

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**“ESTUDIO DE LOS PROCESOS EROSIVOS EN LA ZONA  
CIRCUNDANTE A LOS RÍOS AKANÁN Y APARAMÁN  
MEDIANTE TÉCNICAS DE GEOMORFOLOGÍA  
CUANTITATIVA”**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Bachiller  
Calderón G. Roxana J.  
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo.

Caracas, 28 Octubre de 2015

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**“ESTUDIO DE LOS PROCESOS EROSIVOS EN LA ZONA  
CIRCUNDANTE A LOS RÍOS AKANÁN Y APARAMÁN  
MEDIANTE TÉCNICAS DE GEOMORFOLOGÍA  
CUANTITATIVA”**

Tutor Académico: Prof. Mauricio Bermúdez

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Bachiller  
Calderón G. Roxana J.  
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo.

Caracas, 28 Octubre de 2015

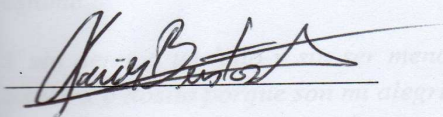


Caracas, 28 Octubre de 2015

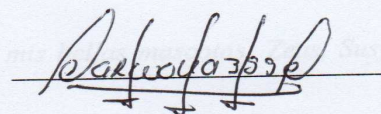
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller, titulado:

**“ESTUDIO DE LOS PROCESOS EROSIVOS EN LA ZONA CIRCUNDANTE A LOS RÍOS AKANÁN Y APARAMÁN MEDIANTE TÉCNICAS DE GEOMORFOLOGÍA CUANTITATIVA”**

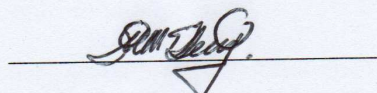
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el (los) autor (es), lo declaran APROBADO.



Prof. Xavier Bustos



Prof. Steffany Carmona



Prof. Lenin González

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo está especialmente dedicado a:*

*Mis padres: Wilfredo Calderón García y Alba Godoy Azuaje por darme la vida, el apoyo incondicional en todo, creer siempre en mí y en todos mis proyectos.*

*A mi hermoso amor Pablo Escamez por darme su amor, apoyo incondicional y hacerme feliz día a día.*

*A mi abuela Aura García por ser mi ejemplo a seguir, por ser esa persona que no importando la situación siempre está allí luchando y dando su mejor sonrisa ante la vida.*

*A mis hermanas Rosaura y Yohana que han estado conmigo en todo momento y siempre me han apoyado en todo y mis cuñados Junior y Marcos por formar parte de mi familia.*

*A mis lindas sobrinas que con un abrazo y una sonrisa hacen que todo cansancio se esfume.*

*Y sin dejar a un lado y sin ser menos importantes a mis bellas mascotas: Zeus, Susy, Shakira y Rosito porque son mi alegría y los adoro.*

*En fin este proyecto y mis futuras investigaciones siempre estarán dedicado a mi bella familia porque juntos siempre somos un equipo y los amo!*

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente agradecida a Dios por darme este halo de vida y permitirme existir.

A mi país, mi amada Venezuela, mi la tierra querida.

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela por ser mi segunda casa, brindarme la oportunidad de crecer en muchos aspectos de mi vida.

A mi escuela de Geología por ser allí donde aprendí grandes cosas y fue allí donde me enamore día a día de mi carrera.

Al Laboratorio de Termocronología que fue el que me abrió las puertas y me permitió conocer un mundo de cosas aplicables a la geología.

A mis padres por darme vida y amor y día a día creer en mí.

A mi amore Pablo que siempre me ha apoyado en todo momento y me ha tenido inmensa paciencia.

A los profesores que no solo me impartieron conocimientos sino que también me han dejado lecciones de vida, y que aunque pase el tiempo siempre estarán allí, son mis ejemplos a seguir: el profesor Mauricio Bermúdez, la profesora Carolina Machillanda, el Profesor Mederos y el Prof. Rafael Falcón.

Al grupo de escaladores de “Tierra de Sueños”, especialmente al profesor Ricardo Vélez por traernos las muestras para ser analizadas y procesadas generar información aquí presente. .

A todos aquellos profesores que pusieron una cuota de enseñanza en mí y permitirme hoy ser una profesional de las ciencias.

A mis amigos: Siulita, Lisbeth, Yess, Jessi, Rubén, Sauri y Aixa por apoyarme en todo momento y estar allí siempre.

A mi amiga Rosa J que con el poco tiempo que llevo conociéndola ha sido un gran apoyo y gran amiga.

Al grupo del laboratorio Marlene, Rosa, Esparta y a todos.

A la señora Gelin por su gran colaboración en el procesamiento mediante MEB.

En general a todas aquellas personas que de una u otra manera han formado parte de lo que soy. **A TODOS MIL GRACIAS!**

**Calderón G. Roxana J.**

**“ESTUDIO DE LOS PROCESOS EROSIVOS EN LA ZONA CIRCUNDANTE A LOS RÍOS AKANÁN Y APARAMÁN MEDIANTE TÉCNICAS DE GEOMORFOLOGÍA CUANTITATIVA”**

**Tutor académico: Mauricio Bermúdez. Tesis, Caracas UCV. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2015, 203p.**

**Palabras claves: Geomorfología Cuantitativa, erosión, minerales pesados, granulometría, ArcGIS 10.2, Microscopía Electrónica de barrido (MEB), Flex2d.**

**RESUMEN**

El Trabajo especial de grado que se presenta a continuación relaciona técnicas de geomorfología cuantitativa, considerando de manera directa mediante análisis digital del terreno, estudios morfoestructurales, índices de erosión y análisis visual y ópticos cómo interactúan los agentes erosivos y el grado de influencia que tienen los mismos en zonas tan antiguas como el macizo guayanés. Se evaluó una zona desconocida, en donde se realizó una recolección de 3 muestras de sedimentos y con ellos determinar indicativos de procedencia e identificar el retrabajo en los granos mediante índices de redondez y esfericidad y también identificar de ser posible los tipos de minerales presentes. Se utilizaron 5 softwares distintos para el procesamiento de datos: ArcGIS 10.2 (Análisis de datos y resultados de mapas), Envi 4.7 (evaluación de firmas espectrales), ImageJ (Procesamiento de muestras), Flex2d(Análisis Flexural) e Inca(Procesamiento de muestras mediante MEB).

Finalmente teniendo todos los datos se obtuvieron correlaciones para hacer integraciones de resultados e identificar así la influencia de los factores climáticos y tectónicos en el relieve actual de la zona. Se pudo identificar tres grandes unidades: Unidad de Tepuyes, Unidad de Sabanas y Unidad de llanuras aluviales en las cuales la influencia de los mecanismos tectónicos, erosivos y estructurales eran variables en las mismas, el análisis textural y morfométrico determinó la cercanía media a su roca fuente y los minerales pesados característicos observados en las muestras fueron en gran parte circones, rutilos, óxidos y se encontró también Tantalio que forma parte de la composición química del coltan.

Se pudo concluir que los procesos exógenos presentan una gran influencia en las condiciones del relieve actual en el sector tepuyano y como día a día repercute dichos procesos en el modelado de la misma.

## ÍNDICE

<b>1. MARCO INTRODUCTORIO .....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	2
1.4 OBJETIVOS .....	2
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.5 ALCANCE .....	4
1.6 METODOLOGIA DEL TRABAJO .....	4
1.7 ANTECEDENTES .....	6
1.7.1 ANTECEDENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	6
1.7.2 ANTECEDENTES METODOLÓGICOS.....	9
<b>2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y FISIAGRÁFICAS .....</b>	<b>10</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	10
2.2 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	10
2.3 GEOLOGÍA.....	12
2.3.1 TECTÓNICA GEOLÓGICA .....	12
2.3.2 GEOLOGÍA REGIONAL.....	16
2.3.3 FORMACIONES GEOLÓGICAS .....	16
2.3.4 PROVINCIAS GEOLÓGICAS PRESENTES.....	29
2.3.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	29
2.3.6 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS .....	31
2.3.7 PALEOAMBIENTE .....	34
2.4 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS .....	35
2.4.1 CLIMA .....	35
2.4.2 PLUVIOSIDAD .....	36
2.4.3 TEMPERATURA .....	37
2.4.4 VEGETACIÓN .....	38
2.4.5 VIENTOS.....	38

<b>3. METODOLOGÍA Y MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>39</b>
<b>3.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>39</b>
3.2.1 EROSIÓN .....	39
3.2.2 TELEDETECCIÓN .....	40
3.2.3 LANDSAT 8.....	43
3.2.4 ANÁLISIS VISUAL DE IMÁGENES SATELITALES .....	44
<b>3.3 TRABAJO DE PRE-CAMPO.....</b>	<b>45</b>
3.3.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	45
3.3.2 RECOPIACIÓN CARTOGRÁFICA.....	45
<b>3.4 TRABAJO DE CAMPO .....</b>	<b>45</b>
<b>3.5 TRABAJO DE LABORATORIO .....</b>	<b>46</b>
3.5.1 PREPARACIÓN DE SECCIONES FINAS.....	47
3.5.2 PREPARACIÓN DE MINERALES MEDIANTE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.....	56
<b>3.6 ETAPA DE OFICINA .....</b>	<b>56</b>
3.6.1 ANÁLISIS DE MINERALES PESADOS MEDIANTE MICROSCOPIA .....	56
3.6.2 ANÁLISIS DE IMÁGENES DE MINERALES PESADOS MEDIANTE IMAGE J.....	58
3.6.3 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES SATELITALES .....	59
3.6.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y MORFOMÉTRICO MEDIANTE ARCGIS 10.2.....	61
3.6.5 ÍNDICE DE HUMEDAD (WI).....	79
3.6.6 ÍNDICE DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO (STI) .....	80
3.6.7 GENERACIÓN DE FIRMAS ESPECTRALES MEDIANTE EL SOFTWARE ENVI 4.7... ..	80
3.6.8 MODELADO FLEXURAL MEDIANTE FLEX2D.....	81
<b>4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>	<b>83</b>
<b>4.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>83</b>
<b>4.2 ANÁLISIS VISUAL DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8 OLI .....</b>	<b>83</b>
<b>4.3 ANÁLISIS DE ÍNDICE DE VEGETACIÓN EVALUADAS MEDIANTE ArcGIS 10.2.....</b>	<b>88</b>
<b>4.4 ANÁLISIS DE FIRMAS ESPECTRALES MEDIANTE ENVI 4,7 .....</b>	<b>93</b>
<b>4.5 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MORFOESTRUCTURALES EN LA ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>95</b>
4.5.1 ALTITUD .....	95
4.5.2 PENDIENTE.....	98

