35		0.85	2.78	20.18	3.75	0.63	0.78	0.78
Atom %										
Michay Magnética(2)_pt1	63.20	24.21	0.96	0.47	1.06	8.39	1.39		0.22	0.15
Michay Magnética(2)_pt2	65.41	18.67		0.54	1.59	11.09	1.81	0.28	0.31	0.30

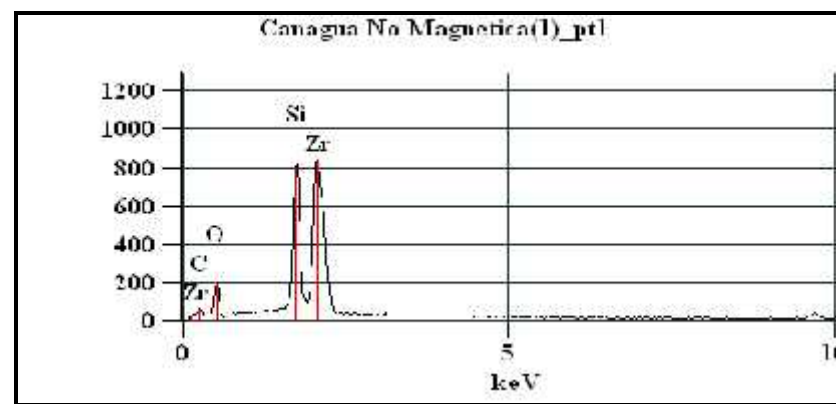
4.3.4 RIO CANAGUÁ

4.3.4.1 Muestra Canaguá No Magnético

La Figura 4.22 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción no magnética del río Canaguá. La figura 4.22 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.22A, se observa que el Silicio (Si) y el Circón (Zr) representan los mayores valores de conteos por segundos. La Figura 4.22 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la Figura 4.22A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.22B indicando que se trata del mismo grano.



(A)



(B)

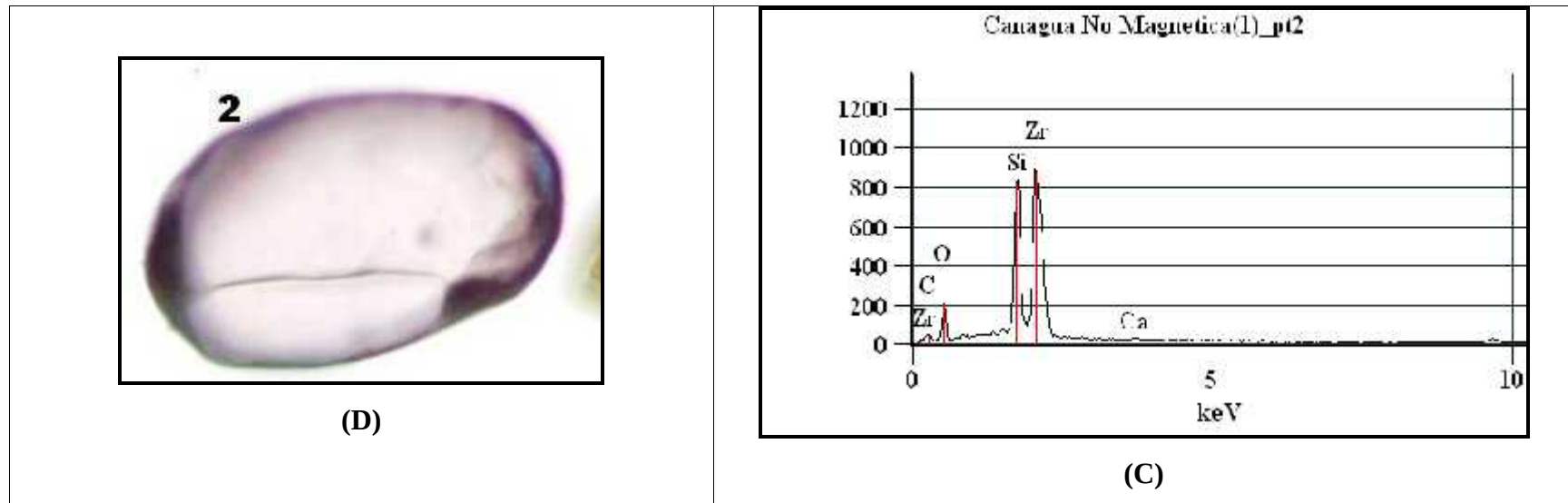


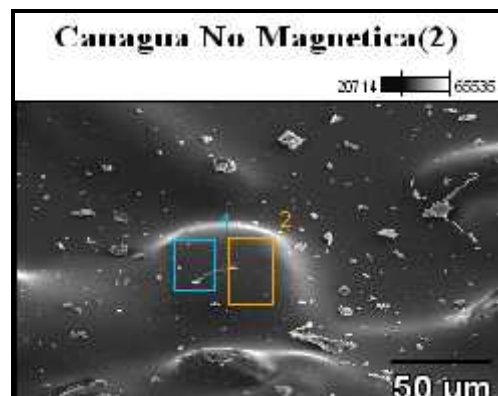
Figura 4.23. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Canagua no magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. (D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.22B y C son resumidos en la tabla 4.22.

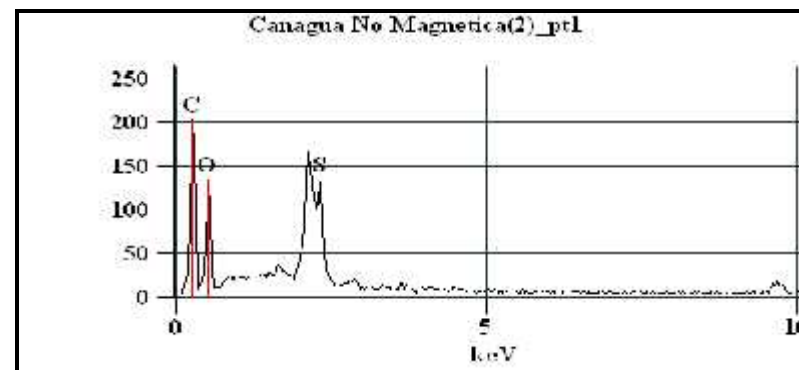
Tabla 4.22 Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Canaguá.

	<i>C-K</i>	<i>O-K</i>	<i>Si-K</i>	<i>Ca-K</i>	<i>Zr-L</i>
Weight %					
<i>Canaguá No Magnética(1)_pt1</i>	26.27	19.35	12.79		41.59
<i>Canaguá No Magnética(1)_pt2</i>	21.29	20.95	13.64	0.09	44.03
Atom %					
<i>Canaguá No Magnética(1)_pt1</i>	50.77	28.07	10.57		10.58
<i>Canaguá No Magnética(1)_pt2</i>	43.74	32.31	11.98	0.06	11.91

La Figura 4.23 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción no magnética del río Canaguá. La figura 4.23 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.23A, se observa que el Carbono (C) y el oxígeno (O) representan los mayores valores de conteos por segundos. La Figura 4.23 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la Figura 4.23A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.23B indicando que se trata del mismo grano.



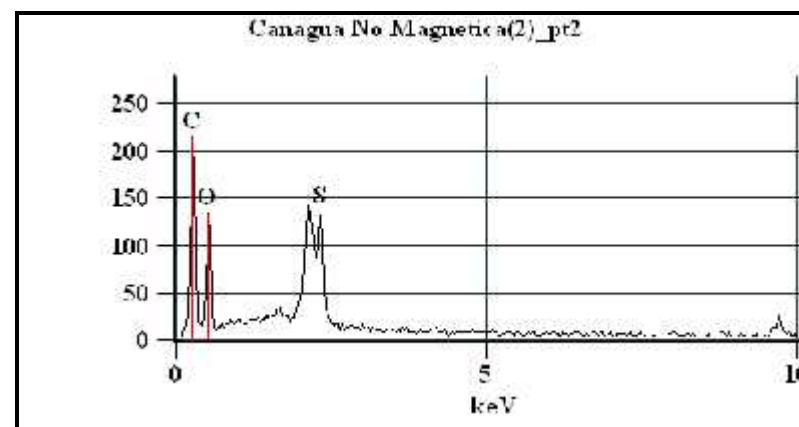
(A)



(B)



(D)



(C)

Figura 4.24. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Canaguá no magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. (D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.23B y C son resumidos en la tabla 4.23.

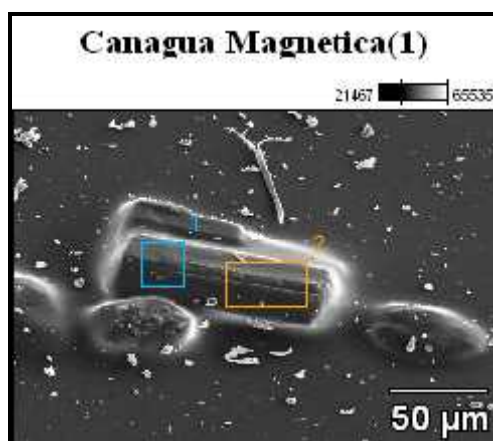
Tabla 4.23 Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Canaguá.

	<i>C-K</i>	<i>O-K</i>	<i>S-K</i>
Weight %			
<i>Canaguá No Magnética(2)_pt1</i>	65.75	28.42	5.83
<i>Canaguá No Magnética(2)_pt2</i>	65.81	28.25	5.93
Atom %			
<i>Canaguá No Magnética(2)_pt1</i>	73.65	23.90	2.45
<i>Canaguá No Magnética(2)_pt2</i>	73.74	23.77	2.49

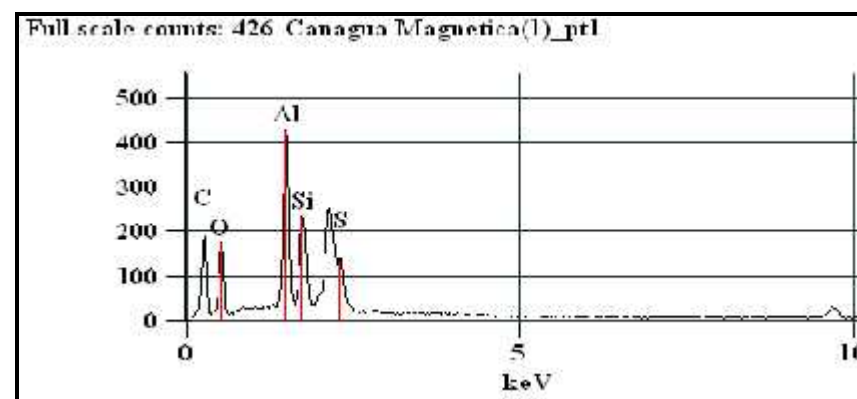
4.3.4.2 Muestra Canaguá Magnético (1.2 amp).

La Figura 4.24 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción no magnética del río Canaguá. La figura 4.24 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.24A, se observa que el Aluminio (Al) representa los mayores valores de conteos

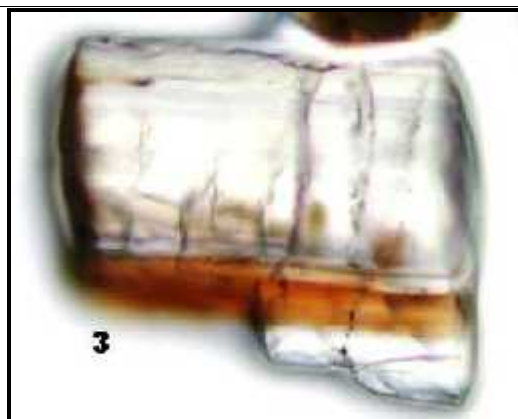
por segundos. La Figura 4.24 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la Figura 4.24A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.24B indicando que se trata del mismo grano.



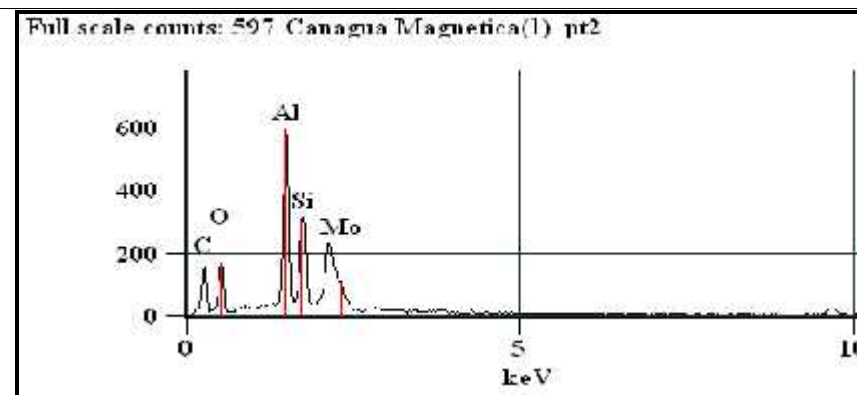
(A)



(B)



(D)



(C)

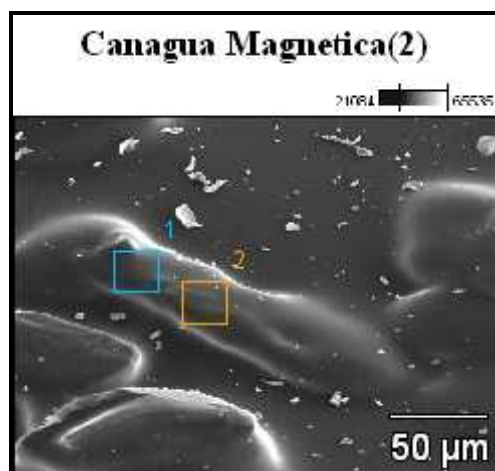
Figura 4.25. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Canaguá magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. (D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.24B y C son resumidos en la tabla 4.24.

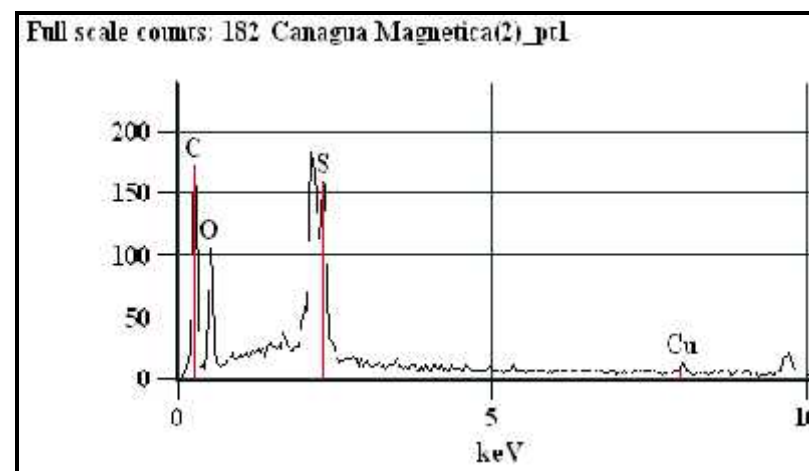
Tabla 4.24 Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Canaguá.

	<i>C-K</i>	<i>O-K</i>	<i>Al-K</i>	<i>Si-K</i>	<i>S-K</i>	<i>Mo-L</i>
Weight %						
<i>Canaguá Magnética(1)_pt1</i>	61.03	21.68	8.28	5.05	3.97	
<i>Canaguá Magnética(1)_pt2</i>	53.10	21.62	12.12	7.17		5.99
Atom %						
<i>Canaguá Magnética(1)_pt1</i>	72.11	19.23	4.36	2.55	1.76	
<i>Canaguá Magnética(1)_pt2</i>	67.61	20.67	6.87	3.90		0.96

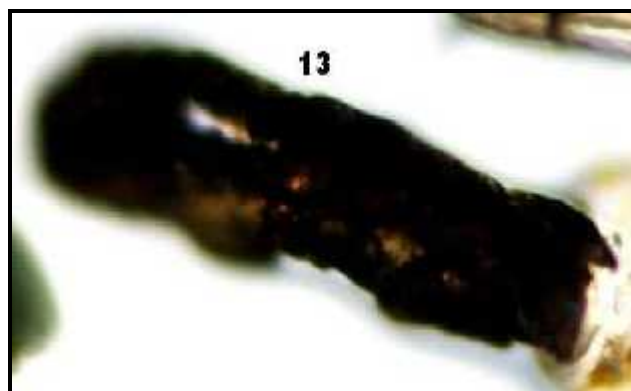
La Figura 4.25 A muestra los granos analizados por microscopía electrónica de barrido para un cristal de la fracción no magnética del río Canaguá. La figura 4.25 C representa los valores de la composición química arrojada por el microscopio para la zona denotada como 1 en la Figura 4.25A, se observa que el Carbono (C) y el oxígeno (O) representan los mayores valores de conteos por segundos. La Figura 4.25 C representa los valores arrojados para el punto 2 de la Figura 4.25A, esta figura arroja los mismos resultados que en la Figura 4.25B indicando que se trata del mismo grano.