4.5.3 LITOESTRATIGRAFÍA.....	100
4.5.4 HIDROGRAFÍA .....	101
4.5.5 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL RELIEVE.....	102
4.5.6 PRECIPITACIÓN.....	111
4.5.7 ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	112
<b>4.6 CLASIFICACIÓN FISIOGRAFICA DEL TERRENO MEDIANTE EL MÉTODO CIAF</b>	<b>114</b>
<b>4.7 CURVAS HIPSOMÉTRICAS PARA LAS CUENCAS AKANÁN Y APARAMÁN .....</b>	<b>119</b>
4.7.1 ELEMENTOS MORFOLÓGICOS DE LA CUENCAS APARAMÁN Y AKANÁN.....	121
<b>4.8 ANÁLISIS DE MINERALES PESADOS .....</b>	<b>122</b>
4.8.1 ANÁLISIS DE LA MUESTRA Q1 .....	122
4.8.2 ANÁLISIS DE LA MUESTRA Q2 .....	127
4.8.3 ANÁLISIS DE LA MUESTRA Q3 .....	132
<b>4.9 CARACTERIZACIÓN TEXTURAL DE MINERALES PESADOS MEDIANTE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB) .....</b>	<b>136</b>
<b>4.10 ATRIBUTOS SECUNDARIOS.....</b>	<b>141</b>
4.10.1 ÍNDICE DE HUMEDAD (WI) E ÍNDICE DE HUMEDAD CON PRECIPITACIÓN (WIP)	141
4.10.2 CAPACIDAD DE TRASPORTE DE SEDIMENTOS (STI) Y CAPACIDAD DE TRASPORTE DE SEDIMENTOS CON PRECIPITACIÓN (STIP) .....	144
4.10.3 PODER DEL FLUJO DE CIZALLA (SSP) Y PODER DEL FLUJO DE CIZALLA CON PRECIPITACIÓN (SSPP) .....	147
4.10.4 PODER DEL FLUJO UNITARIO (USP) Y PODER DEL FLUJO UNITARIO CON PRECIPITACIÓN (USPP).....	150
4.10.5 PODER DEL FLUJO TOTAL (TSP) Y PODER DEL FLUJO TOTAL CON PRECIPITACIÓN (TSPP).....	153
<b>4.11 COMPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES DE EROSION ESTABLECIDAS POR SHUBERT Y BRICEÑO (1986) EN ZONAS DE TEPUYES Y LA ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>156</b>
<b>4.12 ANÁLISIS FLEXURAL DE LA LITOSFERA EN LA ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>157</b>
<b>5. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>161</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>170</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>172</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>176</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de la metodología de trabajo.....	<b>5</b>
<b>Figura 2.</b> Mapa Geológico Generalizado del Escudo de Guayana (Tomado de Sidder y Mendoza, 1995).....	<b>8</b>
<b>Figura 3.</b> (a) Ubicación del área de estudio en el estado Bolívar. (b) Imagen 3D de la zona de estudio y área delimitada (lado izquierdo).....	<b>11</b>
<b>Figura 4.</b> Provincias Geocronológicas del cratón Amazónico (Tomado de Tassinari y Macambira, 2000). .....	<b>13</b>
<b>Figura 5.</b> Provincias Litotectónicas del Escudo de Guayana, Venezuela. (Tomado de Mendoza et al., 1977).....	<b>16</b>
<b>Figura 6.</b> Esquema Litoestratigráfico de la Provincia de Pastora. ....	<b>19</b>
<b>Figura 7.</b> Extensión de la Provincia de la Pastora en la parte Oriental del Escudo de Guayana (Tomado de Guillieux, 1997). ....	<b>22</b>
<b>Figura 8.</b> Unidades Litodémicas asociadas a la Provincia de Cuchivero.....	<b>23</b>
<b>Figura 9.</b> Esquema litoestratigráfico de la Provincia de Roraima.....	<b>26</b>
<b>Figura 10.</b> Columna Estratigráfica de la Formación Ichún (Tomado de Briceño y otros, 1989). ....	<b>28</b>
<b>Figura 11.</b> Provincia Geológica presente en la zona de estudio. ....	<b>29</b>
<b>Figura 12.</b> Hipótesis de la evolución geomorfológica del paisaje tepuyano (Tomado de Schubert, 1984). ....	<b>32</b>
<b>Figura13.</b> Hipótesis geomorfológica del relieve en el macizo Parú-Euaja y alrededores. 1. Paisaje desarrollado sobre rocas graníticas y volcánicas. 2. Recubrimiento sedimentario. 3. Deformación de las rocas sedimentarias a causa de las intrusiones graníticas. 4. Erosión e inversión topográfica., con posterior peneplanización. (Tomado de Santiago, 1992).....	<b>32</b>
<b>Figura 14.</b> Mapa de clasificación de Köeppen (Tomado y modificado de <a href="http://www.venemia.com">www.venemia.com</a> ). ....	<b>36</b>
<b>Figura 15.</b> Mapa de Pluviosidad, Tomado de ( <a href="http://www.venemia.com">www.venemia.com</a> ).....	<b>37</b>



<b>Figura 16.</b> Mapa térmico de Venezuela (Tomado de <a href="http://www.venemia.com">www.venemia.com</a> ). .....	<b>37</b>
<b>Figura 17.</b> Mapa de Vientos Alisios (Tomado de <a href="http://www.venemia.com">www.venemia.com</a> ).....	<b>38</b>
<b>Figura 18.</b> Proceso general de la erosión (Tomado de Suárez, 2001).....	<b>39</b>
<b>Figura 19.</b> Proceso de erosión del suelo causado por el agua (Tomado de Suárez, 2001). .....	<b>40</b>
<b>Figura 20.</b> Componentes de un sistema de Teledetección (Tomado de Tuesta y Trigozo, 2013). .....	<b>41</b>
<b>Figura 21.</b> Longitudes de Ondas de Espectro Electromagnético (Tomado de Plaza, 2002). .....	<b>42</b>
<b>Figura 22.</b> Ubicación de tomas de muestras. ....	<b>46</b>
<b>Figura 23.</b> Diagrama de flujo que ilustra las diversas fases ejecutadas para el procesamiento de muestras. ....	<b>48</b>
<b>Figura 24.</b> Tamizadora utilizada en el estudio. ....	<b>49</b>
<b>Figura 25.</b> a) Mesa de sacudida Wilfley del Laboratorio de Termocronología de la UCV, b) proceso de secado de las muestras. 1 y 2: Pasan los minerales pesados. 3 -4 y 5: Pasan los minerales menos pesados. 6 y 7: Pasan los minerales livianos.....	<b>50</b>
<b>Figura 26.</b> Separación magnética manual. ....	<b>51</b>
<b>Figura 27.</b> Separación magnética mediante el Magnet -Lift.....	<b>52</b>
<b>Figura 28.</b> Procedimiento para la separación de minerales pesados y livianos. ....	<b>53</b>
<b>Figura 29.</b> Fracciones pesadas y no pesadas obtenidas durante el proceso de separación por Bromoformo. ....	<b>53</b>
<b>Figura 30.</b> Separador magnético Isodinámico FRANTZ. Laboratorio de Termocronología de La Escuela de Geología Minas y Geofísica de La UCV. ....	<b>54</b>
<b>Figura 31.</b> Esquema del procedimiento para la elaboración de muestras. ....	<b>55</b>
<b>Figura 32.</b> Microscópio Electrónico de Barrido MEB. Escuela de Ingeniería Metalurgia y Ciencias de los Materiales UCV. ....	<b>56</b>
<b>Figura 33.</b> Carta de Krumbeim y Sloss (1963) (Tomado de Corrales, 1977). ....	<b>57</b>

<b>Figura 34.</b> Procesamiento de Análisis de Partículas mediante <i>ImageJ</i> .....	<b>59</b>
<b>Figura 35.</b> Procedimiento para buscar imágenes Satelitales (sitio de descargas: <a href="http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp">http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp</a> ) .....	<b>60</b>
<b>Figura 36.</b> Procedimiento para realizar las combinaciones de bandas.....	<b>61</b>
<b>Figura 37.</b> Esquema del proceso para realizar un análisis hidrológico (Elaboración propia).....	<b>62</b>
<b>Figura 38.</b> (A) Proyección en capas vectoriales. (B) Proyección en ráster.....	<b>64</b>
<b>Figura 39.</b> Proceso para realizar el Sink mediante ArcGIS 10.2. ....	<b>64</b>
<b>Figura 40.</b> Corrección del MDE mediante ArcGIS 10.2.....	<b>65</b>
<b>Figura 41.</b> Direcciones de flujo de corriente (Elaboración propia).....	<b>66</b>
<b>Figura 42.</b> Procedimiento para realizar la dirección de flujo.....	<b>66</b>
<b>Figura 43.</b> Proceso para calcular la Acumulación de flujo en ArcGIS 10.2 .....	<b>67</b>
<b>Figura 44.</b> Procedimiento para calcular el stream definition .....	<b>68</b>
<b>Figura 45.</b> Clasificación del Enlace de Corriente mediante ArcGIS 10.2 .....	<b>69</b>
<b>Figura 46.</b> Proceso para determinar características de la corriente mediante ArcGIS 10.2.....	<b>69</b>
<b>Figura 47.</b> Procedimiento modificar de vértice a punto mediante ArcGIS 10.2.....	<b>70</b>
<b>Figura 48.</b> Proceso para realizar una nueva capa tipo punto en ArcGIS 10.2 .....	<b>71</b>
<b>Figura 49.</b> Delimitación de Cuenca mediante ArcGIS 10.2 .....	<b>71</b>
<b>Figura 50.</b> Cálculo de la pendiente mediante ArcGIS 10.2 .....	<b>72</b>
<b>Figura 51.</b> Esquema de elementos que definen la morfología de una cuenca. ....	<b>73</b>
<b>Figura 52.</b> Curva Hipsométrica generalizada. A =Denota una cuenca en etapa de desequilibrio, con valles profundos y praderas amplias, geológicamente joven o una cuenca de meseta. B =Cuenca con etapa de equilibrio, geológicamente madura o una cuenca de montaña. C =Es una cuenca erosionada o con valles extensos y cumbres escarpadas (Tomado de Bustos et al., 2012). .....	<b>76</b>
<b>Figura 53.</b> Gráficas de la Curva Hipsométrica.(Tomado de Bustos et. al.,2012). ....	<b>77</b>

<b>Figura 54.</b> Procesamiento de firmas espectrales en zonas específicas.....	<b>81</b>
<b>Figura 55.</b> Combinaciones de Bandas de imágenes Landsat 8, A) Color Natural, B) Infrarrojo, C),D) y E) Falso Color realizadas mediante el software <i>Envi 4.7</i> .....	<b>86</b>
<b>Figura 56.</b> Valores de índice de vegetación en la zona de estudio.....	<b>89</b>
<b>Figura 57.</b> Índice de Vegetación de la zona de Estudio, parte Superior de Oeste a Este :Amaruay (T1) ,Padapué (T2) , Aparamán (T3), Murisipán (T4) y Kamarkawarai tepuy(T5) ;lateral Izquierdo Superior Cuenca Akanán (C1) y Cuenca Aparamán (C2) inferior.....	<b>92</b>
<b>Figura 58.</b> Firmas Espectrales evaluadas mediante <i>Envi 4,7</i> ;con la combinación de banda 654 en la zona de Estudio, parte Superior de Oeste a Este :Amaruay (T1) ,Padapué (T2) , Aparamán (T3), Murisipán(T4) y Kamarkawarai tepuy(T5) ;lateral Izquierdo Superior Cuenca Akanán (C1) y Cuenca Aparamán (C2) inferior.....	<b>94</b>
<b>Figura 59.</b> .Histograma de elevación en la zona de estudio (MDE). .....	<b>95</b>
<b>Figura 60.</b> Modelo de Elevación Digital de la zona de Estudio, parte Superior de Oeste a Este :Amaruay (T1) ,Padapué (T2) , Aparamán (T3), Murisipán(T4) y Kamarkawarai tepuy(T5) ;lateral Izquierdo Superior Cuenca Akanán (C1) y Cuenca Aparamán (C2) inferior.....	<b>96</b>
<b>Figura 61.</b> Modelo de Elevación Digital en 3D de la zona de estudio.....	<b>97</b>
<b>Figura 62.</b> Perfil frontal del Modelo de Elevación Digital en 3D de la zona de estudio. ....	<b>98</b>
<b>Figura 63.</b> Valores de pendientes en grados en la zona de estudio.....	<b>98</b>
<b>Figura 64.</b> Pendiente en grados de la zona de estudio, parte Superior de Oeste a Este :Amaruay (T1) ,Padapué (T2) , Aparamán (T3), Murisipán(T4) y Kamarkawarai tepuy(T5) ;lateral Izquierdo Superior Cuenca Akanán (C1) y Cuenca Aparamán (C2) inferior.....	<b>99</b>
<b>Figura 65.</b> Mapa litoestratigráfico de la zona de estudio. ....	<b>100</b>
<b>Figura 66.</b> Elementos Hidrográficos en la zona de estudio.....	<b>102</b>
<b>Figura 67.</b> Análisis descriptivo del relieve, unidades geomorfológicas. ....	<b>103</b>
<b>Figura 68.</b> Relieve (0,5 Km) de la zona de Estudio, parte Superior de Oeste a Este :Amaruay (T1) ,Padapué (T2) , Aparamán (T3), Murisipán(T4) y Kamarkawarai tepuy	

(T5); lateral Izquierdo Superior Cuenca Akanán (C1) y Cuenca Aparamán (C2) inferior. .....	<b>105</b>
<b>Figura 69.</b> Histograma de valores de relieve a 0,5 Km en la zona de estudio. ....	<b>106</b>
<b>Figura 70.</b> Histograma de valores de relieve a 1 Km en la zona de estudio. ....	<b>107</b>
<b>Figura 71.</b> Relieve 1Km de la zona de Estudio, parte Superior de Oeste a Este :Amaruay (T1) ,Padapué (T2) , Aparamán (T3), Murisipán(T4) y Kamarkawarai tepuy(T5); lateral Izquierdo Superior Cuenca Akanán (C1) y Cuenca Aparamán (C2) inferior.....	<b>108</b>
<b>Figura 72.</b> Histograma de valores de relieve a 3 Km en la zona de estudio. ....	<b>109</b>
<b>Figura 73.</b> Relieve 3Km de la zona de Estudio, parte Superior de Oeste a Este :Amaruay (T1) ,Padapué (T2) , Aparamán (T3), Murisipán(T4) y Kamarkawarai tepuy(T5) ;lateral Izquierdo Superior Cuenca Akanán (C1) y Cuenca Aparamán (C2) inferior.....	<b>110</b>
<b>Figura 74.</b> Valores de precipitación promedio anual en la zona de estudio.....	<b>111</b>
<b>Figura 75.</b> Histograma de valores de precipitación en la zona de estudio. ....	<b>112</b>
<b>Figura 76.</b> Dirección de flujo de drenaje donde se muestra la alta influencia del control estructural en la zona.....	<b>113</b>
<b>Figura 77.</b> Mapa estructural analizado según elementos observados en la zona de estudio. ....	<b>114</b>
<b>Figura 78.</b> Mapa fisiográfico de la zona de estudio. ....	<b>117</b>
<b>Figura 79.</b> Curvas Hipsométricas a) Cuenca Akanán y grafico de valores, b) Cuenca Aparamán y gráfico de valores. ....	<b>120</b>
<b>Figura 80.</b> Valores de frecuencia de la muestra Q1 de la sección epóxica. ....	<b>123</b>
<b>Figura 81.</b> Valores de Redondez y Esfericidad tomados de cada uno de los granos de la muestra Q1 en la sección Epóxica. ....	<b>124</b>
<b>Figura 82.</b> A) Tabla con valores de redondez y esfericidad para minerales claros (Q1). B) Diagrama de barras con los valores obtenidos C) Datos resultantes de redondez y esfericidad para minerales claros (Q1).....	<b>125</b>

<b>Figura 83.</b> A) Tabla con valores de redondez y esfericidad para minerales oscuros (Q1). B) Diagrama de barras con los valores obtenidos. C) Datos resultantes de redondez y esfericidad para minerales oscuros (Q1). .....	<b>125</b>
<b>Figura 84.</b> Muestra de minerales pesados a) muestra de Circones con inclusiones de material de óxido b) muestra de mineral de sillimanita alta birrefringencia nótese el hábito de la misma. ....	<b>127</b>
<b>Figura 85.</b> Valores de frecuencia de la muestra Q2 de la sección epóxica. ....	<b>128</b>
<b>Figura 86.</b> A) Tabla con valores de redondez y esfericidad para minerales claros (Q2),B)Diagrama de barras con los valores obtenidos C) Datos resultantes de redondez y esfericidad para minerales claros (Q2). ....	<b>129</b>
<b>Figura 87.</b> A) Tabla con valores de redondez y esfericidad para minerales oscuros (Q2),B) Diagrama de barras con los valores obtenidos C) Datos resultantes de redondez y esfericidad para minerales oscuros (Q2). ....	<b>130</b>
<b>Figura 88.</b> Sección fina de muestras de minerales a) muestra Q2-a, b) muestra Q2-b .....	<b>130</b>
<b>Figura 89.</b> Valores de Redondez y Esfericidad tomados de cada uno de los granos de la muestra Q2 en la sección Epóxica. ....	<b>131</b>
<b>Figura 90.</b> Valores de frecuencia de la muestra Q3 de la sección epóxica. ....	<b>132</b>
<b>Figura 91.</b> A) Tabla con valores de redondez y esfericidad para minerales claros(Q3),B) Diagrama de barras con los valores obtenidos C) Datos resultantes de redondez y esfericidad para minerales claros (Q3). ....	<b>133</b>
<b>Figura 92.</b> A) Tabla con valores de redondez y esfericidad para minerales oscuros(Q3),B)Diagrama de barras con los valores obtenidos C) Datos resultantes de redondez y esfericidad para minerales oscuros. ....	<b>133</b>
<b>Figura 93.</b> Valores de Redondez y Esfericidad tomados de cada uno de los granos de la muestra Q3 en la sección epóxica. ....	<b>134</b>
<b>Figura 94.</b> Sección fina de minerales pesados a) muestra Q3-a, b) muestra Q3-b. ....	<b>135</b>
<b>Figura 95.</b> Muestras Q1a y Q1b, representan granos analizados mediante MEB. ....	<b>137</b>
<b>Figura 96.</b> Muestras Q2a y Q2b, representan análisis de la composición mineralógica de granos mediante MEB. ....	<b>139</b>

<b>Figura 97.</b> Muestras Q3a y Q3b de la composición mineralógica de granos mediante MEB. ....	<b>140</b>
<b>Figura 98.</b> Valores de índice de humedad de la zona de estudio. ....	<b>142</b>
<b>Figura 99.</b> Valores de índice de humedad de precipitación de la zona de estudio. ....	<b>142</b>
<b>Figura 100.</b> a) Índice de Humedad (WI) en la zona de estudio, b) Índice de Humedad con precipitación en la zona de estudio. ....	<b>143</b>
<b>Figura 101.</b> Valores de Capacidad de transporte de sedimento de la zona de estudio. ....	<b>145</b>
<b>Figura 102.</b> Valores de Capacidad de transporte de sedimentos de precipitación de la zona de estudio. ....	<b>145</b>
<b>Figura 103.</b> a) Capacidad de flujo de sedimento (STI) en la zona de estudio, b) Capacidad de flujo de sedimentos con precipitación (STIP) en la zona de estudio. ....	<b>146</b>
<b>Figura 104.</b> Valores de poder de flujo de cizalla (SSP) de la zona de estudio. ....	<b>148</b>
<b>Figura 105.</b> Valores de poder de flujo de cizalla con precipitación (SSPP) de la zona de estudio. ....	<b>148</b>
<b>Figura 106.</b> a) Valores de Poder de flujo de cizalla (SSP) en la zona de estudio, b) Poder de flujo de cizalla con precipitación (SSPP) en la zona de estudio. ....	<b>149</b>
<b>Figura 107.</b> Valores de poder de flujo Unitario (USP) de la zona de estudio. ....	<b>151</b>
<b>Figura 108.</b> Valores de poder de flujo Unitario con precipitación (USPP) de la zona de estudio. ....	<b>151</b>
<b>Figura 109.</b> a) Valores de Poder de flujo Unitario (USP) en la zona de estudio, b) Poder de flujo Unitario con precipitación (USPP) en la zona de estudio. ....	<b>152</b>
<b>Figura 110.</b> Valores de poder de flujo Total (TSP) de la zona de estudio. ....	<b>154</b>
<b>Figura 111.</b> Valores de poder de flujo total con precipitación (TSPP) de la zona de estudio. ....	<b>154</b>
<b>Figura 112.</b> a) Valores de Poder de flujo Total (TSP) en la zona de estudio, b) Poder de flujo Total con precipitación (TSPP) en la zona de estudio. ....	<b>155</b>
<b>Figura 113.</b> a) Valores de Poder de flujo de cizalla (SSP) en la zona de estudio, b) Poder de flujo de cizalla con precipitación (SSPP) en la zona de estudio. ....	<b>156</b>