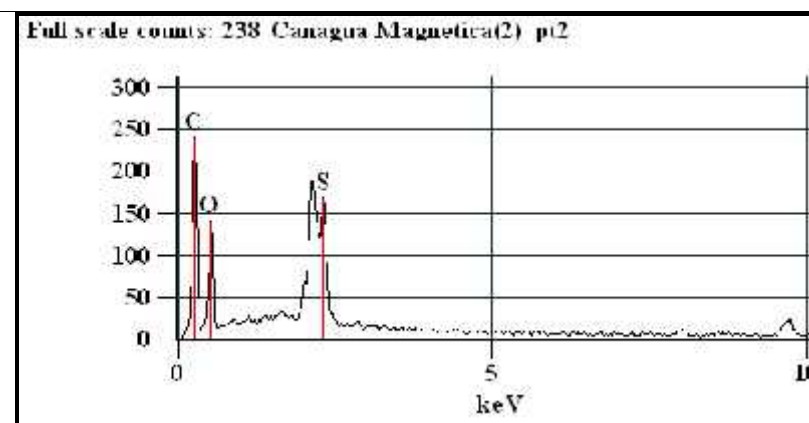
(A)



(B)



(D)



(C)

Figura 4.26. Resultados de la microscopía electrónica para un cristal de la muestra Canaguá magnética. A) zonas del cristal analizado. B) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 1 del cristal. C) Valores porcentuales en cps (conteos por segundo) para la zona 2 del cristal. (D) Imagen del cristal analizado en el microscopio polarizante bajo nícoles paralelos.

Los resultados porcentuales mostrados en las Figuras 4.25B y C son resumidos en la tabla 4.25.

Tabla 4.25 Valores porcentuales para las dos zonas del cristal perteneciente a la fracción magnética de Canaguá.

	C-K	O-K	S-K	Cu-K
Weight %				
<i>Canaguá Magnética(2)_pt1</i>	66.06	25.19	7.90	0.85
<i>Canaguá Magnética(2)_pt2</i>	67.74	25.76	6.50	
Atom %				
<i>Canaguá Magnética(2)_pt1</i>	74.219	21.47	3.36	0.18
<i>Canaguá Magnética(2)_pt2</i>	75.67	21.61	2.72	

Tabla 4.26. Resultados obtenidos a través del Análisis de Microscopia Electrónica.

Nombre de Muestra	Nombre
<i>Uribante No Magnético (1)</i>	Cuprita
<i>Uribante No Magnético (2)</i>	Sin identificar
<i>Uribante Magnético (1)</i>	Cluorapatito
<i>Uribante Magnético (2)</i>	Cuarzo
<i>Caparo No Magnético (1)</i>	Cuarzo
<i>Caparo No Magnético(2)</i>	No se puede identificar
<i>Caparo Magnético (1)</i>	Rutilo
<i>Caparo Magnético(2)</i>	Circón
<i>Michay No Magnético (1)</i>	Sin identificar
<i>Michay No Magnético (2)</i>	Magnetita
<i>Michay Magnético (1)</i>	Cuarzo
<i>Michay Magnético (2)</i>	Rutilo
<i>Canaguá No Magnético (1)</i>	Circón
<i>Canaguá No Magnético (2)</i>	Sin identificar
<i>Canaguá Magnético (1)</i>	Sillimanita
<i>Canaguá Magnético (2)</i>	Cuprita

4.4. ANÁLISIS DIGITAL DEL TERRENO

4.4.1 Atributos Primarios

La Tabla 4.27 ilustra el área de cada una de las cuencas estudiadas, y los valores mínimos, máximos, promedios, desviación estándar y mediana para cada una de las cuencas analizadas. La cuenca con mayor área corresponde a Caparo de 3329,83 km², en donde se concentran los sitios de mayor pendiente, el valor promedio de esta para la cuenca es de 19,42°±9,62°, y su valor de elevación promedio es de 1279,65±784,81 metros, seguida en extensión por la cuenca del río Canaguá con 522,57 km², el valor promedio de pendiente para esta cuenca es de 21,96 °±11,05° y su elevación promedio es de 1981,59±1301,44 metros, siendo de las cuencas estudiadas la que mayor elevación posee. La cuenca del río Michay en Barinas, y la del Uribante en el estado Táchira poseen áreas similares (92,67 y 92,10 km²), la cuenca del río Michay es la que posee mayores valores de pendiente 22,36°±8,68°, y su elevación promedio es de 1063,59±502,05 metros. La cuenca del Uribante se sitúa en la parte plana del piedemonte, por esta razón, sus valores de pendiente promedio son de 0,73°±0,67°, y su elevación promedio es de 198,66±7,00 metros.

Tabla 4.27. Valores estadísticos para pendiente y elevación registrados en las cuencas estudiadas

Cuenca	Área (km ²)	Pendiente (°)				Elevación (m)				
		mi n	max	medi a	desv. Est	mi n	max	media	desv. Est	Median a
Caparo	3329,83	0	70,1 3	19,42	9,62	175	375 0	1279,6 5	784,81	1186
Canaguá	522,57	0	69,2 3	21,96	11,05	207	450 5	1981,5 9	1301,44	1869
Michay	92,57	0	49,2 1	22,36	8,68	244	248 6	1063,5 9	502,05	1073
Uribante	92,10	0	4,76	0,73	0,67	183	221	198,66	7,00	198

En la Figura 4.26 se muestra el mapa de pendientes para cada una de las cuencas estudiadas.

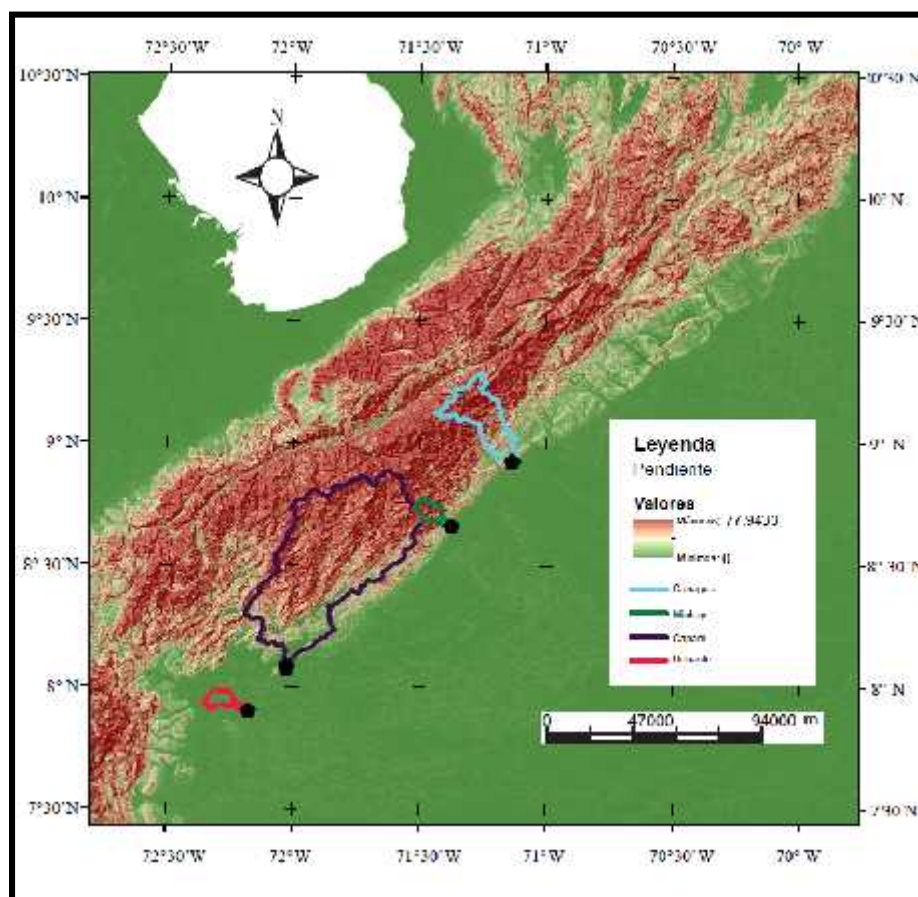


Figura 4.27. Mapa de pendientes a lo largo de los Andes Venezolanos

En la Figura 4.27 se presenta un mapa de elevación para Los Andes de Venezuela y se muestra el área que denota cada una de las cuencas analizadas.

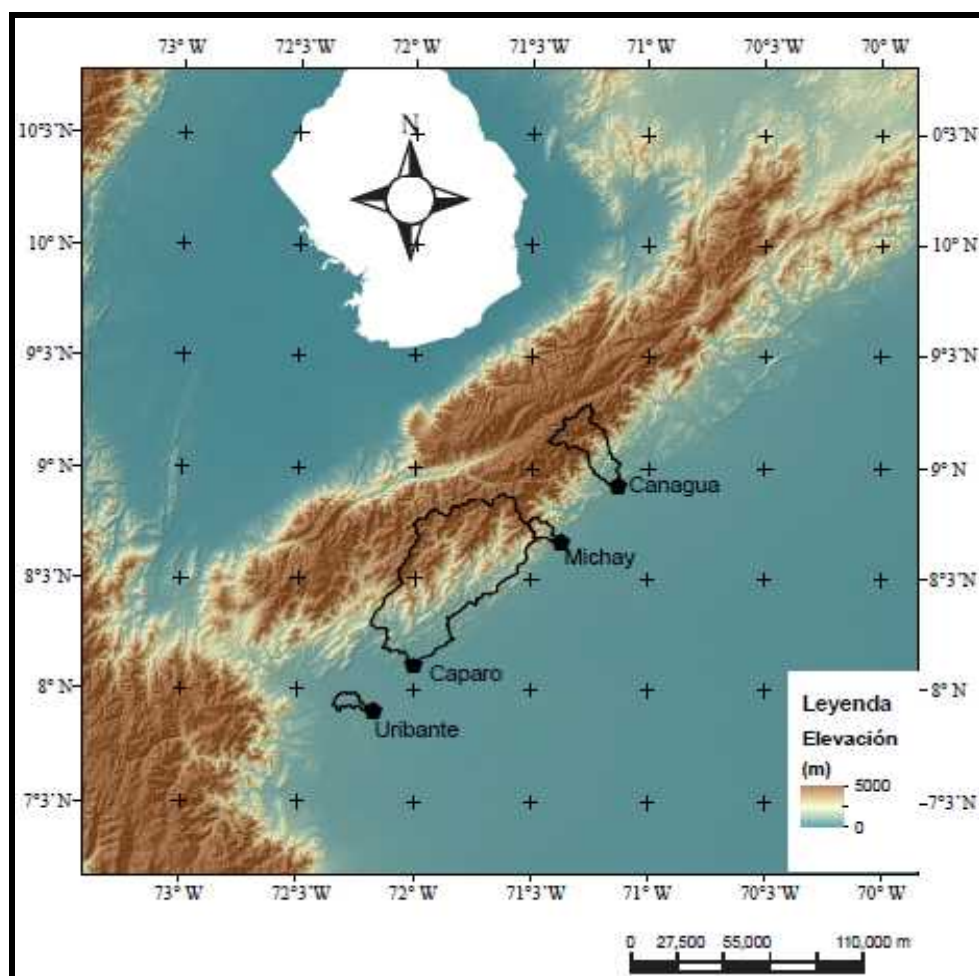


Figura 4.28. Mapa de elevaciones (resolución 90m.) a lo largo de los Andes de Venezuela

4.4.2 Atributos Secundarios

La Tabla 4.28 resume los valores estadísticos obtenidos de los cálculos de relieve para cada una de las cuencas analizadas, los mayores relieves promedios a 1, 3, 5 y kilómetros son registrados en la cuenca del río Michay con $344,93 \pm 162,18$, $690,64 \pm 262,81$ $1035,39 \pm 286,45$ $1335,53 \pm 279,63$ metros, respectivamente. Seguida por la cuenca del río Canaguá con valores de $332,70 \pm 194,09$ $655,00 \pm 359,12$ $990,53 \pm 493,24$ $1257,93 \pm 585,17$ metros respectivamente. En la cuenca del río Caparo se registran relieves de $302,75 \pm 159,13$, $588,02 \pm 283,30$ $834,33 \pm 387,12$ y $1008,74 \pm 431,08$ metros para 1,3,5 y 7 kilómetros de radio respectivamente. La cuenca que posee menores valores de relieve es la del Uribante con apenas $9,75 \pm 4,25$, $14,94 \pm 3,95$, $18,75 \pm 4,17$ y $29,94 \pm 22,10$ metros.

La Figura 4.28 ilustra el relieve a 5 Km. calculado para el flanco sur andino, en donde se encuentran cada una de las cuencas analizadas. Nótese en esa figura que la cuenca del río Michay se encuentra en drenando un sitio de máximo relieve, mientras que la del Uribante se encuentra en el piedemonte, en un sitio de relieve plano.

Tabla 4.28. *Valores estadísticos del relieve calculado a radios de 1,3,5 y 7 kilómetros.*

Cuenca	Relieve 1 Km. de radio					Relieve 3 Km. de radio					Relieve 5 Km. de radio					Relieve 7 Km. de radio				
	Min	max	media	desv. Est	mediana	min	max	media	desv. Est	mediana	min	max	media	desv. Est	mediana	min	max	media	desv. Est	mediana
Caparo	0	958	302,75	159,13	299	0	1526	588,02	283,30	583	0	2312	834,33	387,12	816	0	2434	1008,74	431,08	994
Canaguá	0	1063	332,70	194,09	298	0	1941	655,00	359,12	605	36	2399	990,53	493,24	958	67	2687	1257,93	585,17	1236
Michay	0	842	344,93	162,18	337	2	1395	690,64	262,81	718	2	1657	1035,39	286,45	1073	372	1922	1335,53	279,63	1367
Uribante	0	20	9,75	4,25	10	0	25	14,94	3,95	15	1	92	18,75	4,17	19	6	129	29,94	22,10	24

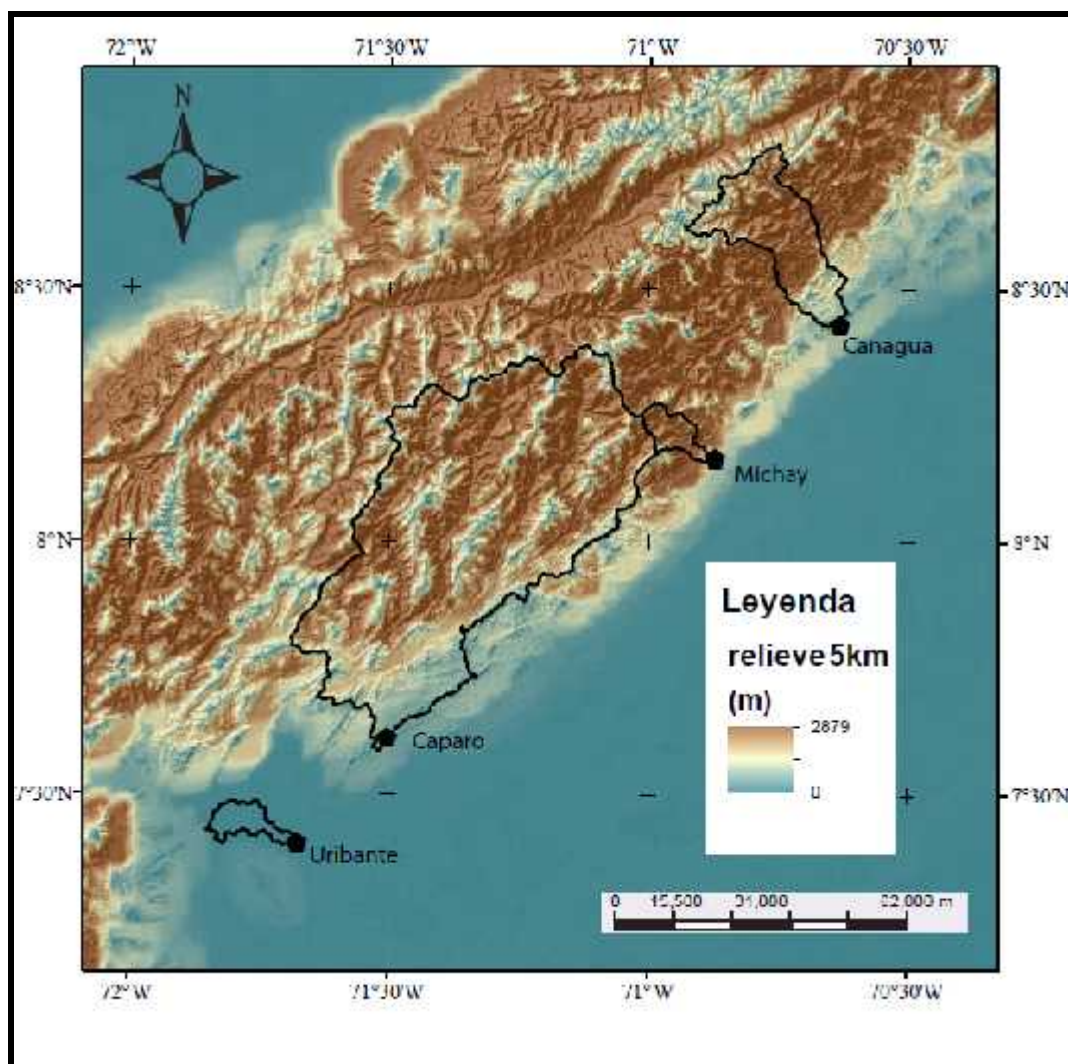


Figura 4.229. Mapa de relieve calculado usando un radio de 5 Km.