<b>Figura 114.</b> Perfil Longitudinal AA' de la zona de estudio. ....	<b>158</b>
<b>Figura 115.</b> Perfil longitudinal AA' de 35 Km aproximadamente entre las longitudes de 62.29° W y 61,9° W y latitud entre 5.92°N y 5.85°N, contenido en el recuadro pequeño el mapa gravimétrico (a.1), su perfil (a.2), el mapa topográfico (b.1) y su perfil (b.2).	<b>159</b>
<b>Figura 116.</b> Resultados obtenidos con El software Flex2d a los datos del perfil longitudinal. ....	<b>160</b>
<b>Figura 117.</b> Integración de Curvas Hipsométricas de Akanán y Aparamán.....	<b>163</b>
<b>Figura 118.</b> Gráficas de Relaciones Lineales entre: A)Precipitación (mm/año) vs Relieve(1Km), B) USP vs Relieve (1 Km), C)SSP vs Relieve (1 Km), D)TSP vs Relieve (1Km), E)Valores de Vegetación vs Relieve (1 Km), F)Relieve (1 Km) vs Indice de Humedad, G) Relieve (1 Km) vs Indice de transporte de sedimentos H) Precipitación vs Indice de Humedad con Precipitación , I)Valores de Vegetación vs Indice de Humedad. ....	<b>168</b>
<b>Figura 119.</b> Muestreo de granos, en Q1 se encuentran minerales de circón, rutilo, óxidos entre otro, los granos muestran relieves, birrefringencias que permiten distinguir de manera visual los granos, se puede observar granos sub angulosos a sub redondeados, Q2 presenta mayor cantidad de minerales de magnéticos y alta cantidad de óxidos, se pueden observar circones, muestras de rutilo, sillimanita entre otros,Q3 presenta minerales de circones, rutilo, óxidos entre otros.....	<b>173</b>
<b>Figura 120.</b> Muestreo de granos mediante microscopia electrónica de barrido, la muestra Q1 presenta granos elongados con aristas sub angulares los mismos presenta similitud de tamaño, la muestra Q2 presenta granos sub angulares a sub redondeados y en esta muestra específicamente se encuentra una gran cantidad de minúsculas granos,no presenta regularidad en los tamaños de granos, en la Q3 se pueden observar una muestra más limpia y el tamaño de granos mas regulares los mismos son alargados y sub angulares .....	<b>175</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cotas de sectores tepuyanos en la zona de estudio. ....	<b>12</b>
<b>Tabla 2.</b> Eventos tectónicos en el Guayana con relación al tiempo geológico. ....	<b>15</b>
<b>Tabla 3.</b> Superficies de Erosión del Escudo de Guayana (Tomado de Schubert, 1986). .....	<b>33</b>
<b>Tabla 4.</b> Características de las regiones espectrales (Tomado de Tuesta y Trigozo, 2013). ....	<b>43</b>
<b>Tabla 5.</b> Bandas en Landsat 8.....	<b>44</b>
<b>Tabla 6.</b> Ubicación de puntos de muestreo en la zona de estudio en GD (grados decimales) y GMS (grados, minutos y segundos).....	<b>45</b>
<b>Tabla 7.</b> Tabla de Susceptibilidad magnética y la relación del ángulo de inclinación del equipo FRANTZ (Tomado y modificado de Hess, 1959).....	<b>54</b>
<b>Tabla 8.</b> Valores de Índice de Gravelius (Tomado de Mármol, 2008). ....	<b>75</b>
<b>Tabla 9.</b> Clasificación de cuenca en función del coeficiente de masividad (Tomado de Mármol, 2008). ....	<b>75</b>
<b>Tabla 10.</b> Combinaciones de bandas (Tomado de Tuesta y Trigozo,2013).....	<b>83</b>
<b>Tabla 11.</b> Descripción de imágenes satelitales de la zona de estudio. ....	<b>88</b>
<b>Tabla 12.</b> Evaluación fisiográfica de la zona de estudio mediante el método CIAF (1992). ....	<b>118</b>
<b>Tabla 13.</b> Valores obtenidos de la integral hipsométrica para la cuenca Akanán....	<b>119</b>
<b>Tabla 14.</b> Valores obtenidos de la integral hipsométrica para la cuenca Aparamán.	<b>119</b>
<b>Tabla 15</b> Minerales que componen las muestras Q1, Q2 y Q3. ....	<b>135</b>
<b>Tabla 16.</b> Parámetros elásticos y geométricos para el modelado flexural en la zona de estudio (Tomado de Jiménez, 2015). ....	<b>157</b>
<b>Tabla 17.</b> Valores promedios de los diferentes parámetros analizados en la zona de estudio. ....	<b>164</b>



**Tabla 18.** Valores de correlacion para los diferentes parámetros analizados en la zona de estudio. .... **169**

## CAPITULO I

### 1. MARCO INTRODUCTORIO

#### 1.1 INTRODUCCIÓN

La Geología como ciencia que estudia el planeta Tierra en su conjunto describe los procesos, cambios y transformaciones ocurridos en él, intentando comprender el origen e interacción entre los procesos endógenos y exógenos a lo largo del tiempo geológico. Dicha ciencia al ser tan extensa conforma un conjunto de sub-ramas que permiten valorar diversos ámbitos de la geología y discriminar tal interacción, de un modo más específico, áreas tales como: geología estructural, estratigrafía, geomorfología, paleontología, sedimentología, petrología, entre otras.

A nivel geológico, el escudo Guayanés exhibe hoy día los innumerables procesos que han interactuado a través del tiempo, los cuales se ven afectados de manera directa por los mecanismos de meteorización y los procesos erosivos naturales, pero más recientemente también aquellos procesos superficiales provocados por la actividad humana.

En esta investigación, se propone llevar a cabo una caracterización geomorfológica cuantitativa de un sector específico del escudo de Guayana, que corresponde al conjunto los Hermanos conformado por el “*Amaruay Tepuy*” y el “*Padapué Tepuy*”, la Serranía de los Testigos compuesta por el “*Aparamán Tepuy*”, “*Murisipán Tepuy*”, el “*Kamarkawarai Tepuy*” y también el trayecto del río *Aparamán* que conecta con parte del río *Akanán* que va de norte a sur, en el cual se realizará una valoración de la tasa de influencia de los mecanismos erosivos presentes mediante el uso de rutinas especiales desarrolladas, que hoy en día han sido una de las herramientas más precisas para evaluar áreas de difícil acceso, como esta zona de estudio.

La importancia que tiene el estado Bolívar para el territorio nacional a nivel minero, geológico y estratégico es fundamental, puesto que en ese sector se encuentra un alto porcentaje de recursos mineros del país, además de otros elementos relacionados con la biodiversidad, la flora y la fauna. En los últimos 70 años, se han

llevado cabo importantes estudios por empresas privadas y entes gubernamentales, como por ejemplo: el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN) o el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) en donde muchos investigadores han generado aportes considerables sobre la geología de este sector que abarca aproximadamente el 50% del territorio nacional.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A pesar de todos los aportes mencionados anteriormente, aún la información a nivel geológico es escasa, debido al difícil acceso y los altos costos que presenta realizar actividades de campo en un sector prácticamente desconocido, este proyecto brindara elementos necesarios para realizar un estudio de la geomorfología cuantitativa en la zona, lo cual generará un aporte inicial para nuevas investigaciones en el sector.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Mediante la presente investigación se pretende generar nueva información que permita estudiar el grado de erosión que han sufrido los tepuyes. Adicionalmente, se intenta relacionar la erosión con tasas de trasportes de sedimentos que conducen los ríos Akanán y Aparamán, importantes sistemas de drenajes presentes en la zona de estudio, y cuantificar los posibles efectos de flexura que ha sufrido la litósfera.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar un estudio geomorfológico cuantitativo a lo largo de la zona circundante a las cuencas de los ríos Akanán y Aparamán y cuantificar el grado de erosión de los tepuyes existentes en el área de estudio, estado Bolívar.

### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Generar un análisis visual de combinaciones de bandas específicas mediante Imágenes satelitales Landsat 8.
- Evaluar firmas espectrales mediante *Envi 4.7* para identificar índices de vegetación presentes en la zona de estudio.
- Realizar un análisis geológico, estructural y geomorfológico en la zona de estudio utilizando la herramienta ArcGIS 10.2.
- Desarrollar un análisis fisiográfico de la zona de estudio mediante ArcGIS10.2.
- Realizar una diferenciación mineralógica y caracterización morfométrica de los minerales pesados para los sedimentos de los ríos Akanán y Aparamán evaluados en la zona de estudio.
- Realizar la caracterización textural de granos mediante el método de Microscopía Electrónica de Barrido MEB y estudiar la relación existente entre estos y los índices de erosión.
- Evaluar curvas hipsométricas para las cuencas determinadas en los ríos Akanán y Aparamán dentro de la zona de estudio.
- Realizar un mapa de los índices de erosión tomando en cuenta patrón de precipitaciones y tipo de litología presente en la zona.
- Generar mapas través de la integración geológica entre los datos obtenidos de las imágenes satelitales (Landsat 8) con el programa ArcGIS10.2 e identificar los niveles de erosión actuales presentes en la zona a escala 1:250 000.
- Comparar los niveles de erosión obtenidos en la actualidad con los 6 niveles de erosión propuesto por Schubert y Briceño (1986) en la zona de estudio.
- Realizar una evaluación flexural en la zona de estudio usando el software OSXFlex2D.