Antes de calcular los otros atributos secundarios del terreno conocidos como índices de humedad, capacidad de transporte de sedimentos e índices de erosión, es necesario, mostrar la tasa de precipitación promedio anual obtenida durante el período 1998-2009 registrada por la NASA en su misión TRMM 2B31, y compilados por el Dr. Bodo Bookhagen (2014) de la Universidad de Santa Bárbara, California, una de las ventajas de este modelo TRMM, es que ha sido calibrado con estaciones que miden el caudal de agua en diversos sitios de Suramérica excepto en Venezuela, por lo que se realizó una extrapolación de los datos obtenidos en Colombia y Brasil. Así la Tabla 4.29 resume los valores de precipitación encontrados para cada una de las cuencas de estudio en este

trabajo. En esta tabla se observa que la cuenca del río Michay es la que posee mayores de precipitación anual promedio de $300,12 \pm 69,57$ metros, seguido por las cuencas de Canaguá con $207,55 \pm 97,93$, Caparo $203,56 \pm 56,98$ y Uribante con $180,74 \pm 20,06$ metros respectivamente.

Tabla 4.29 Valores de precipitación anual promedio registrados en cada cuenca según el modelo TRMM 2B31 para el período 1998-2009. (Bookhagen 2014)

Cuenca	PRECIPITACIÓN			
	min	Máx	media	Desv. Est
Caparo	70,18	353,31	203,56	56,98
Canaguá	25,36	379,15	207,55	97,93
Michay	185,70	375,31	300,12	69,57
Uribante	158,84	212,26	180,74	20,06

La Figura 4.29 representa el mapa de precipitaciones a lo largo del flanco sur andino, nótese que el mayor valor de precipitación se encuentra en la cuenca del río Michay, mientras que los menores valores se registran en la cuenca del río Uribante.

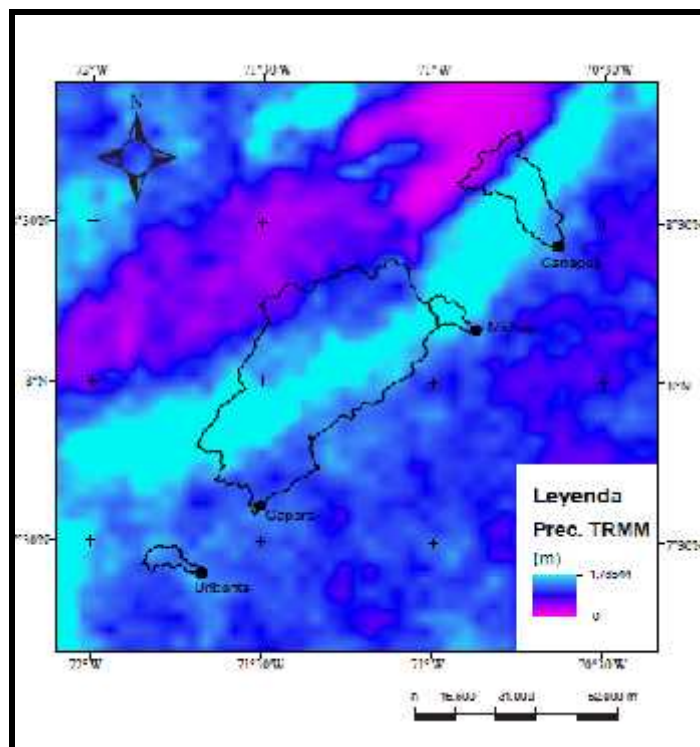


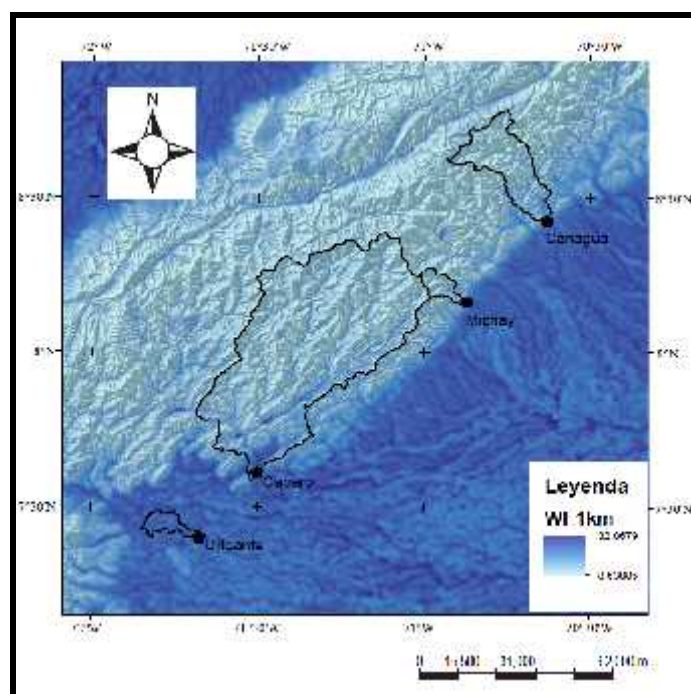
Figura 4.30. Mapa de precipitaciones anuales promedio derivado del modelo TRMM 2B31 para el período 1998-2009

Los índices de humedad son calculados usando la expresión: $WI = \ln(A/\tan S)$, donde A es el área de drenaje y S es la pendiente, la cual fue calculada en % y multiplicada por 100 para que esta no presentara unidades, es decir, que fuese adimensional. Cuando no se considera precipitación, se dice que esta es uniforme y se denota este atributo como WI. Los valores de precipitación mostrados anteriormente fueron empleados para calcular los índices de humedad con precipitación (WIP). Así, la Tabla 4.30 resume los valores de índice de humedad obtenidos para cada una de las cuencas analizadas, los valores promedios para casi todas las cuencas oscilan entre 11,54 y 11,83, siendo la cuenca del río Uribante la que registra mayores valores de índice de humedad promedio de $15,85 \pm 0,49$, cuando es tomada en cuenta el patrón de precipitaciones los índices aumentan a valores entre 18,61 y 19,21. Sin embargo la cuenca del Uribante es la que posee el mayor valor correspondiente a $22,84 \pm 0,32$.

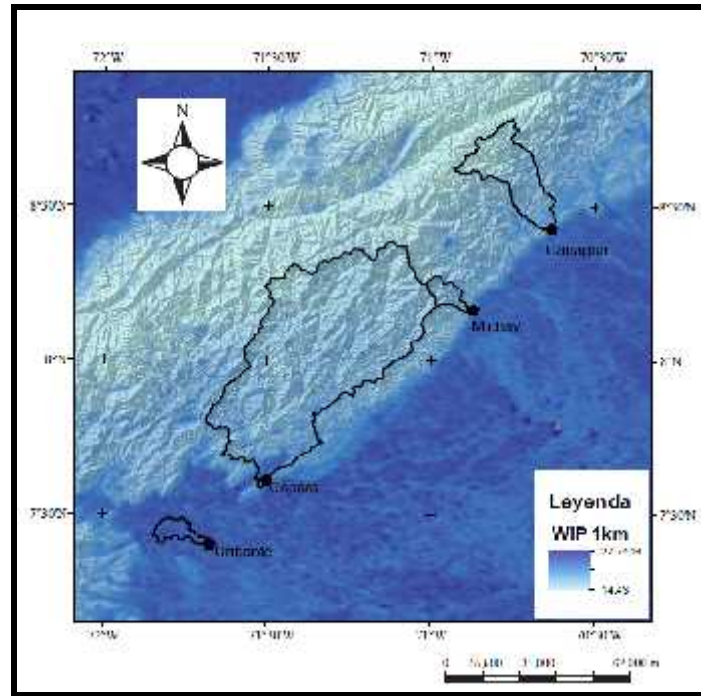
Tabla 4.30 Índices de humedad calculados para cada una de las cuencas con precipitación uniforme (WI) y con precipitación variable (WIP) según los TRMM.

Cuenca	WI				WIP			
	min	máx	Media	Desv. Est	min	máx	media	Desv. Est
Caparo	10,25	25,52	11,83	0,99	16,85	26,59	19,05	0,77
Canaguá	10,10	15,33	11,61	0,78	16,01	21,54	18,61	0,96
Michay	10,49	15,17	11,54	0,69	18,50	21,46	19,21	0,36
Uribante	14,43	17,29	15,85	0,49	21,81	23,83	22,84	0,32

En las Figuras 4.30 A y B se muestran los mapas de índice de humedad asumiendo precipitación uniforme y con precipitación variable.



(A)



(B)

Figura 4.31. Índice de humedad asumiendo: (A) Precipitación uniforme, (B) Precipitación variable usando los TRMM's

La capacidad de transporte de sedimentos es calculado según la expresión:

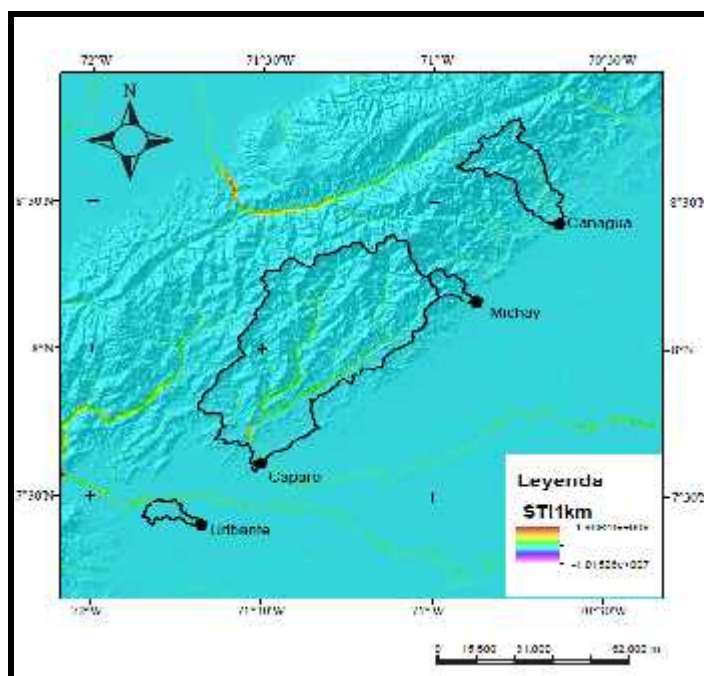
$$STI = 2 \times \left(\frac{A_s}{22,13} \right) \times \left(\frac{\text{sen}(S)}{0,0896} \right)$$

Donde A_s es el área de drenaje y S es la pendiente del terreno. La Tabla 4.31 resume los valores encontrados en cada una de las cuencas asumiendo precipitación uniforme y precipitación variable. Las cuencas que registran mayor transporte de sedimentos son la cuenca del Michay con $4.74\text{E}+07 \pm 7.45\text{E}+07$ y la del Uribante con $4.11\text{E}+07 \pm 2.04\text{E}+05$, las cuencas de los ríos Caparo y Canaguá, las cuales registran valores de $2.18\text{E}+05 \pm 6.60\text{E}+05$ y $1.03\text{E}+05 \pm 2.32\text{E}+05$. Cuando el patrón de precipitaciones es tomado en cuenta estos valores se hacen negativos, siendo la cuenca del Uribante la que registra una mayor capacidad de transporte de sedimentos de $4.41\text{E}+04 \pm 3.14\text{E}+05$.

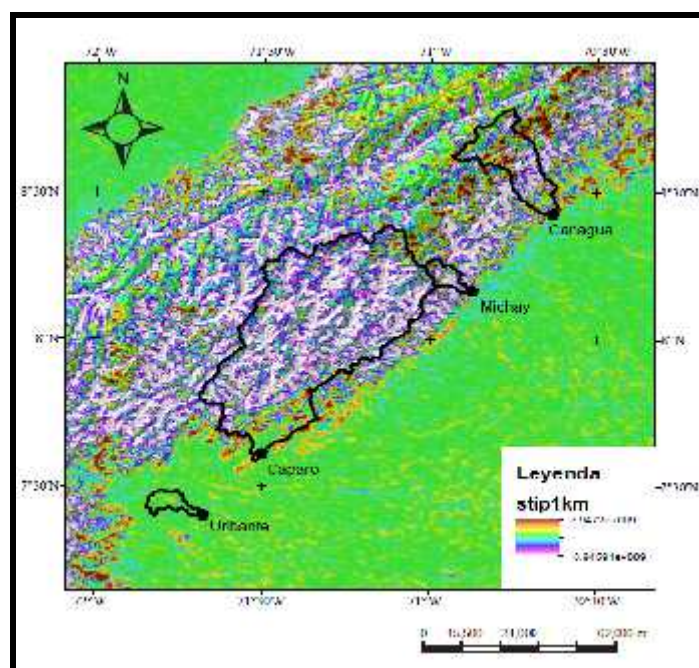
Tabla 4.31. *Capacidad de transporte de sedimentos calculada para cada una de las cuencas con precipitación uniforme (STI) y con precipitación variable (STIP) según los TRMM.*

Cuenca	STI				STIP			
	min	max	media	desv. Est	min	max	media	desv. Est
Caparo	-2.98E+05	1.10E+07	2.18E+05	6.60E+05	-1.42E+07	7.00E+06	-3.26E+06	2.96E+06
Canaguá	-1.20E+05	1.42E+06	1.03E+05	2.32E+05	-1.09E+07	6.92E+06	-1.17E+06	2.95E+06
Michay	-7.14E+03	3.98E+05	4.74E+07	7.45E+07	-1.32E+07	5.89E+06	-2.72E+06	3.62E+06
Uribante	2.54E+02	2.44E+06	4.11E+07	2.04E+05	-7.75E+05	1.07E+06	4.41E+04	3.14E+05

Las Figuras 4.32A y B representan los mapas de capacidad de transporte de sedimentos asumiendo precipitación uniforme y con precipitación variable. Nótese que para el caso de la figura 4.32A, que al considerar un patrón de precipitaciones uniforme los el río Caparo es el que posee la mayor capacidad de transporte de sedimentos. En la figura 4.32B se observa que la capacidad de transporte disminuye cuando se incorpora el patrón de precipitaciones, sin embargo llama la atención que en la parte superior de la cuenca del río Canaguá exhibe valores altos de capacidad de transporte de sedimentos, al igual que la parte baja de la cuenca del río Caparo.



(A)



(B)

Figura 4.32. Índice de humedad asumiendo: (A) Precipitación uniforme, (B) Precipitación variable usando los TRMM's

La tabla 4.32 resume los valores de índices de erosión total stream power (TSP), unit stream power (USP) y shear stream power (SSP) para precipitación uniforme y para precipitación variable tomando en cuenta el modelo de precipitaciones TRMM anteriormente mencionado, estos últimos son mostrados en la misma tabla y están representados por los valores sombreados en grises. Las unidades para estos índices de erosión son unidades de energía por unidad de tiempo, es decir, Joules/segundos.