## 1.5 ALCANCE

Este estudio forma parte de un proyecto de investigación denominado **“Padapué Tepuy, tierra de sueños”**, conjuntamente con el Laboratorio de Termocronología de la U.C.V, el cual pretende cuantificar los agentes erosivos que afectan directamente la zona, se espera que dicho proyecto sea un aporte inicial a nuevas investigaciones en toda la zona del Escudo Guayanés.

## 1.6 METODOLOGIA DEL TRABAJO

La Figura 1 describe la metodología seguida durante la realización de la presente investigación se presenta en la siguiente página.

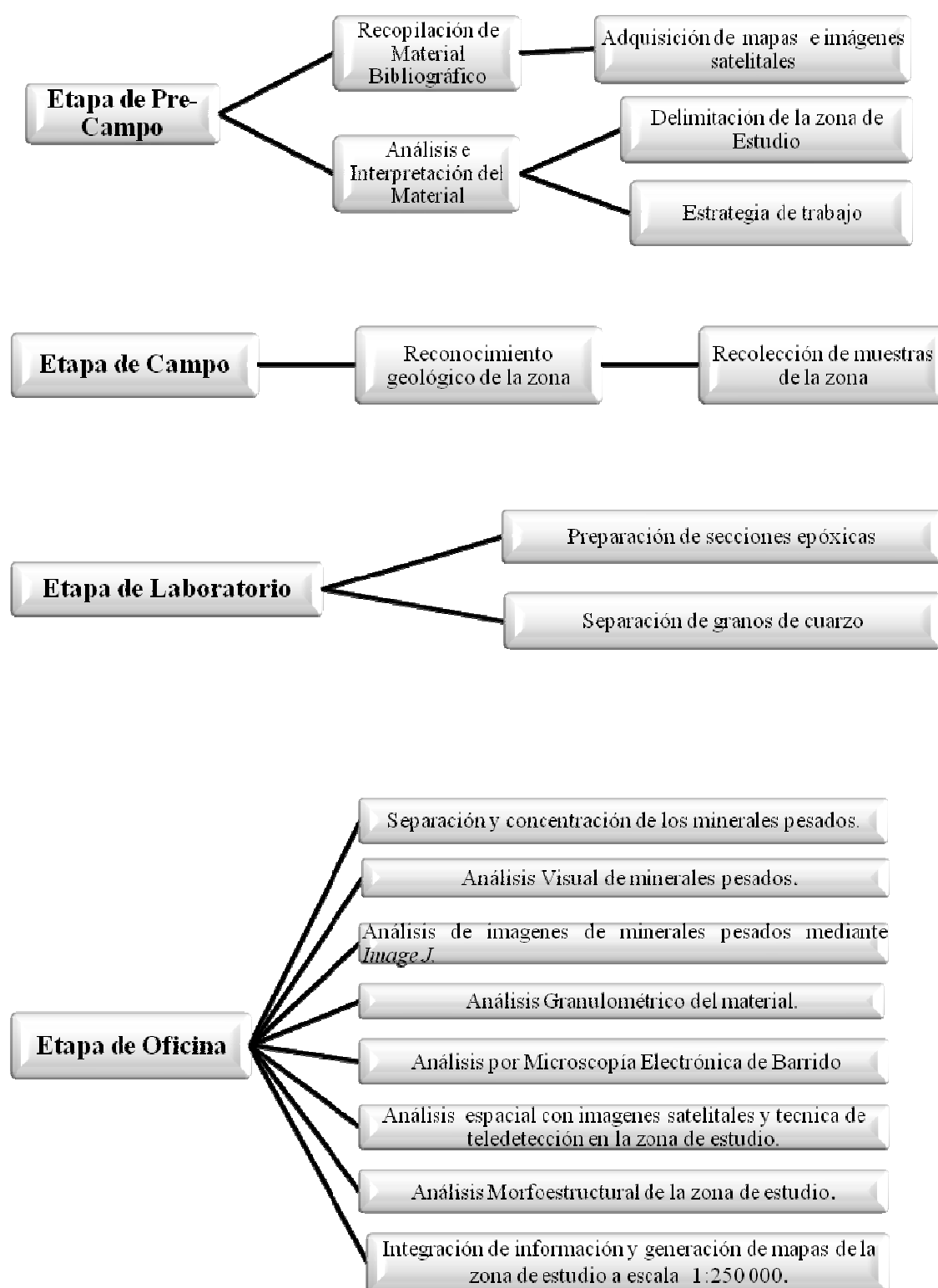


Figura 1. Esquema de la metodología de trabajo.

## 1.7 ANTECEDENTES

### 1.7.1 ANTECEDENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO

Con respecto a las referencias bibliográficas del área específica de la zona de estudio, escasamente se encuentra información, sin embargo, gracias a la existencia de algunas investigaciones a lo largo del Escudo Guayanés, específicamente en las áreas adyacentes tales como el Auyantepuy y Chimantá Tepuy, se puede correlacionar cierta información y obtener elementos necesarios para avanzar en el presente estudio.

Inicialmente, para evaluar la situación minera en el país en la década de los años cuarenta se llevaron a cabo muchos estudios a nivel geológico de los cuales se obtuvieron diferentes resultados que han ayudado a entender el funcionamiento de este sector tan importante del territorio Venezolano tanto a nivel minero, geológico, turístico, estratégico entre otros.

Unos de los primeros estudios llevados a cabo en el Estado Bolívar fue conformado por un grupo de geólogos (Agueverre et al., 1939), en donde realizan las primeras exploraciones en campo evaluadas geológicamente y recogen importantes datos de la Gran Sabana.

Mcconnell (1968), realizó un estudio detallado sobre las superficies de aplanamiento en Guayana en donde define 6 superficies de erosión las cuales han sido datadas y correlacionadas con superficies parecidas en Brasil, Surinam y África.

Martin (1974), realizó una interpretación paleotectónica del Escudo de Guayana en base a la relación de parámetros estructurales, geoquímicos y petrológicos entre otros, analizando las variadas removilizaciones graníticas y eventos termales en la zona.

Talukdar y Colveé (1975), identificaron la presencia del Complejo de Imataca y del Supergrupo Pastora como basamento previo a la Orogénesis, durante el cual se desarrolló el Grupo Cuchivero.

Mendoza (1975), introdujo el concepto de Supergrupo Cedeño para dos grandes grupos de rocas graníticas aflorantes en el área de río Suapure, cada una de éstas con características estructurales y geoquímicas particulares.

Briceño y Schubert (1985), realizaron un análisis del fracturamiento en zonas de tepuy, en donde evaluaron 80 muestras en campo en los tepuyes de Chimantá, Guaiquinima, Ilú, Kukenán, Auyantepuy y Yuruaní. A nivel general observaron de 3 a 4 direcciones preferenciales de fracturamiento y llegaron a la conclusión de la existencia de un control estratigráfico mayor sobre la densidad de fracturamiento en una dirección determinada y donde la mayor deformación tectónica fue vertical comprendiendo un sigma 2 (deformación intermedia), aparentemente el mayor esfuerzo está orientado de noreste a suroeste.

Briceño (1985), realizó un estudio completo y detallado utilizando herramientas de Imágenes Satelitales Landsat, radar (SLAR) y fotografías aéreas, con todos los datos obtenidos junto a la integración geológica realizó un mapa fotogeológico de la cuenca media del río Caroní que corresponde a una área relativamente cercana a la zona de estudio, determinando la anomalía geomorfológica del río Caroní y Paragua, como resultado del basculamiento tectónico de la zona Noreste motivando la migración de los canales de los ríos hacia el este y el abandono de antiguos lechos y por otra parte el cambio de condiciones climáticas de ambiente seco a húmedo.

Briceño y Schubert (1985) establecieron mediante un análisis de imágenes Landsat, la clasificación espectral del macizo de Chimantá, resultado del mismo, se determinó la diferenciación entre los cuerpos sedimentarios y los cuerpos ígneos evidenciados como diabasas y diques intrusivos que resultaba difícil de diferenciar debido a la cobertura vegetal presente en la zona.

Schubert (1987), como parte del grupo de investigación del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas IVIC realizó un estudio paleoambiental del Escudo de Guayana en donde concluyen que anteriormente el clima era distinto al actual, siendo éste más árido durante la última época glacial del Pleistoceno.

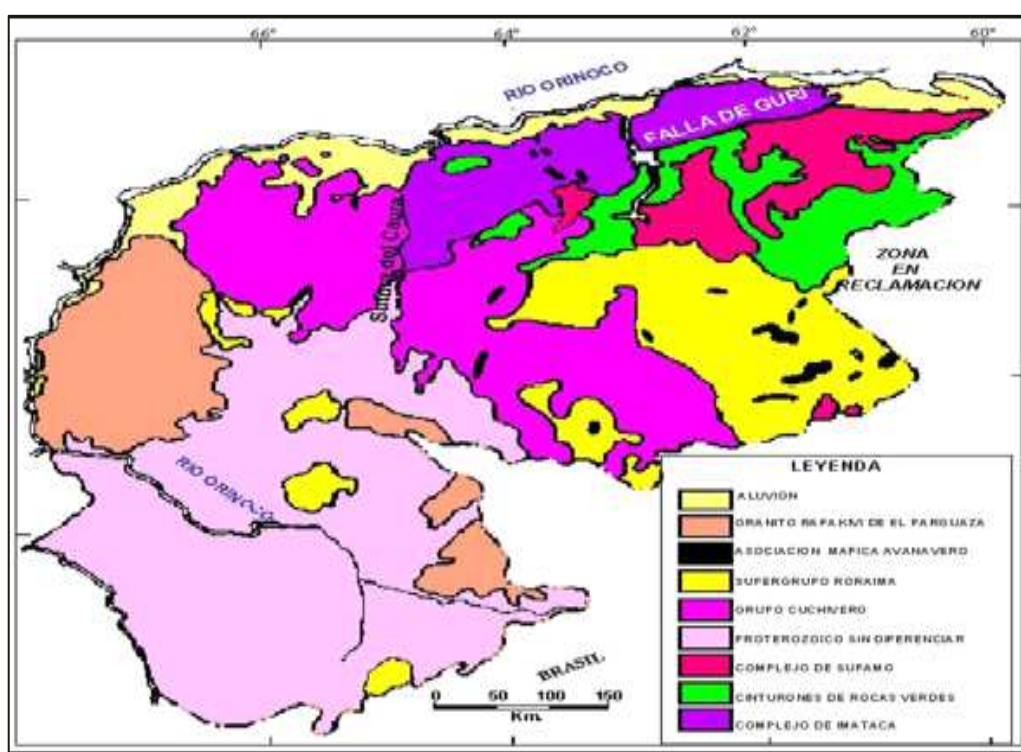
Schubert y Briceño (1990), evalúan a nivel estructural, tectónico y litológico la geomorfología de la Gran Sabana, en donde determinan 2 de los procesos



formadores de superficies de erosión y la influencia que tiene los niveles de drenajes.