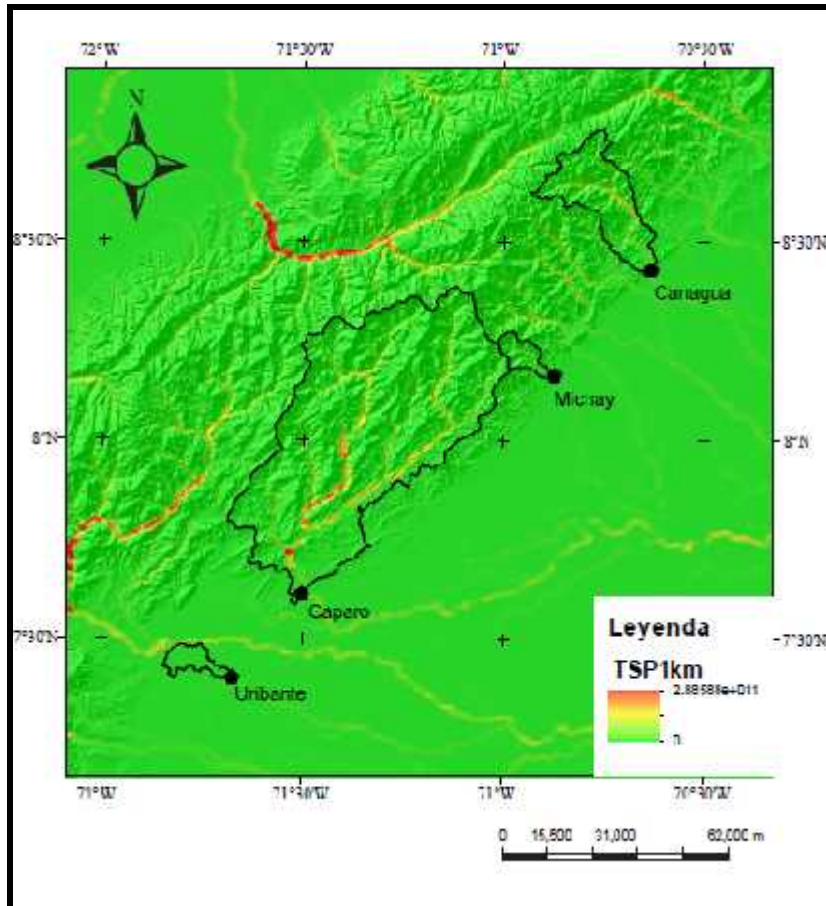
Los índices de erosión anteriormente presentados son mostrados en forma de mapas en las Figuras 4.32, 4.33 y 4.34. Nótese que en la parte derecha de cada una de estas figuras que los índices de erosión aumentan cuando se incorpora el valor de precipitación. Los valores obtenidos de TSP para cada cuenca ordenados de mayor a menor erosión son: $8.77\text{E}+07 \pm 7.20\text{E}+07$, $4.03\text{E}+05 \pm 6.68\text{E}+06$, $2.88\text{E}+05 \pm 3.25\text{E}+06$ y $1.13\text{E}+05 \pm 7.04\text{E}+05$, para los ríos Uribante, Caparo, Canaguá y Michay, respectivamente. Los valores de USP uniforme para las cuencas Caparo, Canaguá y Michay arrojan valores muy similares entre: $8.10\text{E}+07$ y $9.30\text{E}+07$, sin embargo la cuenca del río Uribante es la que posee menor valor de USP: $2.62\text{E}+06 \pm 9.40\text{E}+05$. Con respecto al índice SSP la cuenca del río Caparo y Canaguá presentan valores promedios similares entre $1.44\text{E}+07$ y $1.58\text{E}+07$, mientras que las cuencas de los ríos Michay y Uribante disminuyen un orden de magnitud ubicándose entre $1.22\text{E}+06$ y $1.58\text{E}+06$.

Cuando se comparan los valores resaltados en grises en esta tabla, los cuales corresponden a los valores de índices de erosión con precipitación variable, la cuenca del río Michay es la que posee mayor índice TSP con precipitación: $8.17\text{E}+07 \pm 3.39\text{E}+07$, las cuencas de los ríos Canaguá y Caparo poseen valores similares entre $5.00\text{E}+07$ a $5.36\text{E}+07$, el río Uribante posee los menores valores de TSP siendo de $1.49\text{E}+07$. Esta misma relación se mantiene para los índices de erosión USP con y sin precipitación variable, siendo el río Michay el que mayor tasa de erosión con precipitación tiene: $1.12\text{E}+06 \pm 4.31\text{E}+05$, seguido por los ríos Canaguá y Caparo con valores muy similares entre $7.73\text{E}+05$ y $8.27\text{E}+05$, mientras que la cuenca del río Uribante presenta la menor erosión USPP de $1.64\text{E}+04 \pm 5.00\text{E}+03$. Cuando el índice de erosión SSP es calculado estas relaciones se aproximan unas a otras, oscilando los valores entre $1.55\text{E}+02$ y

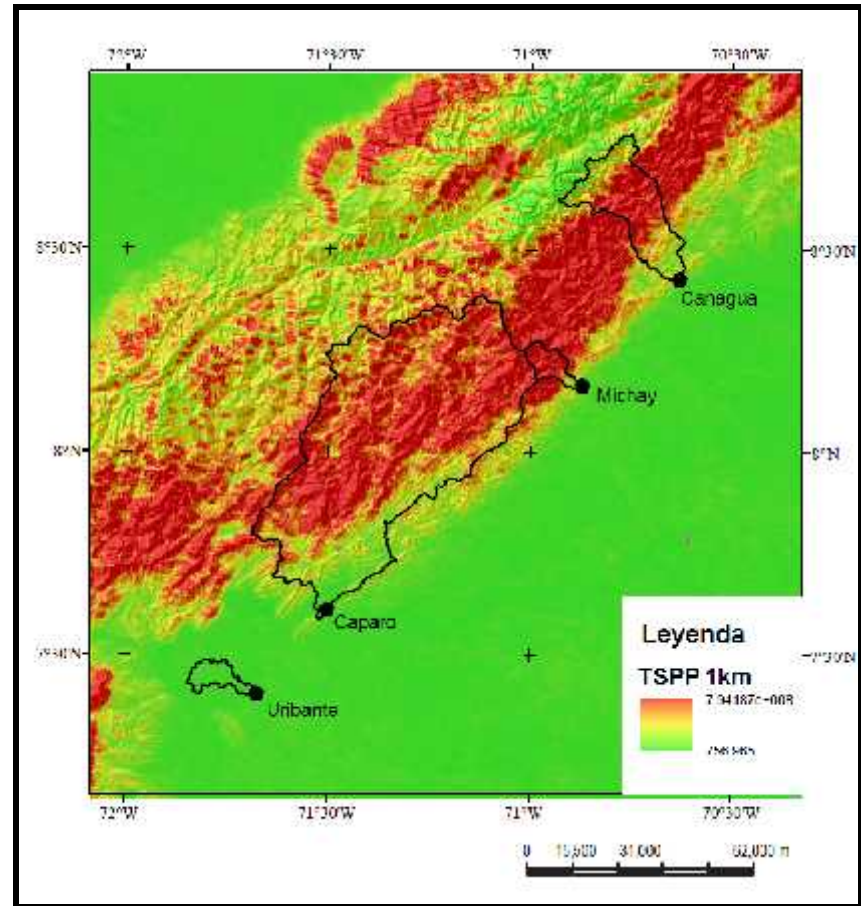
2.04E+02 para las cuencas Caparo, Canaguá y Michay, mientras que la cuenca del río Uribante presenta los menores valores de SSP con precipitación: $1.05\text{E}+01 \pm 3.01\text{E}+00$.

Tabla 4.32. Valores de índice de erosión para cada una de las cuencas con precipitación uniforme y con precipitación variable según los TRMM. TSP se refiere a Total stream power; USP es el unit stream power y SSP es el shear stream power, los valores resaltados en grises corresponden a estos mismos índices pero tomando en cuenta la precipitación.

Cuenca	TSP				USP				SSP			
	Min	Max	media	desv. Est	min	max	media	desv. Est	Min	Max	media	desv. Est
Caparo	0.00E+00	6.60E+08	4.03E+05	6.68E+06	0.00E+00	1.37E+07	8.10E+07	2.46E+07	0.00E+00	5.72E+07	1.44E+07	1.92E+07
	3.29E+05	1.92E+08	5.00E+07	2.40E+07	0.00E+00	2.24E+06	7.73E+05	3.42E+05	0.00E+00	4.55E+02	1.55E+02	6.26E+01
Canaguá	0.00E+00	1.83E+08	2.88E+05	3.25E+06	0.00E+00	1.12E+07	9.30E+07	2.51E+07	0.00E+00	5.01E+06	1.58E+07	2.06E+07
	1.68E+06	2.23E+08	5.36E+07	3.76E+07	7.14E+04	2.88E+06	8.27E+05	4.215E+05	1.70E+01	5.12E+02	1.62E+02	7.60E+01
Michay	0.00E+00	2.31E+07	1.13E+05	7.04E+05	0.00E+00	2.64E+07	8.42E+07	1.30E+07	0.00E+00	1.91E+07	1.58E+06	1.57E+07
	3.67E+06	1.60E+08	8.17E+07	3.39E+07	5.28E+04	2.02E+06	1.12E+06	4.31E+05	2.10E+01	4.19E+02	2.04E+02	7.18E+01
Uribante	0.00E+00	1.90E+06	8.77E+07	7.20E+07	0.00E+00	2.13E+06	2.62E+06	9.40E+05	0.00E+00	3.57E+07	1.22E+06	2.38E+05
	8.16E+04	9.70E+08	1.49E+07	7.10E+07	7.00E+03	3.42E+04	1.64E+04	5.00E+03	4.15E+00	2.42E+01	1.05E+01	3.01E+00

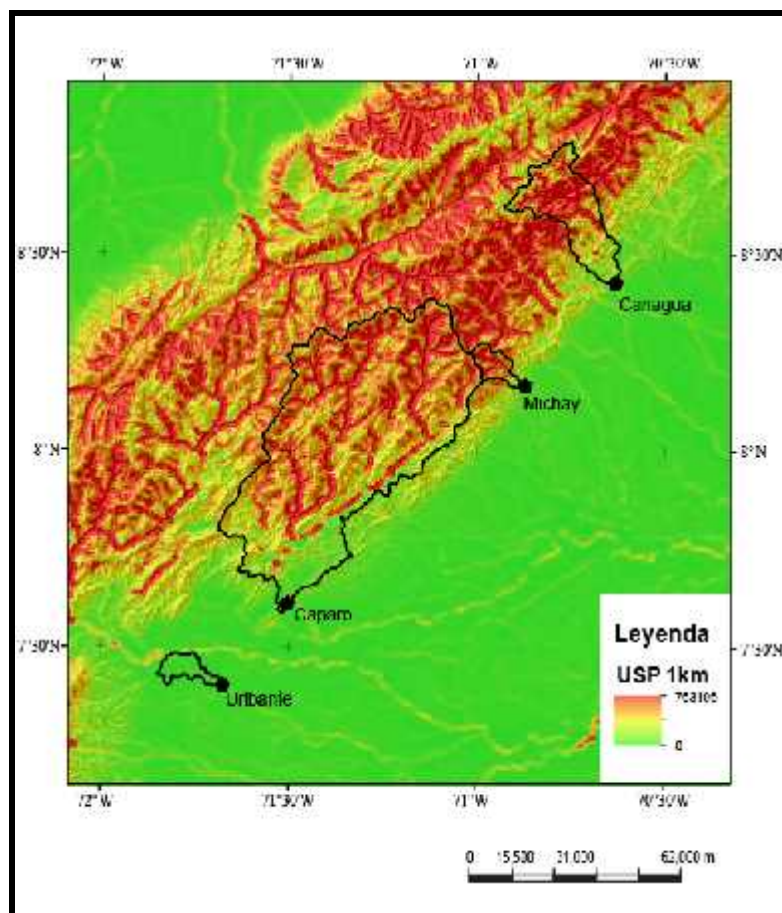


(A)

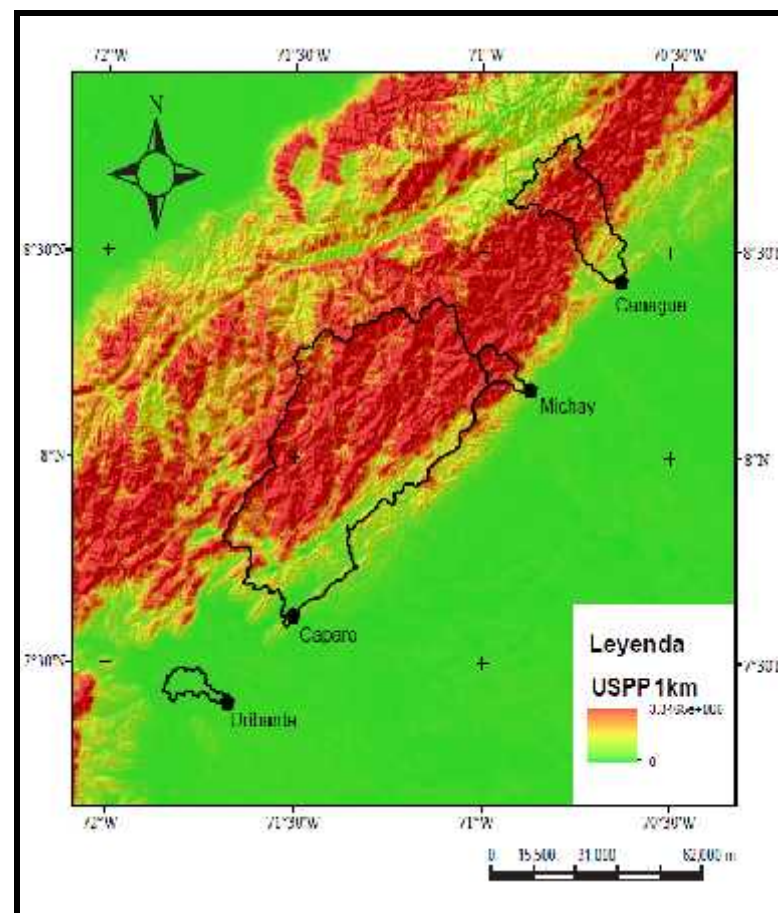


(B)

Figura 4.33. Comparación del índice de humedad TSP. (A) sin precipitación y (B) con precipitación variable.

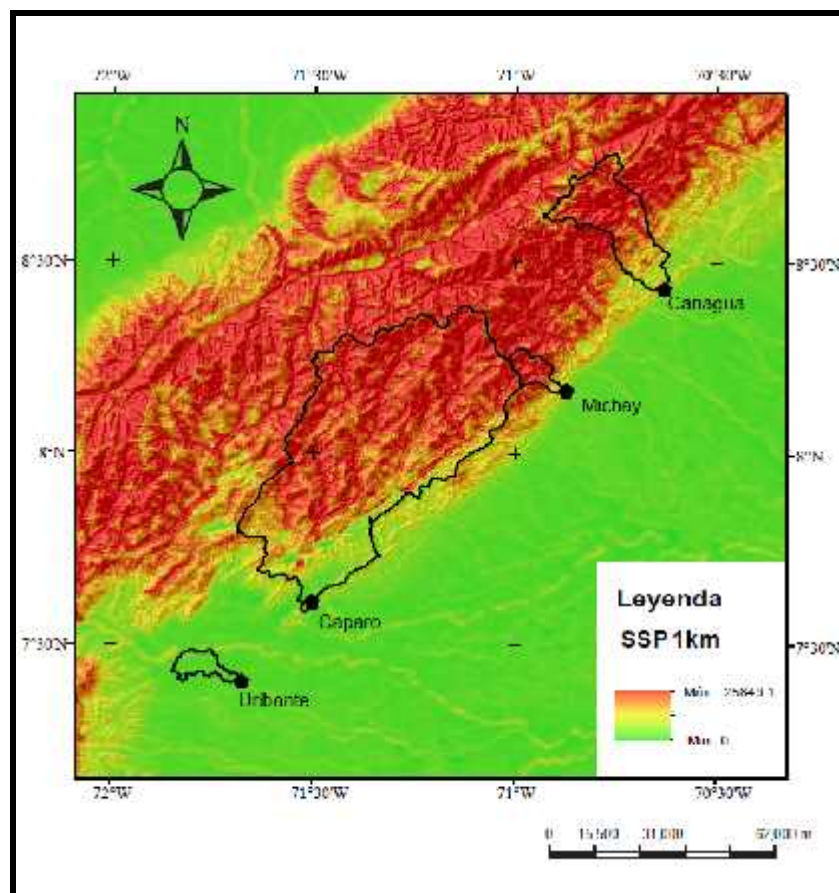


(A)

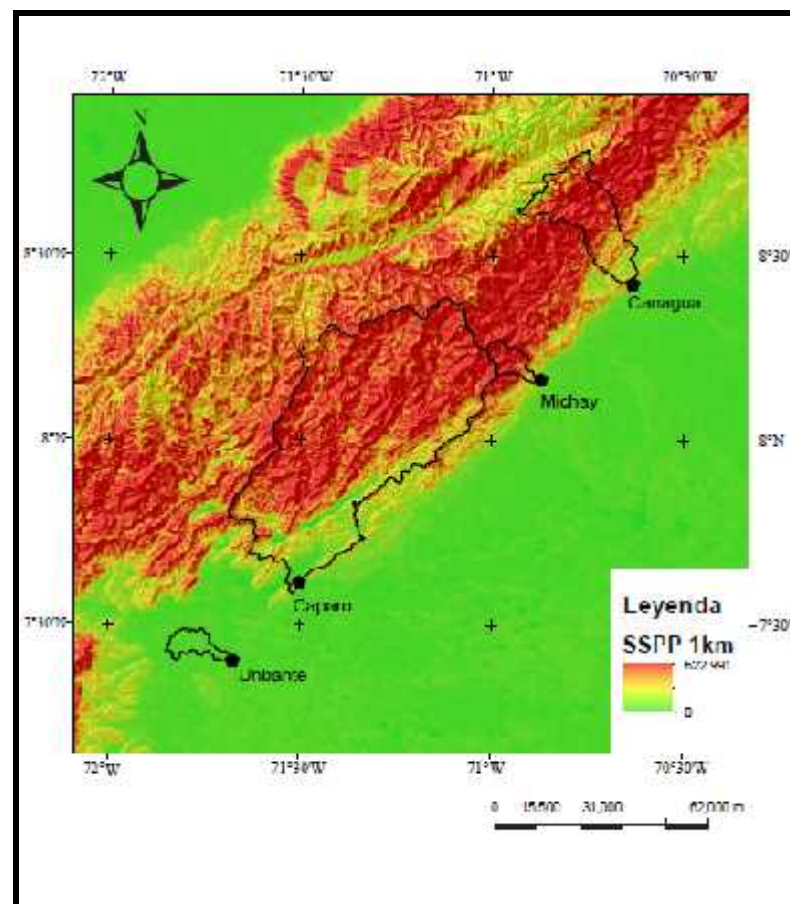


(B)

Figura 4.34. Comparación del índice de humedad USP: (A) sin precipitación y (B) con precipitación variable.



(A)



(B)

Figura 4.35. Comparación del índice de humedad SSP: (A) sin precipitación y (B) con precipitación variable.

Con la finalidad de facilitar la lectura de la tabla de índices de erosión se presenta en la Figura 4.35 una comparación cualitativa en forma de diagrama de barras de los diferentes valores de erosión promedios normalizados a lo largo de las cuencas en estudio. Esta figura, muestra que la cuenca del río Uribante posee mayor valor de TSP uniforme, y menor valor de USP y SSP respectivamente. En contraste, cuando la precipitación es incorporada, el mayor valor de TSPP es registrado en la cuenca del río Michay seguido por las cuencas de los ríos Canaguá, Caparo y Uribante. Esta misma relación se mantiene para los índices USPP y SSPP.

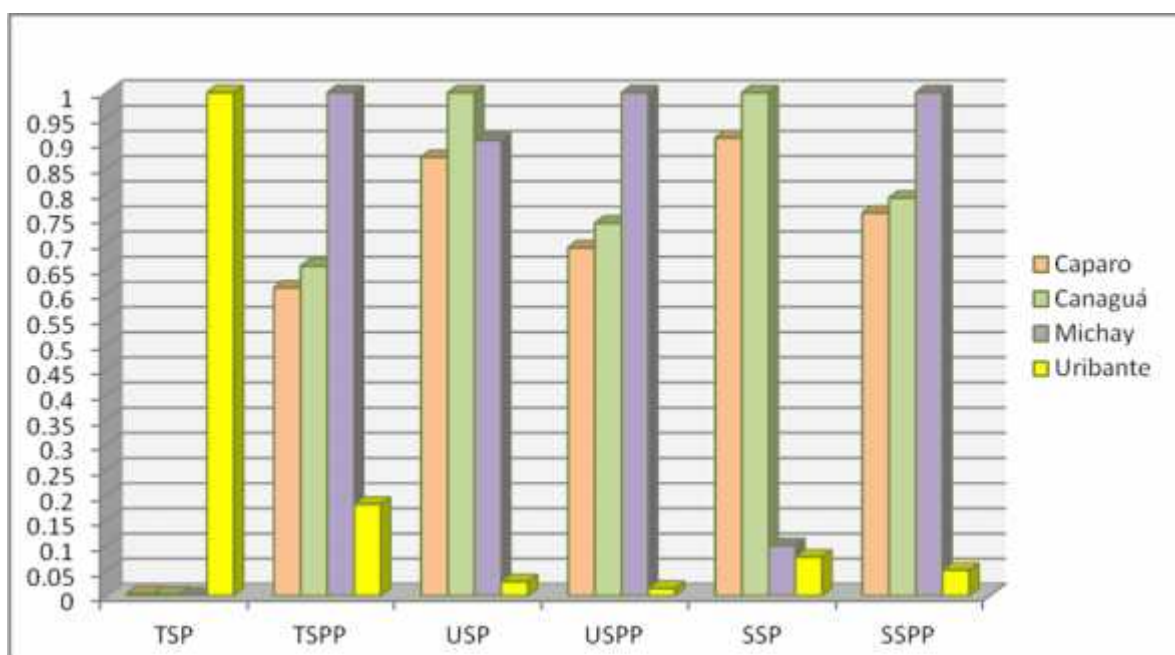


Figura 4.36. Comparación de los diferentes índices de erosión TSP, USP y SSP. (A) sin precipitación y (B) con precipitación variable (TSPP, USPP, SSPP)

TABLE 2. MEASURES OF LONG-TERM EXHUMATION RATE AND POTENTIAL CONTROL PARAMETERS FOR EACH CATCHMENT

Catchment							log ₁₀								
	$\epsilon_f \pm \sigma$	$(\epsilon_f)_{avg} \pm \sigma$	P	SE ¹ ± σ (E6)	SE ² ± σ	Seismic strain rate	Relief			TS ³	US ³	SS ³	(TSP) _{log10}	(USP) _{log10}	(SSP) _{log10}
	(km m.y. ⁻¹)	(km m.y. ⁻¹)	(n yr ⁻¹)	(x10 ⁶ J)	(J m ⁻²)	(s ⁻¹)	1 km (m)	5 km (m)	15 km (m)	(W m ⁻²)					
Santo Domingo	0.48 ± 0.02	0.37 ± 0.06	1.91 ± 0.54	3.31 ± 1.33	661.7 ± 18.97	8.39 × 10 ⁻¹⁷ ± 3.90 × 10 ⁻¹⁵	318 ± 154	318 ± 433	1522 ± 701	4.26 ± 0.76	1.32 ± 0.36	1.28 ± 0.26	10.67 ± 2.80	510 ± 1.43	340 ± 0.96
Agua Viva- Chejerdé	0.59 ± 0.17	0.31 ± 0.07	1.27 ± 0.26	5.02 ± 3.59	2111 ± 64.83	5.07 × 10 ⁻¹⁶ ± 1.82 × 10 ⁻¹⁴	218 ± 129	388 ± 371	1328 ± 662	4.35 ± 0.82	1.71 ± 0.50	1.14 ± 0.33	10.20 ± 2.53	474 ± 1.36	316 ± 0.91
Mimbos	0.80 ± 0.26	0.44 ± 0.11	0.90 ± 0.02	2.28 ± 3.18	896.30 ± 90.58	1.23 × 10 ⁻¹⁶ ± 3.94 × 10 ⁻¹⁶	362 ± 157	1138 ± 443	1962 ± 662	4.31 ± 0.75	1.39 ± 0.36	1.33 ± 0.25	10.08 ± 2.33	486 ± 1.22	324 ± 0.82
San Pedro	0.53 ± 0.03	0.41 ± 0.07	0.77 ± 0.01	8.83 ± 3.71	19,250 ± 2675	2.17 × 10 ⁻¹⁶ ± 9.74 × 10 ⁻¹⁶	327 ± 143	1354 ± 287	2536 ± 362	4.26 ± 0.75	1.34 ± 0.36	1.29 ± 0.26	10.22 ± 2.72	489 ± 1.40	326 ± 0.90
Tucani	0.82 ± 0.03	0.41 ± 0.07	0.80 ± 0.05	6.97 ± 2.27	5086 ± 205.4	7.86 × 10 ⁻¹⁷ ± 4.90 × 10 ⁻¹⁶	394 ± 161	1109 ± 464	1963 ± 841	4.36 ± 0.74	2.34 ± 0.36	1.36 ± 0.24	10.37 ± 2.43	505 ± 1.27	336 ± 0.84
Chama	0.67 ± 0.14	0.38 ± 0.08	1.15 ± 0.35	6.99 ± 4.94	3191 ± 40.34	2.67 × 10 ⁻¹⁶ ± 2.40 × 10 ⁻¹⁶	317 ± 126	378 ± 431	1518 ± 783	4.27 ± 0.75	1.34 ± 0.36	1.29 ± 0.25	10.15 ± 2.13	487 ± 1.10	324 ± 0.70
Cclondito	0.75 ± 0.14	0.48 ± 0.08	0.98 ± 0.06	4.35 ± 7.62	7041 ± 3824	2.81 × 10 ⁻¹⁶ ± 1.16 × 10 ⁻¹⁶	308 ± 152	1125 ± 323	2188 ± 543	4.23 ± 0.76	1.39 ± 0.40	1.26 ± 0.26	9.29 ± 0.40	438 ± 0.28	292 ± 0.19

Figura 4.36. Medidas de Longitud-temperatura, tasas de erosión y parámetros de control potencial para cada cuenca del Flanco Norandino (Tomado de Bermúdez et. al 2012)

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 INTRODUCCIÓN

En esta sección se presenta una discusión detallada de los resultados mostrados en el capítulo anterior, comparando los datos obtenidos para las diferentes cuencas, y el comportamiento de éstas relaciones a lo largo del flanco sur. Finalmente mediante la comparación con los resultados obtenidos en el flanco norte previamente en el trabajo de Bermúdez “et al.” (2012), será posible establecer la relación entre clima y tectónica a lo largo de Los Andes Venezolanos.

5.2 ANÁLISIS MORFO-TEXTURAL

A través de la observación de las características texturales, morfológicas y ópticas de los minerales seleccionados en las muestras para realizar su respectiva identificación, se obtuvieron los parámetros visuales de redondez y esfericidad, a través de la tabla de Krumbein (1941); este análisis se llevó a cabo mediante un microscopio polarizante, de la forma como fue descrito en el capítulo de metodología.

El estudio mineralógico de las muestras tanto magnéticas como no magnéticas de cada una de las cuencas se realizó en una población de granos conformada entre 60 y 100 granos en promedio por muestra, indicando luego de su identificación que estas presentan un gran porcentaje de minerales predominantes comunes en todas las muestras. Quedando el porcentaje de minerales predominantes por muestra de la siguiente manera: Río Uribante para la muestra no magnética, las siguientes fracciones: circón 34,88%, cuarzo 11,62%, óxidos 51,16%, rutilo 2,32% (ver en la figura 4.1b); mientras que para la muestra magnética: circón 22,5%, apatito 7,5%, óxidos 48,75%, grupo D 18,75% (ver en la figura 4.2b). Río Caparo muestra no magnética: circón 60,46%, apatito 25,58%, óxidos 4,65%,

rutilo 6,97%, sillimanita 2,32% ver en la figura 4.3b); muestra magnética: circón 56,25%, apatito 16,66% y rutilo 27% (ver en la figura 4.4b). Río Michay muestra no magnética: circón 15,15%, apatito 27,27%, óxidos 15,15%, rutilo 9%, grupo D 33,33% (ver en la figura 4.5b); en cuanto a la muestra magnética, se obtuvo: circón 30,55%, apatito 4,16%, óxidos 36,11%, rutilo 1,38%, cuarzo 25% y topacio 2,77% (ver en la figura 4.6b). Río Canaguá en su muestra no magnética: circón 28,12%, apatito 40,62%, óxidos 18,75%, rutilo 9,37%, sillimanita 3,12% (ver en la figura 4.7b); en la muestra magnética: circón 37,5%, apatito 4,16%, cuprita 16,66%, rutilo 16,66% y sillimanita 25% (ver en la figura 4.8b). Viéndose en los resultados que para la mayoría de las cuencas el circón se encuentra como mineral predominante, seguido de la población de óxidos, apatito y rutilo.

5.3 ANÁLISIS DIGITAL DE IMÁGENES DE MINERALES PESADOS

El estudio de los minerales que componen cada una de las muestras, mediante el software ImageJ, brindó la oportunidad de valorar cuantitativamente los parámetros de redondez y esfericidad de los minerales analizados, obteniendo así datos con mayor precisión que fueron comparados con el análisis visual.

En rasgos generales las cuencas no presentan una diferencia marcada al comparar estos parámetros entre sí, sin embargo se logra observar que la cuenca del río Uribante posee mayor redondez y esfericidad en sus minerales pesados, quizás por el hecho de que sea una cuenca en planicie, y hay un mayor transporte en comparación con las que se sitúan al piedemonte.

Al analizar estos valores por separado, para cada cuenca, se logra notar que en el caso del río Canaguá los valores de esfericidad son mayores a los de redondez, mientras que en el río Caparo el valor promedio reflejado para la esfericidad es de 0,76 aproximadamente, mientras que la redondez es de 0,71 imponiéndose así el parámetro de esfericidad para esta cuenca, lo cual indica que la forma del grano es mucho más relevante que el transporte que sufrieron, reflejando que las cuencas presentan una tendencia mixta en cuanto a estas medidas, oscilando entre sub-redondeados a redondeados y de angulosos a

sub-angulosos. Para la cuenca del río Uribante la tendencia se invierte y en este caso es la esfericidad quien se impone sobre la redondez con una diferencia de 0,008 aproximadamente mostrando que en este caso la forma del cristal tuvo más influencia que el transporte para esta muestra. Finalmente para la cuenca del río Michay los valores de redondez sobrepasan los valores de esfericidad, evidenciando la misma explicación de la cuenca anterior y reflejando que en esta cuenca los patrones de esfericidad y redondez presentan una tendencia más uniforme entre sub-redondeados y sub-angulosos. La Figura 4.9 muestra los resultados descritos anteriormente.

Adicionalmente, se realizó la evaluación de dichos parámetros entre cada uno de los minerales identificados para las dos (02) muestras (magnéticas y no magnéticas) que componen cada una de las cuencas; obteniéndose que para la fracción no magnética del río Uribante los valores promedio de esfericidad y redondez son muy similares entre cada uno de los minerales identificados en la muestra (ver tabla 4.1 y Figura 4.1a); para la fracción magnética se observa una tendencia muy parecida a la anterior, aunque en esta se logra observar que los valores promedios de esfericidad son ligeramente más elevados que los de redondez (ver tabla 4.2 y Figura 4.2a). Por su parte, en la fracción no magnética de las muestras del río Caparo, estos valores en los cristales de circón y rutilo son prácticamente iguales, mientras que para los demás minerales identificados, la esfericidad se encuentra por encima del parámetro de redondez (ver tabla 4.3 y Figura 4.3a); la muestra magnética presenta un dominio en los valores de esfericidad ante los de redondez en todos sus minerales (ver tabla 4.4 y Figura 4.4a). La cuenca del río Michay en su muestra no magnética indica que la esfericidad se encuentra ligeramente por encima de la redondez excepto en los cristales de rutilo donde estos son iguales (ver tabla 4.5 y Figura 4.5a); la muestra magnética muestra variaciones en estas tendencias, observándose que para los cristales de circón y del grupo D la redondez es mayor que la esfericidad, mientras que para los apatitos, óxidos y rutilo el valor promedio de esfericidad sobrepasa ampliamente al de redondez (ver tabla 4.6 y Figura 4.6a). Finalmente en la cuenca del río Canaguá en su muestra no magnética, se observa que nuevamente los valores de esfericidad son mayores a los de redondez (ver tabla 4.7 y Figura 4.7a); de igual manera en la muestra magnética la

tendencia anterior se mantiene, aunque la diferencia en este caso es mucho mayor (ver tabla 4.8 y Figura 4.8a).