Schubert (1993), publicó un artículo relacionado a la geomorfología del sector, específicamente basándose en un descubrimiento como son bloques de grandes dimensiones de hasta 1 tonelada desplazados, lo cual conlleva a un enigma geológico que no hay manera de explicarse por las hipótesis que se manejan y entonces supone que tuvo que haber ocurrido la presencia de un inmenso movimiento sísmico que desplazó dichos bloques, esta hipótesis aún no ha sido descartada.

Mendoza (2000), realizó una evaluación exhaustiva del territorio del estado Bolívar desarrollando un estudio de la evolución geotectónica del escudo de Guayana donde explica detalladamente todos y cada uno de los elementos que componen el escudo de Guayana, desde las provincias hasta los sistemas geológicos particulares de cada sector a nivel litológico, estructural geomorfológico y tectónico. Resultado de este trabajo se obtuvo el mapa generalizado mostrado en la Figura 2.



**Figura 2.** Mapa Geológico Generalizado del Escudo de Guayana (Tomado de Sidder y Mendoza, 1995).

Galán, Herrera y Carrero (2005) realizaron un estudio geomorfológico e hidrológico del sistema Roraima Sur, en éste determinaron las extensas cavernas en

los cuales los patrones litológicos juegan un papel fundamental en especial la arenización de la roca en profundidad con fracturamiento y por la estratificación, sugiriendo la existencia de niveles que resultan más fácilmente solubles y disgregables. Esto pudo ser soportado por un suministro continuo de agua procedente de cuencas, lo que implica una evolución entre los procesos erosivos de superficie y la tubificación en profundidad.

Mendoza (2005), realizó un resumen actualizado de la fisiografía de las provincias geológicas de Venezuela relacionándolo con la evolución geotectónica de cada provincia.

### **1.7.2 ANTECEDENTES METODOLÓGICOS**

Feo-Codecido (1956), realizó estudios de minerales pesados en el territorio Nacional, aportando análisis e interpretaciones mediante la identificación y clasificación de dichos minerales, estableciendo así asociaciones de minerales pesados a su roca fuente.

Urbani (1977), realizó un estudio en el estado Bolívar y el Territorio Federal Amazonas en donde se evaluaron muestras con técnicas petrográficas y difracción de rayos X, láminas de minerales pesados mediante (separador magnético Isodinámico Frantz), y se evidenció un metamorfismo de bajo grado a medio (tipo estático termal o carga).

Villanueva (2011), realizó una interpretación geológica en la ciudad de Puerto Ayacucho utilizando sensores remotos en donde obtuvo patrones estructurales, morfométricos y geomorfológicos de la zona.

Coello (2012), Analizó muestras petrográficas de la Formación Guárico e identificó minerales y con ello determinó la depositación de dicha formación mediante asociaciones de los minerales índices.

Bermúdez et al., (2009), realizaron múltiples comparaciones de tasas de erosión a partir de datos termocronológicos detríticos en los Andes Venezolanos y con ello

discriminaron las relaciones existentes entre tectónica, procesos superficiales y el clima.

Flores (2013), realizó un estudio geomorfológico cuantitativo e identificó minerales pesados con el cual estimó la relaciones existente entre clima, tectónica y procesos superficiales en la cuenca del río Guárico y sus adyacencias.

Figueira y Romero (2014), realizaron un estudio comparativo de los índices de erosión mediante el análisis de minerales pesados, difracción de rayos x y microscopía electrónica de barrido en el área de los ríos San Carlos, Guache, Capitalejo y Guanare en el cual determinaron la interacción existente entre clima, tectónica y relieve en dicha zona.

Arcía y Viana (2014), realizaron un estudio del relieve actual y análisis de minerales pesados de terrenos adyacentes a los ríos Nirgua, Boconó y Apure evaluando la interacción clima, tectónica y procesos superficiales en la zona.

Carmona y González (2014), determinaron la relación entre clima y tectónica sobre el relieve actual del flanco Sur andino inferidos a partir del estudio de sedimentos modernos de las Cuencas hidrográficas de los ríos Canagua, Caparro, Michay y Uribante.

Albornoz y Lezama (2014), realizaron una comparación y una relación de topografía, clima y tectónica en la zona suroeste de la cuenca del río Orinoco mediante análisis de índices de erosión y minerales pesados.

López y Uzcátegui (2014), hicieron una comparación de dos sectores de la Formación Mesa mediante una caracterización mineralógica, textural, Geomorfológica y análisis de minerales pesados en el sector central de la cuenca del río Orinoco.

## **CAPITULO II**

### **2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y FISIOGRAFICAS**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Este capítulo tiene como objetivo describir las características geológicas, geomorfológicas y estructurales que comprenden el área de estudio.

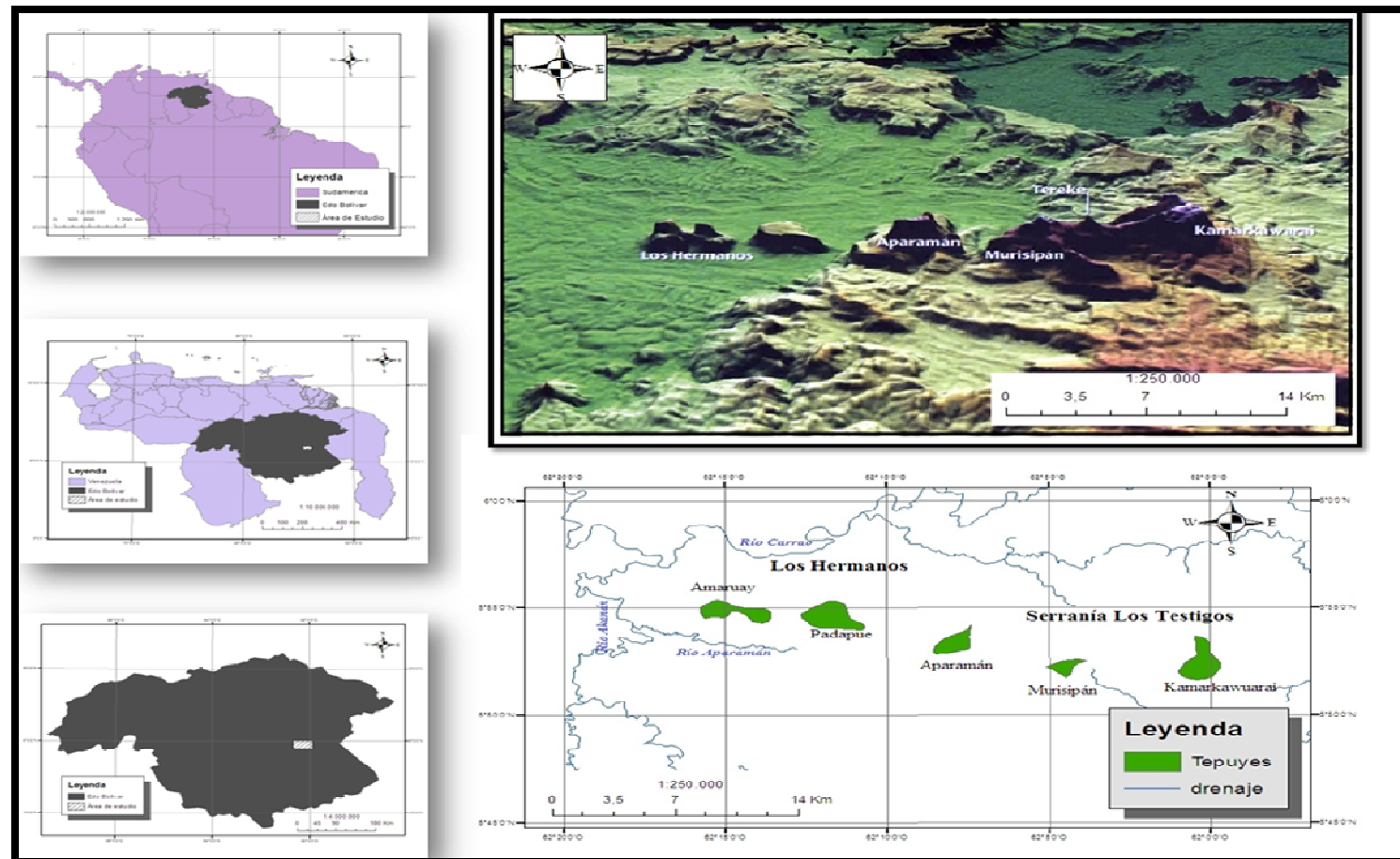
#### **2.2 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

El área de estudio se encuentra ubicada al sureste del territorio Venezolano y al este del estado Bolívar específicamente ocupa un área del Parque Nacional Canaima y está comprendida entre los siguientes puntos geográficos:

Latitud Norte 5°50'N y 6°00' N

Longitud Oeste 62°20'W y 61°55' W

La superficie comprende sus tepuyes y los taludes que lo circundan, tiene un área de 1094,69Km<sup>2</sup>, entre los Hermanos y los Testigos. A continuación se muestra en la Figura 3 la ubicación de la zona de estudio.



**Figura 3.** (a) Ubicación del área de estudio en el estado Bolívar. (b) Imagen 3D de la zona de estudio y área delimitada (lado izquierdo).

Según Ayala (2005), las cumbres de los tepuyes a estudiar presentan las siguientes alturas aproximadas:

**Tabla 1.** Cotas de sectores tepuyanos en la zona de estudio.

Sector Tepuyano	Tepuyes	Cota (m)
Los Hermanos	Amaruay	800-1000
	Padapué	800-1000
Serranía Los Testigos	Aparamán	2100
	Murispán	2350
	Kamarkawarai	2450

## 2.3 GEOLOGÍA

### 2.3.1 TECTÓNICA GEOLÓGICA

En el escudo Guayanés los procesos tectónicos se iniciaron con una disrupción de un supercontinente, continuado por la deriva de los bloques separados y finalizando con la colisión y amalgamación de remanentes bloques antiguos y material más reciente derivado del manto (Mendoza, 2000).