A través de los datos expuestos anteriormente se puede determinar que para la mayoría de las cuencas el comportamiento de los parámetros de esfericidad y redondez en los minerales que las componen presentan la misma tendencia, la cual favorece al parámetro de esfericidad por encima de la redondez, indicando entonces, que para estos valores influyen tanto la forma original del cristal como el transporte sufrido por estos desde la fuente hasta la cuenca, lo cual se puede notar en la tendencia sub-redondeada y sub-angulosa que presentan los granos.

5.4 ANÁLISIS MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

En este estudio se analizaron un total de 16 minerales, distribuidos en cuatro (04) minerales por cuenca (dos (02) de la fracción magnética y dos (02) de la fracción no magnética).

Mediante las micrografías obtenidas con el microscopio electrónico de barrido, se pudo observar que la mayoría de los granos han sufrido meteorización durante el transporte, se pueden evidenciar micro texturas como fracturas, estrías y cráteres de impacto en gran parte de los granos que conforman las muestras que componen las cuencas de Uribante, Caparo, Michay y Canaguá en sus dos fracciones no magnéticas y magnéticas. En la figura 4.21A, se puede observar como en un solo grano se presentan varias micro texturas.

También se pudo observar con más detalles la morfología, esfericidad y redondez de los granos, que en su mayoría presentan un hábito anhedral, y tienden a ser de subredondeados a redondeados y subangulares (ver figura 4.22A), lo cual puede asociarse con una distancia cercana entre la cuenca de depósito y la fuente.

Este análisis también permitió identificar a través de parámetros de composición química los óxidos presentes en la muestras de las distintas cuencas que conforman este

estudio y otros minerales que no pudieron ser identificados a través de microscopio petrográfico debido al pequeño tamaño que presentan, entre los minerales identificados se tiene Rutilo (Ver Figura 4.16A y D), Cuprita (Ver Figura 4.25A y D), Circón (Ver figura 4.17A y D), Sillimanita (Ver Figura 4.24A y D), Apatito (Ver Figura (3)), entre otros.

Adicionalmente, la microscopía electrónica de barrido permitió caracterizar e identificar granos opacos presentes en las cuencas, y así complementar la información que se derivó del análisis visual de los granos.

5.5 ANÁLISIS DIGITAL DEL TERRENO

En la tabla 4.27 se encuentran los atributos primarios para cada una de las cuencas en estudio.

La cuenca que ocupa mayor espacio es la del río Caparo (3329.8 km^2), seguida de la cuenca del río Canaguá, la cual abarca un área de 522.58 km^2 , siendo esta la que se encuentra más al noroeste de la zona. La cuenca del río Michay está adyacente a la cuenca del río Canaguá, se ubica en el tercer lugar por su tamaño (92.572 km^2), siendo muy similar a la cuenca del río Uribante en cuanto a tamaño ya que difieren por menos de 400mts.

En cuanto a perímetro, todas las cuencas son muy similares, la del río Caparo es la que tiene el mayor valor con 404.87km, cambiando únicamente el menor perímetro que con 64.246km lo presenta la cuenca del río Uribante.

La cuenca del río Caparo tiene la mayor pendiente ($70.13 \pm 9.6^\circ$) aunque, es la cuenca del río Canaguá la que tiene los valores más altos de elevación, llegando hasta 4505m de altura. Mientras que la cuenca del río Uribante presenta los valores más bajos de pendiente y elevación lo que comprueba su posición, en el piedemonte Surandino, la parte oriental del estado Táchira.

En la Tabla 4.32 se encuentran detallados los valores de índice de erosión para cada cuenca, resultando la del río Canaguá con los mayores valores para el Poder de Flujo Unitario (USP) y Poder de Flujo de Cizalla (SSP) mientras que la cuenca que tiene el mayor Poder de Flujo Total (TSP) es la del río Uribante, resulta lógico por ser esta cuenca la que se encuentra más al Sur del área de estudio por lo que recibe mayor aporte de sedimentos provenientes del resto de las cuencas y el flujo total deriva en altos valores para esta zona, análogo a esto el río Uribante tiene los valores más bajos tanto de USP como de SSP esto puede deberse a la configuración de la cuenca, por ser la más pequeña en cuanto a área y perímetro, el ancho del canal resulta menor que el resto, aunado a que la corriente erosiva del caudal de agua es proporcional al área de la cuenca, se cumple que en este caso sean estas cuencas las que tengan los valores más bajos.

Los valores obtenidos para el Poder de Flujo de Cizalla revelan que los más altos corresponden a las cuencas de Canaguá y Michay que se encuentran en la zona de mayor complejidad tectónica, dando evidencia así de que en las zonas con mayor movimiento producto de las fallas, compresiones y distensiones que han afectado esta área a lo largo del tiempo geológico poseen una estructura mucho más atrincada que el resto.

Los valores de humedad (WI) reflejados en la Tabla 4.30 muestran que los modelos de erosión presentan los mayores índices en la cuenca del río Uribante, este resultado se debe a que la mayor cantidad de corrientes se acumulan en esta zona, ya que recibe aportes de diferentes tributarios que se encuentran a mayor altura, para terminar en el río Orinoco que es el drenaje principal.

La capacidad de transporte de sedimentos (STI) que presenta la cuenca del Uribante es relevante, ya que tiene un relieve prácticamente llano, funciona como recolector de cuencas cercanas, aunque es la cuenca del río Michay la que tiene la mayor capacidad de transporte de sedimentos ($4.74E+07$) esto debido a su elevada pendiente por lo que todo el material que viene de los picos más altos de la Cordillera Andina utiliza esta vía como el medio más veloz y apto para trasladarse. La cuenca del río Canaguá es la que presenta los valores más bajos de capacidad de transporte, es una de las que ocupa mayor área, aunque

los valores de precipitación en esta cuenca son de los más bajos en promedio, la fuente que se erosiona está cercana y pertenece a esta región por lo que el material queda depositado en ella.

5.6 INTEGRACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La Figura 5.1 muestra el mapa de índice de erosión "Shear Stream Power" (SSP) o poder de flujo con cizalla junto con las principales estructuras (fallas y pliegues) existentes en el área de estudio. A ambos lados de esta figura se han colocado los gráficos de barras con el contenido de minerales pesados, la redondez y esfericidad de los mismos. Puede observarse en esta figura que las cuencas de los ríos más occidentales (Uribante y Caparo), poseen un mayor contenido de cristales de circón que el resto de las cuencas en estudio.

Adicionalmente puede observarse que la esfericidad y redondez en el río Caparo es mayor que en el resto de las cuencas analizadas. Se observa que en la cuenca del río Caparo, situada en el bloque tectónico del mismo nombre (Bermúdez et al., 2010) existen mucho más estructuras (los sistemas de fallas Central-Sur Andino y Caparo) que posiblemente aumentan la erosión tectónica en este sector, adicionalmente el contenido de minerales de circón en Caparo y el Uribante podría estar relacionado a que uno de los principales terrenos fuentes del área es la Formación La Quinta de edad Jurásico, y que está constituida por tobas volcánicas y sedimentos metamorfizados, estas dos observaciones, aunado al tamaño de la cuenca del río Caparo explicarían el hecho de que existan más circones en estas dos cuencas y que los valores de redondez y esfericidad sean mayores.

La cuenca del río Michay está sobre el bloque de Caparo, pero no presenta estructuras importantes que controlen la cuenca más allá del sistema de fallas sur andino fuera de la cuenca. La cuenca de Canaguá, está ubicada sobre un área de altas pendientes, en otro bloque tectónico diferente, denominado Cerro Azul por Bermúdez et al. (2010), la redondez y esfericidad para las cuencas Michay y Caparo, además del bajo contenido en circones en comparación con el resto de las cuencas estaría indicando una litología relativamente uniforme y pobre en minerales pesados, lo cual es característico del

Complejo Iglesias, constituido según el Léxico Estratigráfico de Venezuela (2010) por esquistos sericíticos y cloríticos de color gris y verde, pizarras gris oscuro a negro, filitas y lutitas filíticas gris oscuro a pardo, esquistos argiláceos pardo claro y gris, con intrusiones locales de granito rosado, granito porfirítico gris, pegmatitas y vetas de cuarzo.

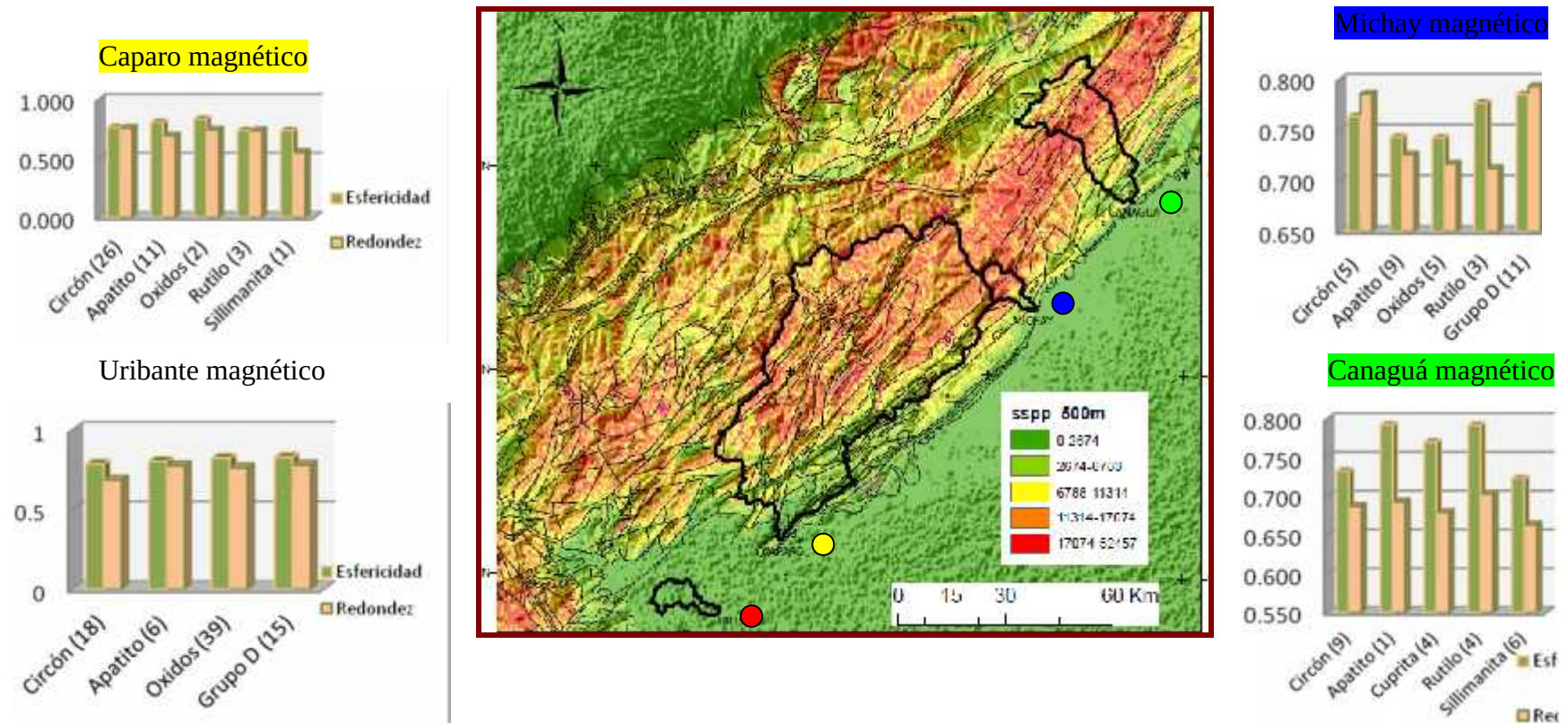


Figura 5.1. Índice de erosión SSP con precipitación variable, principales estructuras en la zona de estudio y variación de la esfericidad y redondez a lo largo de las cuatro cuencas analizadas.

Tabla 5.1. *Valores promedios de los diferentes parámetros analizados en las cuencas de interés*

Cuenca	Precip (m/año)	Rel. 1km	Rel. 3km	Rel. 5 km	Rel. 7km	TSP	USP	SSP	(TSP)p rec	(USP)p rec	(SSP)p rec	Red. (circ)	Esf. (circ)
Caparo	2.24	302.75	588.02	834.3	1008.7	4.03E+05	8.10E+07	1.44E+07	5.00E+07	7.73E+05	1.55E+02	0.718	0.774
Canaguá	2.28	332.7	655	990.5	1257.9	2.88E+05	9.30E+07	1.58E+07	5.36E+07	8.27E+05	1.62E+02	0.676	0.747
Michay	3.30	344.93	690.64	1035.3	1335.5	1.13E+05	8.42E+07	1.58E+06	8.17E+07	1.12E+06	2.04E+02	0.741	0.77
Uribante	1.99	9.75	14.94	18.7	29.9	8.77E+07	2.62E+06	1.22E+06	1.49E+07	1.64E+04	1.05E+01	0.667	0.787

Tabla 5.2. Valores de correlación para los diferentes parámetros analizados en las cuencas de interés

	<i>Precip (mm/año)</i>	<i>Rel. 1km</i>	<i>Rel. 3km</i>	<i>Rel. 5 km</i>	<i>Rel. 7km</i>	<i>TSP</i>	<i>USP</i>	<i>SSP</i>	<i>TSP prec</i>	<i>USP prec</i>	<i>SSP prec</i>	<i>Red. (circones)</i>	<i>Esf. (circones)</i>
Precip (mm/año)	1												
Rel. 1km	0.60	1											
Rel. 3km	0.62	<i>1.00</i>	1										
Rel. 5 km	0.63	<i>1.00</i>	1.00	1									
Rel. 7km	0.66	<i>0.99</i>	0.99	1.00	1								
TSP	-0.54	-0.99	-0.99	-0.98	-0.97	1							
USP	0.51	0.99	0.99	0.99	0.98	-0.99	1						
SSP	-0.36	0.53	0.51	0.49	0.46	-0.59	<i>0.62</i>	1					
TSPprec	0.89	0.90	0.91	0.91	0.92	-0.86	<i>0.84</i>	0.10	1				
USPprec	0.78	0.97	0.97	0.98	0.98	-0.95	<i>0.93</i>	0.30	0.98	1			
SSPprec	0.73	0.98	0.99	0.99	0.99	-0.97	<i>0.96</i>	0.37	0.96	1.00	1		
Redondez (circones)	0.83	0.64	0.65	0.63	0.63	-0.64	0.56	-0.13	0.83	0.77	0.75	1	
Esfericidad (circones)	-0.17	-0.72	-0.72	-0.74	-0.75	0.70	-0.78	-0.68	-0.50	-0.61	-0.63	0.04	1

En esta tabla los valores en negrillas representan correlaciones altas, los valores en cursivas son correlaciones naturales, es decir, una variable es dependiente de la otra por la forma como son calculadas o como se relacionan en la naturaleza.