La evolución geotectónica del escudo de Guayana en el precámbrico se presenta a continuación según (Mendoza, 2000).

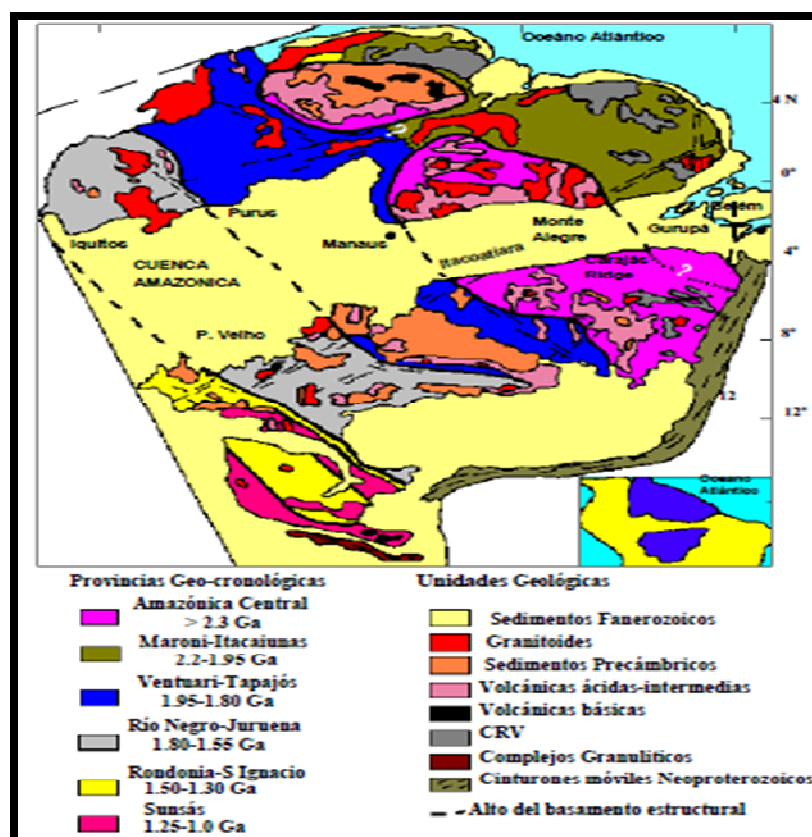
#### **Orogénesis Guriense (3,41) Ga y Aroensis o Pre-Transamazónica (2,78-2,67) Ga**

Con un muy alto gradiente geotérmico se formaron los primitivos Cinturones de Rocas Verdes (CRV) que culminaron con formaciones bandeadas de hierro con domos intrusivos Gabroides –Dioríticos a Tonalíticos y asociaciones Trondjemitas, Tonalitas y Granodioritas (TTG) que consecuentemente sufrieron polimetamorfismo, estos terrenos de CRV –TTG primitivos formaron islas y microcontinentes que luego por deriva continental se suturaron con grandes corrimientos y napas formando fajas tectónicas con litologías, metamorfismo y edades distintas constituyendo así un denso cratón denominado **Imataca-Kanukú**,

que consecuentemente formó parte del gran supercontinente hacia los 2,5 Ga denominado **Guayaensis**.

### Orogénesis Transamazónica (2,3-1,95) Ga

El cratón **Imataca-Kanukú** se fracturó y separó formándose bloques, por un lado un bloque denominado Imataca y por el otro el bloque Kanukú conformados por CRV más evolucionados y litologías predominantemente basáltica-komatítica hacia la base y rocas volcánicas y volcanoclásticas félsicas hacia el tope que posteriormente fueron plegometamorfizadas con y por domos TTG y migmatitas, en este complejo tectónico se produjeron nuevas aperturas y cierres de cuencas en el cual se formó la **Mega falla de Guri** (ver Figura 4) en donde se suturaron las rocas de la Pastora más jóvenes debajo de las de Imataca, más antigua, se produjeron también hidrotermalismos y politectonismos (2,1-1,9) Ga, originándose así vetas de cuarzo aurífero hipo y mesotermales.



**Figura 4.** Provincias Geocronológicas del cratón Amazónico (Tomado de Tassinari y Macambira, 2000).



**Orogénesis Post-Trasamazónico o Evento Orocaima (1,98-1,88) Ga**

En este período se desarrolló el Frente Tectónico de Caura conformado por la sutura del bloque Imataca-Pastora de composición y metamorfismo granítico, anfibolítico y Eequistos verdes) y Cuchivero con una tendencia de muy bajo grado de metamorfismo.

Posteriormente en el Meso proterozoico el continente formado por Imataca, Pastora, Cuchivero se fracturó hasta el manto superior en donde basaltos toleíticos ascendieron y se mezclaron con material basal similar al de Imataca y por extensa diferenciación de cristalización fraccionada se formaron los granitos rapakivis, biotíticos hornblendíticos de Parguaza, según Mendoza (2005).

Sobre el gigantesco bloque Pastora, Cuchivero, Parguaza se depositaron sedimentos fluvio-continentales, marinos someros (Grupo Roraima) que fueron intrusionados por diabasas y rocas gabroides-tonalíticas.

**Nickerian (1,2-1,0) Ga**

El bloque Imataca-Pastora-Cuchivero-Parguaza y Roraima colisionó con el bloque Garzón-Jari Falsino de Colombia y Brasil formándose así la sutura Río Negro-Atabapo-Orinoco y con reactivación de antiguas fallas y metamorfismo de bajo grado formó parte del Supercontinente Rodinia hacia el final del Nickerian (Mendoza, 2005).

Para 210 - 200 Ma ocurrió la separación de los continentes África y América, dando origen al Océano Atlántico con la última reactivación de la falla de Guri, el escudo de Guayana permaneció estable pero con leves levantamientos isostáticos dejando unos grabens con depósitos sedimentarios terciarios.

A continuación, se presenta una tabla idealizada en donde se hace una relación cronológica de los eventos tecto-geológicos en las eras geológicas.



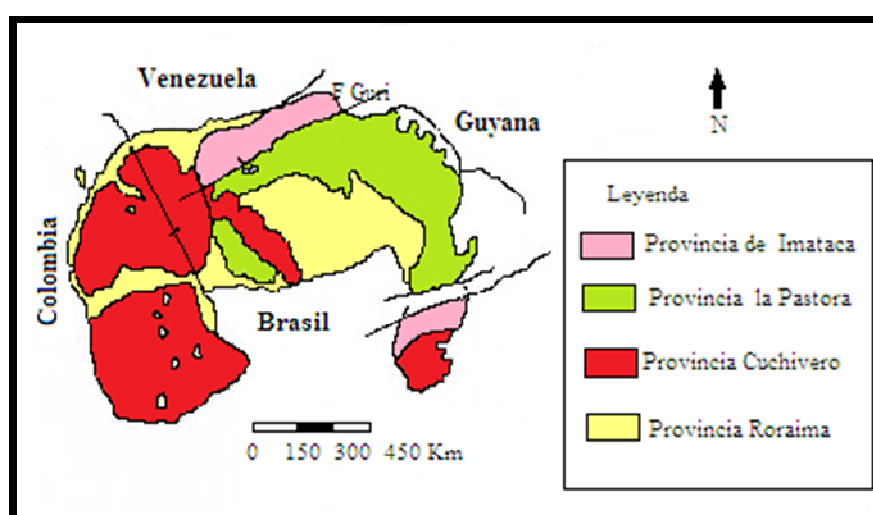
**Tabla 2.** Eventos tectónicos en el Guayana con relación al tiempo geológico.

	<b>EÓN</b>	<b>ERA</b>	<b>EVENTO TECTÓNICO</b>	<b>EDAD Ga</b>
<b>P R E C A M B R I C O</b>	<b>PROTEROZOICO</b>	<b>NEOPROTEROZOICO</b>		
		<b>MESOPROTEROZOICO</b>	<b>NICKERIENSE</b>	1,2 – 1,0
			<b>POST-TRANSAMAZONICA</b>	1,98 -1,88
		<b>PALEOPROTEROZOICO</b>	<b>TRANSAMAZONICA</b>	2,3-1,98
	<b>ARQUEOZOICO</b>	<b>NEOARQUEOZOICO</b>		
		<b>MESOARQUEOZOICO</b>	<b>PRE-TRANSAMAZONICA</b>	2,7 -2,6
			<b>OROGENESIS GURIENSE</b>	3,4- 2,9
		<b>PALEOARQUEOZOICO</b>		
		<b>EOARQUEOZOICO</b>		

### 2.3.2 GEOLOGÍA REGIONAL

El escudo de Guayana se encuentra ubicado geográficamente al sur de río Orinoco y ocupando aproximadamente el 50% de la superficie del territorio Nacional, de acuerdo con Mendoza (2000), en éste se encuentra una gran variedad de material rocoso que va desde las más antiguas como las granulitas y charnockitas del Complejo de Imataca (3,41 Ga) hasta las más jóvenes que son las kimberlitas ecogénicas de Guaniamo (0,71Ga). El Escudo de Guayana está conformado por 4 Provincias Geológicas que son Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima que va desde la más antigua a la más reciente respectivamente.

A continuación se presenta un mapa de las provincias litotectónicas del escudo de Guayana elaborado por Mendoza et al., (1977).



**Figura 5.** Provincias Litotectónicas del Escudo de Guayana, Venezuela. (Tomado de Mendoza et al., 1977).

### 2.3.3 FORMACIONES GEOLÓGICAS

#### PROVINCIA DE IMATACA

A nivel general la Provincia de Imataca se extiende en dirección SW –NE desde las proximidades del Río Caura hasta el Delta del Orinoco y en dirección NW –SE aflora desde el curso del río Orinoco hasta la falla de Guri por unos 550 Km y 80 Km respectivamente.

Litológicamente, ésta se encuentra constituida por gneises graníticos y granulitas félsicas de 60 a 75 %, anfibolitas y granulitas máficas y hasta ultramáficas de 15 a 20 % y cantidades menores complementarias de BIF (formaciones bandeadas de hierro), dolomitas, charnockitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes.