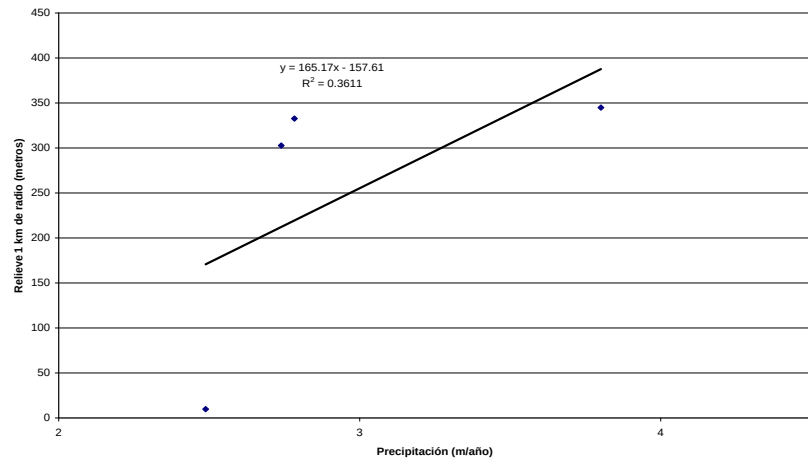
Adicionalmente el patrón de precipitaciones del flanco Surandino es bastante elevado por recibir las masas de agua que provienen del sur del continente, así la diferencia litológica anteriormente mencionada podría reflejar la erosión diferencial mostrada en la Figura 4.35 y resumida en la tabla 4.31.

Con la finalidad de integrar todos los resultados y las diferentes variables obtenidas a partir de los productos encontrados en el capítulo anterior de la tablas 4.27 a 4.32, y de los valores de esfericidad y redondez resumidos en las tablas 4.1 a 4.8 se construye una tabla de parámetros globales promedio, representada por la Tabla 5.1, los cuales son relacionados entre sí a través de un estudio de coeficientes de correlación de Pearson (Conover,1980), similares a los usados por Bermúdez et al., (2012), tales coeficientes o relaciones son mostrados en la Tabla 5.2, para cada una de las cuencas analizadas.

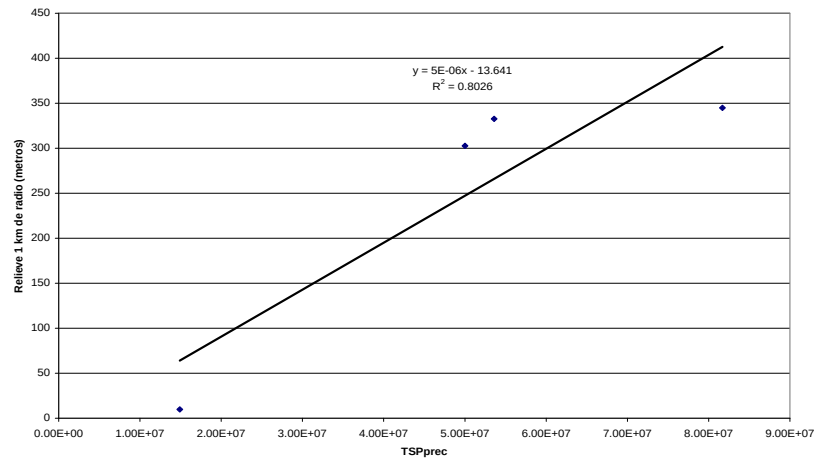
La Tabla 5.2 muestra una alta correlación entre los diferentes relieves calculados a varios radios y la tasa de precipitación en m/años derivada de la campaña TRMM de la NASA durante el período 1998-2009, las correlaciones varían entre 0.5 y 0.58. Se observa una alta correlación entre la tasa de precipitaciones y el índice de redondez de cada una de las muestras ($r=0.80$). La correlación entre los índices de erosión uniforme y relieve, o es anticorrelación (valores negativos cercanos a 0.9) o simplemente son muy débiles como en el caso del SSP con los diferentes valores de relieve. Las correlaciones entre índices de erosión con precipitación y los relieves calculados a diferentes radios son bastante elevadas ($r\geq 0.9$). Los valores de correlación entre los índices de erosión con precipitación y el grado de esfericidad de los minerales de circón es alta ($r>0.7$) lo cual indica que el efecto de la precipitación es significativo a lo largo de las cuencas analizadas.

En las Figuras 5.2 A-C, se muestran las principales correlaciones obtenidas entre precipitación y relieve calculado a 1-km de radio ($r=0.60$, $R^2=0.3611$), la alta correlación entre el índice de erosión TSP con precipitaciones y el relieve a 1-km ($r=0.90$, $R^2=0.80$) y el mismo índice de erosión con la redondez de los granos de circón ($r=0.83$, $R^2=0.68$).

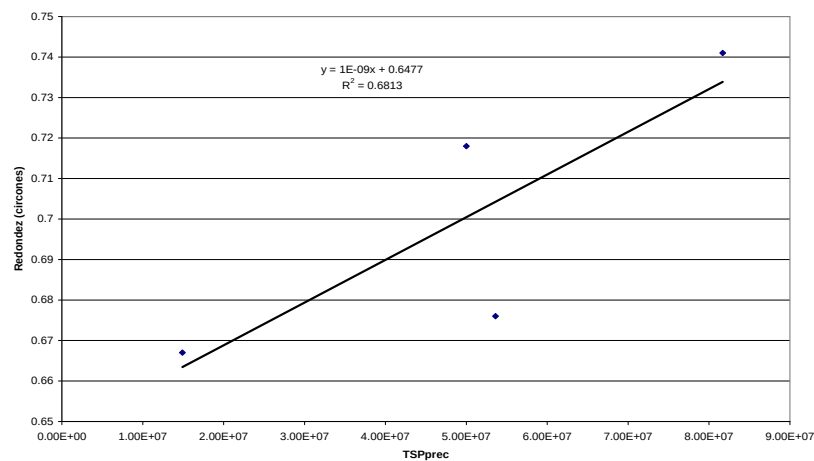
Estos resultados indicarían que la precipitación es uno de los agentes controladores del relieve a lo largo de las cuencas analizadas.



(A)



(B)



(C)

Figura 5.2. Relaciones lineales entre: (A) precipitación y relieve, (B) índice de erosión TSP con precipitaciones y relieve, y (C) TSP con precipitaciones y redondez.

La zona se caracteriza por una alta sismicidad (Bermúdez et al., 2012). Con la finalidad de discriminar los controles potenciales (clima, tectónica o erosión) del relieve a lo largo del flanco Surandino es necesario considerar la información existente en el área realizada por otros investigadores del grupo, y considerar la energía sísmica liberada y la deformación sísmica acumulada en el área. Así, en la Tabla 5.3 se han integrado al presente estudio dos cuencas, la del río Santo Domingo estudiada por Bermúdez et al., (2012) y la del río Boconó analizada por Arcia y Viana (2014). En esta nueva tabla no se ha considerado la cuenca del río Uribante porque la cantidad de sismos reportadas en el interior de la cuenca usando la base de datos de sismos compilada por Bermúdez et al. (2012) es menor a 20 eventos. Esa información, junto con el catálogo sísmico del período 1911-2011 compilado por Bermúdez et al., (2012) fue usada para calcular la deformación y energía sísmica acumulada, que son utilizadas como aproximaciones o formas de considerar la tectónica involucrada. Adicionalmente, se muestra en esta tabla los valores de precipitación promedio calculados para cada cuenca usando una base de datos de precipitación recopilada por Bermúdez et al. (2012) y se comparan con los datos de precipitación de la misión TRMM de la NASA, nótese que los valores de precipitación están relativamente cercanos, pero tienden a ser mayores para el río Michay, Canaguá y Caparo, y menores para los ríos Santo Domingo y Boconó.

La Tabla 5.4 muestra el resultado del análisis de correlación de estas cinco cuencas ubicadas en el flanco Surandino, los valores resaltados en negrillas indican la alta dependencia de las dos variables involucradas. Así se obtiene una correlación significativa entre precipitación (de la base de datos de Bermúdez et al., 2012) y relieve calculado a 1 km de radio ($r=0.59$), para el caso del relieve a 5-km no se encuentra correlación con la precipitación ($r=0.08$). En contraste, cuando se usan los datos de precipitación de la campaña TRMM y se comparan con el relieve a 1 y 5km de radio, se obtienen correlaciones significativas de 0.52 y 0.66, respectivamente. Adicionalmente, se obtienen correlaciones importantes entre el relieve calculado a 1 y 5 km con el índice de erosión USP que considera las precipitaciones, siendo estos coeficientes de 0.71 y 0.62, respectivamente. No existe correlación entre energía sísmica liberada y relieve, pero el alto

coeficiente ($r=0.71$) entre deformación sísmica y relieve calculado a 5 km, indicaría que la tectónica juega un papel importante como agente controlador del relieve, y que el segundo parámetro más importante lo constituye la precipitación con valores de correlación de 0.66 si se considera la base de datos de la NASA.

En las Figuras 5.3 A-C, se muestran las principales correlaciones obtenidas entre precipitación y relieve calculado a 5-km de radio ($r=0.70$, $R^2=0.4916$), la alta correlación entre el índice de erosión USP con precipitaciones y el relieve a 5-km ($r=0.62$, $R^2=0.3788$), y la deformación sísmica con el relieve a 5-km de radio ($r=0.71$, $R^2=0.5007$).

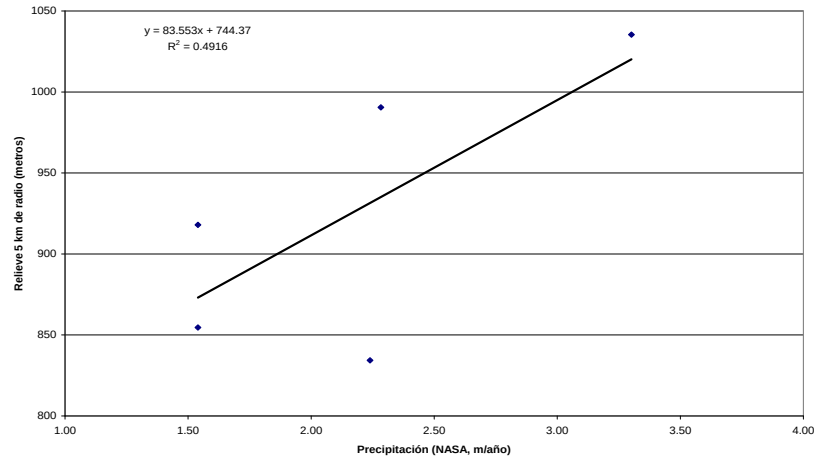
Las Figuras 5.4 A y B muestran la energía sísmica calculada a radios de 25 kilómetros usando la base de datos de sismicidad para el período 1911-2011 y el patrón de precipitaciones durante 1998-2009 para las cuencas analizadas en el flanco norandino por Bermúdez et al. (2012), y las cuencas ubicadas en el flanco surandino (las analizadas en este trabajo, más la del río Boconó estudiada por Arcia y Viana (2014) y la del río Santo Domingo por Bermúdez et al., 2012). Nótese que el flanco norandino es mucho más seco que el flanco sur, el trabajo de Bermúdez et al., (2012) indica que el control es más tectónico que climático utilizando datos termocronológicos en sedimentos de ríos modernos, nuestros resultados aunque no poseen edades termocronológicas sugiere una interacción entre clima y tectónica para el flanco surandino, lo cual indicaría que el relieve actual es controlado por el acoplamiento de esas dos fuerzas.

Tabla 5.3. Valores promedios de los diferentes parámetros analizados incluyendo dos nuevas cuencas: Santo Domingo (Bermúdez et al., 2012) y Boconó (Arcia y Viana, 2013). En esta tabla no se incluye la cuenca del río Uribante porque el número de sismos registrados es menor a 20 eventos para el período 1911-2011.

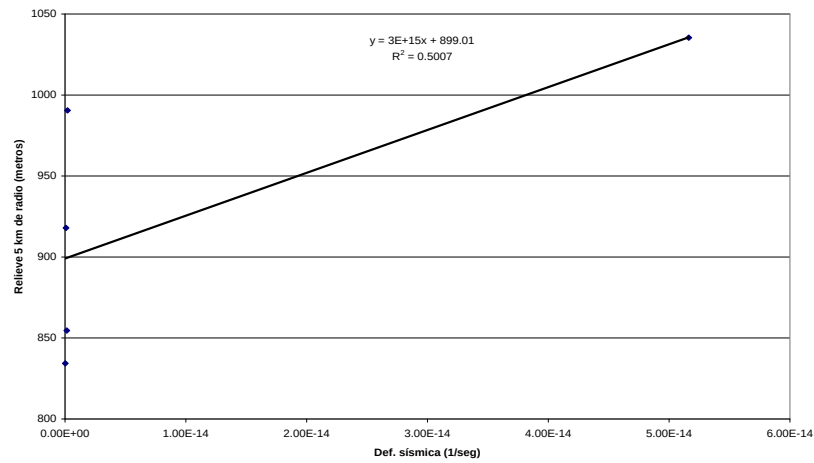
Cuenca	Precip (m/año)	TRMM (m/año)	Rel. 1km	Rel. 5 km	TSP	USP	SSP	(TSP)p rec	(USP)p rec	(SSP)p rec	En. Sis.	Def. Sism.
Caparo	2.25	2.24	302.7	834.3	4.03E+05	8.10E+07	1.44E+07	5.00E+07	7.73E+05	1.55E+02	866.74	2.72E-17
Canaguá	1.55	2.28	332.7	990.5	2.88E+05	9.30E+07	1.58E+07	5.36E+07	8.27E+05	1.62E+02	3233.77	2.06E-16
Michay	2.20	3.30	344.9	1035.3	1.13E+05	8.42E+07	1.58E+06	8.17E+07	1.12E+06	2.04E+02	4.11	5.16E-14
Santo Domingo	1.91	1.54	318	918	1.82E+04	8.32E+01	1.91E+01	4.68E+10	1.26E+05	2.51E+03	3845.89	8.39E-17
Boconó	1.44	1.54	72.9	854.6	3.71E+05	7.95E+01	1.42E+01	3.55E+06	5.50E+01	9.76E+00	12989.3	1.45E-16

Tabla 5.4. Valores de correlación para los diferentes parámetros analizados en las cuencas de interés

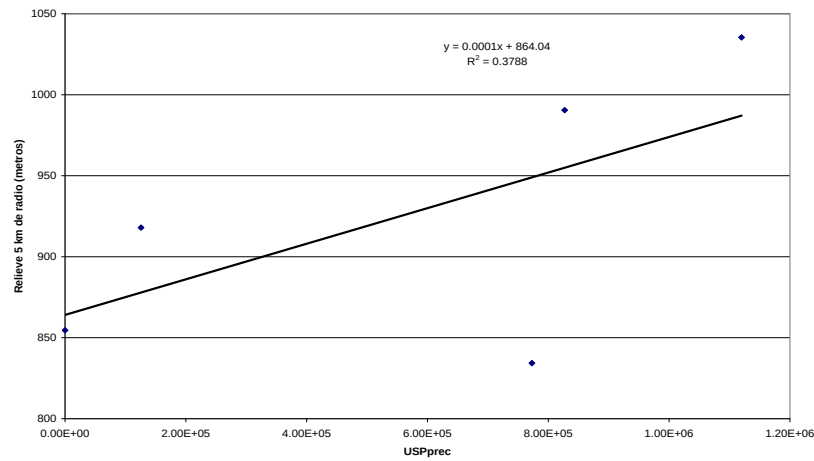
	<i>Precip</i> (m/año)	<i>TRM</i> <i>M</i>	<i>Rel.</i> <i>1km</i>	<i>Rel. 5</i> <i>km</i>	<i>TSP</i>	<i>US</i> <i>P</i>	<i>SSP</i>	<i>(TSP)pr</i> <i>ec</i>	<i>(USP)pr</i> <i>ec</i>	<i>(SSP)pr</i> <i>ec</i>	<i>Energ.</i> <i>Sísm..</i>	<i>Def.</i> <i>Sísm.</i>
Precip (m/año)	1											
TRMM	0.57	1										
Rel. 1km	0.62	0.57	1									
Rel. 5 km	0.08	0.70	0.58	1								
TSP	-0.24	-0.14	-0.50	-0.58	1							
USP	0.41	0.79	0.64	0.47	0.23	1						
SSP	0.08	0.18	0.40	-0.05	0.55	0.74	1					
(TSP)prec	0.06	-0.49	0.22	-0.05	-	-	-	1				
(USP)prec	0.56	0.93	0.71	0.62	0.00	0.95	0.51	-0.51	1			
(SSP)prec	0.11	-0.44	0.28	-0.01	-	-	-	1.00	-0.45	1		
Energ. Sism.	-0.80	-0.70	-0.95	-0.47	0.34	0.72	0.42	-0.04	-0.81	-0.10	1	
Def. Sism.	0.49	0.87	0.35	0.71	-	0.38	0.33	-0.25	0.64	-0.21	-0.45	1



(A)

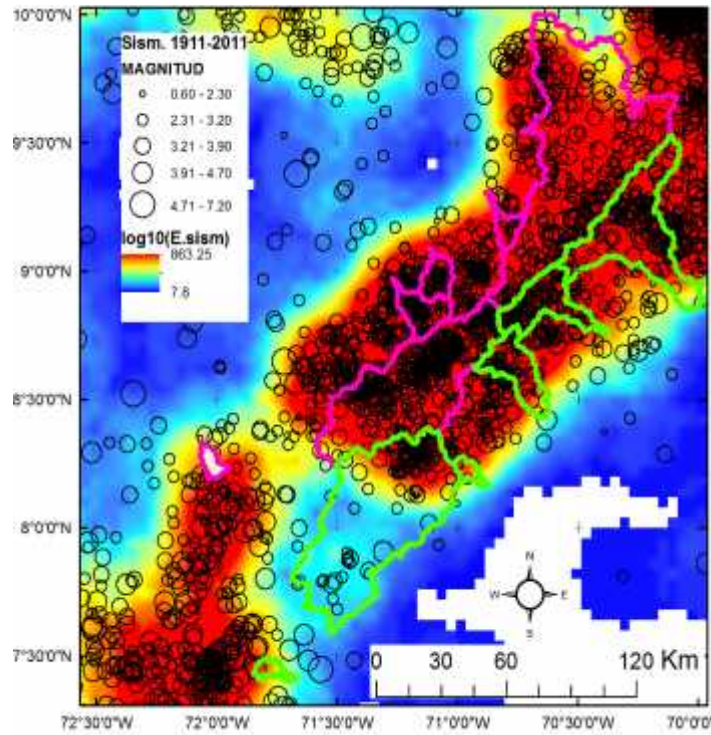


(B)

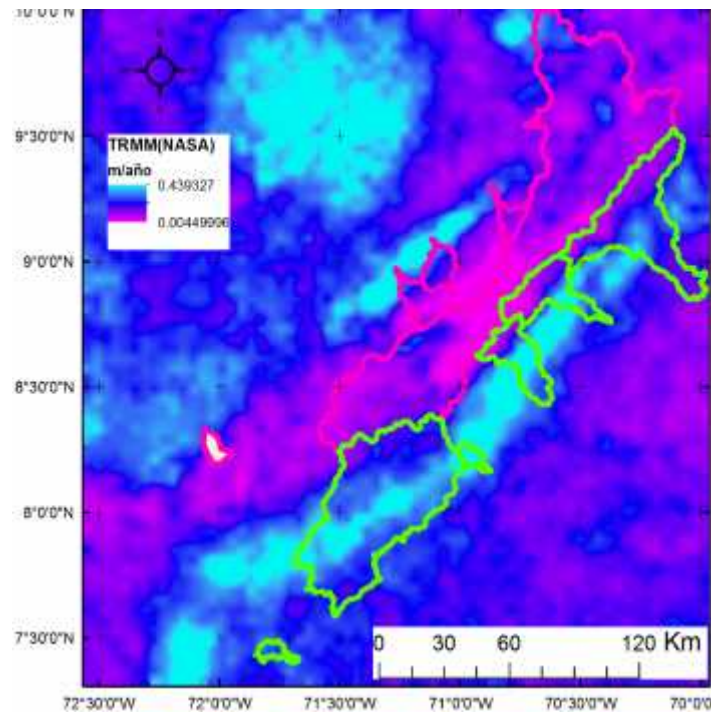


(C)

Figura 5.3. Relaciones lineales entre: (A) precipitación y relieve 5-km de radio, (B) índice de erosión TSP con precipitaciones y relieve 5-km de radio, y (C) USP con precipitaciones y relieve 5-km de radio para las cuencas en el flanco Surandino que han sido caracterizadas hasta el momento.



(A)



(B)

Figura 5.4. Comparación entre las cuencas del flanco norandino y surandino en términos de: (A) energía sísmica acumulada durante el período 1911-2011 y (B) patrón de precipitaciones a partir de los datos TRMM de la NASA durante el período 1998-2009.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este trabajo permitió analizar las relaciones clima, tectónica y erosión como agentes controladores del relieve actual del flanco surandino, y compararlos con trabajos previos realizados en el flanco norandino, pero también permite aportar conclusiones en cuanto al contenido de minerales pesados magnéticos y no magnéticos presentes en las cuencas.

Mediante el análisis visual se pudo construir la relación entre la esfericidad y redondez con los mecanismos de transporte y la litología presente, además de la cuantificación de la erosión en cada una de ellas.

En el estudio comparativo con el software ImageJ y el modelo de Kumbrein realizado a la fracción de minerales pesados no magnéticos, se pudo constatar la fidelidad de los resultados en la esfericidad. La madurez textural de las muestras analizadas oscila entre inmaduro a maduro, esto señala que los sedimentos modernos estudiados provienen de diferentes fuentes, algunas fuentes alejadas que han sido re TRABAJADOS por el transporte y dan como resultado minerales subredondeados y otros, que poseen poco transporte, son más angulosos.

El análisis visual para reconocer minerales pesados en las fracciones magnéticas y no magnéticas para cada muestra, fue validado vía microscopia electrónica de barrido (MEB), encontrándose para la cuenca del río Uribante: circón, cuarzo, óxidos, rutilo, apatito y grupo D. En el río Caparo: apatito, circón, rutilo, sillimanita y óxidos. En el río Michay: circón, apatito, óxidos, rutilo, magnetita, cuarzo, topacio, grupo D. En la cuenca del río Canaguá: rutilo, sillimanita, apatito, circón, cuprita y óxidos.

El contenido de minerales pesados apatitos y circones es mucho mayor en las cuencas Caparo y Uribante, que en las cuencas de los ríos Michay y Canaguá, esto se debe a que las primeras dos cuencas están sobre la Formación La Quinta, constituida por rocas

volcánicas y metasedimentos, en contraste, las cuencas de Michay y Canaguá yacen sobre la Asociación Bella Vista conformada por esquistos sericíticos y cloríticos, pizarras gris oscuro a negro, filitas y lutitas filíticas gris oscuro a pardo.

En cuanto a los óxidos se encontró gran variedad, la mayoría fueron identificados como magnetita, cuprita, ilmenitas, entre otros, debido a su bajo número presente en las muestras de manera individual, se decidió agrupar todo este conjunto de minerales como óxidos en general.

Después de realizar el Modelo de Elevación Digital (DEM), se obtuvo que los atributos de primer orden de las cuencas: Caparo, Canaguá, Michay y Uribante son las siguientes, Caparo: Área= 3329,83 Km², la pendiente (S)= 19,42°±9,62 y elevación= 1279,65±784,81 m. Canaguá: Área= 522,57 Km², pendiente= 21,96±11,05 y elevación= 1981,59±1301,44 m. Michay: Área= 92,57 Km², la pendiente (S)= 49,21±8,68° y elevación= 1063,59±502,05 m, y Uribante: Área= 92,10 Km², la pendiente (S)= 0,73±0,67° y elevación= 198,66±7 corroborando según los datos obtenidos que la cuenca del río Uribante se encuentra en la planicie situada más al sur del área de estudio, mientras que la cuenca de Canaguá es la que tiene la mayor pendiente y los valores más altos de elevación.

La tasa de erosión para cada cuenca es, Caparo: TSP=4.03E+05±6.68E+06, USP=8.10E+07±2.46E+07, SSP=1.44E+07±1.92E+07, Canaguá: TSP=2.88E+05±3.25E+06, USP=9.30E+07±2.51E+07, SSP=1.58E+07±2.06E+07. Michay: TSP=1.13E+05±7.04E+05, USP=8.42E+07±1.30E+07, SSP=1.58E+06±1.57E+07 y Uribante: TSP=8.77E+07±7.20E+07, USP=2.62E+06±9.40E+05, SSP=1.22E+06±2.38E+05. Estos datos de índices de erosión no contemplan el parámetro de precipitación.

Los análisis de correlación sólo para las cuatro cuencas analizadas indican que el clima es un factor importante sobre la evolución del relieve, la alta correlación entre los índices de erosión con la redondez de los granos demuestra que a pesar de que el transporte

en las cuencas no es tan grande, es suficientemente importante para moldear los granos de circones, sobretodo en la cuenca del río Caparo.

El análisis de correlación entre precipitación y relieve calculado a 5 km no dan correlaciones cuando se usa la base de datos del INAMEH, y datos observados en tierra que fueron compilados por Bermúdez et al., (2012) esto pareciera indicar que los TRMM tienden a sobrevaluar los valores de precipitación y por lo tanto el control del clima, se sospecha que existe una posible magnificación de los datos de la NASA.

Se determino que en nuestra área de estudio existe un acoplamiento entre la tectónica y el clima, para la generación de nuevo relieve y el transporte de sedimentos (erosión), lo que concuerda con el trabajo de Arcia y Viana (2014), quienes sugerían que a lo largo de la cuenca del río Boconó en el flanco surandino podría existir una relación directa entre estos procesos.

En este trabajo se discrimina un patrón asincrónico en cuanto al control del clima, la tectónica y la erosión sobre el relieve de Los Andes Venezolanos, por lo que se concluye que en el flanco norte es más tectónico según (Bermúdez et al., 2012) mientras que en el flanco sur existe un acoplamiento de tales procesos lo que concuerda con los resultados de Arcia y Viana (2014).

Recomendamos complementar estos análisis con la datación de los minerales pesados de las muestras de sedimentos modernos recolectados en las cuencas estudiadas. Este trabajo ya se encuentra bastante adelantado y constituyó un aporte del presente Trabajo Especial de Grado.

BIBLIOGRAFÍA

ArcGis., 2011, ArcGis desktop 10.0

<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z000000062000000.htm>

Arcia, S y Viana, Ch (2104). 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. pág 30-155.

Audemard, M Felipe (1997). Los Andes Venezolanos, Visión Alternativa. En VII Congreso Geológico Venezolano. Porlamar 16-19 de Noviembre de 1997. Memorias Tomo I, pag. 85.

Audemard, F., Mbachette, m., Cox, j., Dart, r. Andhaller, h. (2000). Map and database of quaternary faults and folds in venezuela and its offshore regions. USGS.open-file report 00-0018. pág. 7-9

Audemard, Franck A & Audemard, Felipe E. (2002). Structure of Mérida Andes, Venezuela: relations with the south America-Caribbean geodynamic interaction. pág.1-6

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 Cruzm, p. 271-290.

Benedetto, G. y T. Sánchez, (1979). Modelo de desarrollo del Océano Proto-Atlántico en la región Norte de Suramérica. Fourth latinamerican Geological conference, Port-of-spain, Trinidad And Tobago.

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, pág. 156. EGMG-UCV.

Bermúdez, M., Van der Beek, P., Bernet, M. (2012). Strong tectonic and weak climatic control on exhumation rates in the Venezuelan Andes, doi:10.1130/L212.1 pág. 1-14

Boggs, S. Jr. (2009). Petrology of Sedimentary Rocks. Cambridge University Press, Cambridge. 600 pp.

Bookhagen, B. (2010). High resolution spatiotemporal distribution of rainfall seasonality and extreme events. based on a 12-year TRMM time series, in review.(1998-2009).<http://www.geog.ucsb.edu/~bodo/TRMM/>. (último acceso en abril-mayo 2014).

Chacin, L & Jacome, M. (2008). Subsidence analysis of the Barinas-Apure Basin: Western Venezuela. pág 4-7.

Conover W (1980). Practical nonparametric statistic. New York: J Wiley.

Deramiroff (1971) <http://www.pdvsa.com/lexico> (último acceso en abril-mayo 2014).

Felicísimo, A (1994). Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en ciencias ambientales. pág. 117-120 (<http://www.etsimo.uniovi.es/feli/pdf/libromdt.pdf>).

Flores, Juan y Méndez, Arelis (2005). Correlación estratigráfica y geocronológica de las quebradas Hoyos y Vichú por el método de huellas de fisión, Formación Betijoque, Estado Trujillo. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo. pág 30-80.

Gamero, A. y Reverty, M. (2011). Estudio geoquímico y mineralógico de minerales pesados en la zona nor – occidental del estado Bolívar. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería. Caracas. pág. 16-22.

González de Juana, C.,(1952). Introducción a la geología de Venezuela. Bol. Geol., Caracas 2 (6). pág. 110

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.

González de Juana, C y Otros.,(1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. FONINVES. Caracas.

Huber, O & Alarcon., 1988. Mapa de Vegetación de Venezuela Bioma-MARNR. Escala 1: 2.000.000

Kohn, B & Shangam, R. (1984). Mesozoic-Pleistocene fission-track ages on rocks of the Venezuelan Andes and their tectonic implications. Department of Geology and Mineralogy Ben-Gurion University of the Negev Beer Sheva, Israel 84120.

Krumbein, W.C., 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. Journal of Sedimentary Petrology 11 (2), 64–72 P.

Krumbein, W y Sloss (1955). Stratigraphy and Sedimentation. San Francisco.

León, Antonio (2005). Integración Geológica- Estructural de los cuadrantes 6044-III NE, SE, NO, SO y 6142-III NE, SE, NO, SO pertenecientes a los flancos Norte y Sur de los Andes Venezolanos.120pp.

Macellari, C. E., 1982. El Mio-Plioceno de la depresión del Táchira (Andes venezolanos), distribución paleogeográfica e implicaciones tectónicas. *Geos., Esc. Geol. y Minas*, U.C.V.

Mayer, L., 1990. Introduction to quantitative Geomorphology: an exercise manual, Englewood Cliffs NJ, Prentice Hall. 380 P.

Milosvski, V. y Kónonov, V (1982). Mineralogía. Editorial Mir, Moscú. pág 155.

Monasterios, M & Reyes, S., 1980. Diversidad ambiental y variación de la vegetación en los páramos de los Andes Venezolanos. En: estudios ecológicos en los páramos- talleres gráficos universitarios ULA.

Moore, Grayson & Ladson (1991). Modelado de terreno digital, una revisión de las aplicaciones hidrológicas, geomorfológicas y ecológicas. *Procesos hidrológicos* 5:3-30, Copiado ©1991 por John Wiley and Sons Ltd.

Moore, I.D. Y Wilson, J.P., 1993. Length-Slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo.

Moreno C & Siso G (1993). Enciclopedia Temática de Venezuela "Geografía", grupo editorial Venelibros, C.A. pág 75-78.

PDVSA-LÉXICO ESTRATIGRÁFICO (2010). Fm Rio Yuca, Fm Parangula, Fm Sierra Nevada y Fm La Cope, Fm Paguey. <http://www.pdvsa.com/lexico/u10w.htm> consulta 10 septiembre 2013.

Pierce, G. R., 1960. Geología de la cuenca de Barinas. *III Cong. Geol. Venez.*, Caracas, 1959, Mem., 1: 214-276.

Schubert, C. (1972). Boconó fault, Venezuelan Andes. *Science*; 175: pág. 558-561.

Stephan, J.,(1977). El contacto de la Cadena Caribe- Andes Merideños entre Carora y El Tocuyo Estado Lara: observaciones sobre el Estilo y la Edad de las Deformaciones Cenozoicas en el Occidente Venezolano. V Congreso Venezolano de Geología, Caracas. pág 68-72.

Stephan, J.F., 1982. Evolution geodynamique du domaine Caraibe, Andes et chaine Caraibe sur la transversale de Barquisimeto (Venezuela). PhD Thesis, Paris.

Stephan, J.F., 1985. Andes et chaine Caraibe sur la transversale de Barquisimeto (Venezuela). Evolution geodynamique. Symposium Geodynamique des Caraibes, Paris. editions Technip, Paris.

Sutton, F. A., 1946. Geology of Maracaibo Basin, Venezuela: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 30: 1621-17

Tricart, J., 1961. Problème du développement dans les Andes Vénéliennas, París, centre de documentation universitaire de la soborne.

Venturini, O., 1983. Geografia de la región de los Andes Venezolanos. Vol 7. Ariel-Seix Barral, Venezuela. pág. 15-48.

Vivas, L., 1992. Los Andes de Venezuela. Ed. Academica Nacional de la Historia. pág. 12-70.

Wilson, J.P.; Gallant, J.C. (2000). "Chapter 1". In Wilson, J.P., and Gallant, J.C. (Eds.). Terrain Analysis: Principles and Applications. New York: Wiley. pág. 1-27 P. ISBN 0-471-32188-5. Retrieved 2007-02-16.

ANEXOS