Presenta un metamorfismo que sugiere temperaturas moderadas de 750 a 850 °C y elevadas presiones que oscilan entre 8 y 8,5 Kb equivalentes a menos de 30 Km de presión de rocas, hacia la zona de Guri con anfibolitas y migmatitas que implican temperaturas que oscilan entre 650 a 700 °C y presiones que van de 4 a 7 Kb es decir menores de 20 km de presión de roca.

La Provincia de Imataca registra seis (6) dominios tectónicos, separados entre sí por grandes fallas tipo corrimientos. Presenta internamente un plegamiento isoclinal con replegamiento mas abierto. En la parte norte, los pliegues tienen rumbo NW mientras que en la parte Sur la tendencia dominante en los pliegues es de N60-70E que es la que predomina regionalmente, aproximadamente paralela a la falla de Guri (Mendoza, 2000).

Ascanio (1975), postuló que parte del Complejo de Imataca está conformado por varias fajas tectónicas que representan microcontinentes que por deriva chocaron unos con otros por obducción y subducción, quedando separados entre sí por grandes corrimientos como son: La Encrucijada, Ciudad Bolívar, Santa Rosa, La Naranjita, La Ceiba y Laja Negra.

Imataca se conoce como la provincia del Hierro y en ella Ascanio (1985) distinguió según el tamaño de grano tres grandes tipos de depósitos de hierro, que son los siguientes:

1. Depósitos de Hierro de grano grueso (> 1 mm): El Pao, Las Grullas y Piacoa.
2. Depósitos de Hierro de grano medio (=1 mm): Cerro María Luisa.
3. Depósitos de Hierro de grano fino (<1mm): Cerro Bolívar, San Isidro, Los Barrancos, Él Trueno, Altamira, Redondo, Toribio y Arimagua.

Depósitos de Hierro de grano grueso tipo El Pao, asociados a granulitas, charnockitas y anortositas; son tipo gruesos o pellas naturales conformado por hematita especular por reemplazo de martita-magnetita, seguidos de silíceos negros.

Las protomenas son cuarcita de grano grueso a muy grueso, altamente magnética, estos depósitos se caracterizan por mostrar foliaciones bien desarrolladas indicadas por fenocristales orientados de plagioclasas caolinitizado. El Pao está asociado por pequeños lentes manganesíferos y se interpretaron como equivalentes metamorfizados.

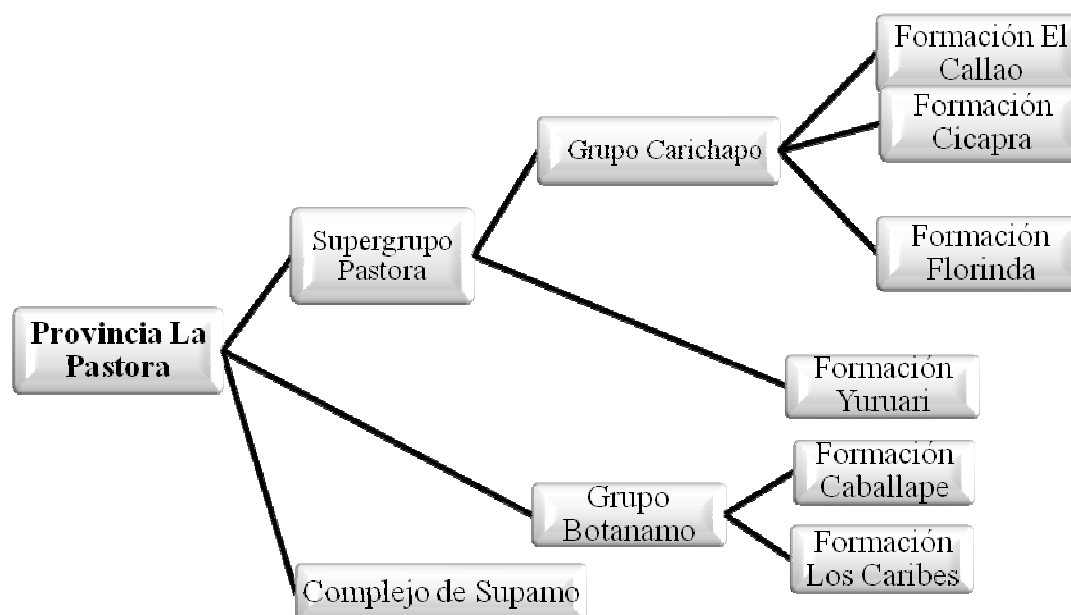
Depósito de hierro tipo Cerro Bolívar (presenta los siguientes tipos de menas de tope a base: ripios, costras, finos marrón, finos negros y finos negros silíceos y cuarcitas parcialmente lixiviadas) formada por lixiviación de sílice a 600-750 m.s.n.m desde hace unos 20 Ma. Rockmick (1963).

BIF (formaciones bandeadas de hierro), tipo Lago superior son protomenas (itabiritas, taconitas entre otros), para la mayoría de los grandes depósitos de enriquecimiento secundario por lixiviación en explotación en Australia, Brasil, India Sur África, Ucrania y Venezuela (Gross,1995).

Las BIF tipo Algoma del Arqueozoico son buenas guías exploratoria mundialmente para oro sinérgico, como en Homestake a lo largo de zonas de cizalla y vetas de relleno. Las rocas de Imataca alcanzaron alto grado metamórfico. En este caso el oro en gran parte como depósitos hipo y mesotermales, contenidos en estos primitivos CRV fueron llevados a niveles superiores, en fluidos hidrotermales metamórficos, por desgasificación (perdida de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O) de las granulitas y magmáticos durante la migmatización y anfibolitización, siendo precipitado y removilizado una o más veces en los más jóvenes y suprayacentes CRV tipo Pastora, parte de ese oro a precipitar en los CRV más superiores, tipo Botanamo. La reactivación de zonas de cizalla originadas en el Transamazónico y la formación de nuevas fracturas NNW-SSE a NS, durante el Orinoquense o Nickeriano, el oro fue removilizado y reprecipitado en las zonas de cizallas y nuevas fracturas. (Mendoza, 1995).

## PROVINCIA DE LA PASTORA

Se compone de un Supergrupo denominado Pastora y allí se encuentran las cuatro formaciones, otro Grupo denominado Botanamo con dos formaciones y un Complejo denominado Supamo:



**Figura 6.** Esquema Litoestratigráfico de la Provincia de Pastora.

### Supergrupo Pastora (Precámbrico)

Para Menéndez,(1994), este Supergrupo se compone del Grupo Carichapo (Formaciones Cicapra, Florinda y El Callao) y de la Formación Yuruari.

### La Formación del Callao (Precámbrico)

es la más baja de la secuencia, su base se desconoce y aparece siempre como un contacto intrusivo con rocas graníticas del Complejo de Supamo y su contacto superior es de falla transicional con la Formación Yuruari (Menéndez, 1994).

### La Formación El Callao (Precámbrico)

Mendoza (2000), menciona que esta formación tiene más de 3000 m de espesor y está litológicamente formada casi exclusivamente de lavas basálticas, bajas en potasio y altas en hierro a flujos de lavas andesíticas con un predominio transicional

entre ambas basandesitas, con estructuras almohadilladas altamente espilitizadas con cantidades menores de brechas de flujo al tope, levemente metamorfizadas, BIF (formaciones bandeadas de hierro) o cuarcitas de cherts ferruginosos y manganesíferos y esquistos talcosos o basálticos komatíticos– toleíticos aparecen en pequeños volúmenes en algunas localidades.

#### La Formación Cicapra (Precámbrico)

Presenta un espesor de 2000 m de paquetes alternantes rítmicamente compuesto cada uno de tobas submarinas, grauvacas turbidíticas y limolitas volcanogénicas, tobas líticas, tobas brechoides, aglomerados volcánicos y en el tope cherts hematíticos-manganesífero, estas rocas han sido metamorfizadas a la facies de esquistos verdes con esquistos porfidoblásticos formados de actinolita-epídota-biotita-albita con poco cuarzo (Mendoza, 2000).

#### La Formación Florinda (Precámbrico)

Fue inicialmente prospectada para el oro por CVG Tecmin C.A. y redefinida por Menéndez (1994), equivalente a la parte inferior de la Formación El Callao y cuando esta última está ausente se localiza infrayacente a la Formación Cicapra. Litológicamente hablando está compuesta de metabasaltos almohadillados toleíticos-komatíticos o magnesianos, intercalados con rocas ígneas posiblemente intrusivas alteradas con abundante talco y carbonatos de composición komatítica y que fueron descritas originalmente por Menéndez (1968).

#### La Formación Yuruari (Precámbrico)

Según Menéndez (1994), suprayace concordante a las formaciones El Callao y Cicapra, sin embargo La Formación El Callao está por encima de la Formación Yuruari en contacto de falla inversa de ángulo bajo a intermedio. Litológicamente se compone de fillitas, esquistos y metatobas félsicas, metalutitas negras de hasta 50 m de espesor.

#### Grupo Botanamo (Precámbrico Tardío)

Benaim (1974) definió a este Grupo al Sur de la Región de Guasipati en el CRV de El Dorado-Marwani, conformado por las formaciones Caballape y Los Caribes.

### La Formación Caballape (Precámbrico Temprano)

Yace discordante sobre rocas del Supergrupo Pastora y no son intrusionadas por los granitos del Complejo de Supamo, es decir son de edad Post-Pastora y Post – Supamo. Day (1989) y Salazar (1995) establecieron una litología reconocible en un 80% de la Formación Caballape en el área de Anacoco consistía de flujos volcánicos basálticos a dacíticos, algunos con desarrollo de almohadillas, asociados a rocas piroclásticas y un 20% de brechas y grauvacas con intercalaciones de capas delgadas de 1 a 5 cm de espesor de argilítas o lutitas.

### La Formación Los Caribes (Precámbrico Temprano)

Consiste en una intercalación de filitas grises y verdosas que gradan a rojas estratificándose con areniscas rojas con conglomerados polimícticos, limolitas y tobas félsicas. El paso de la Formación Caballape a la Formación Los Caribes fue transicional agradacional y parece ser el cambio de la atmosfera cada vez mas reductora a una más oxidante, se encuentran rocas con edades cercanas a 2,0 Ga (Mendoza,1995).

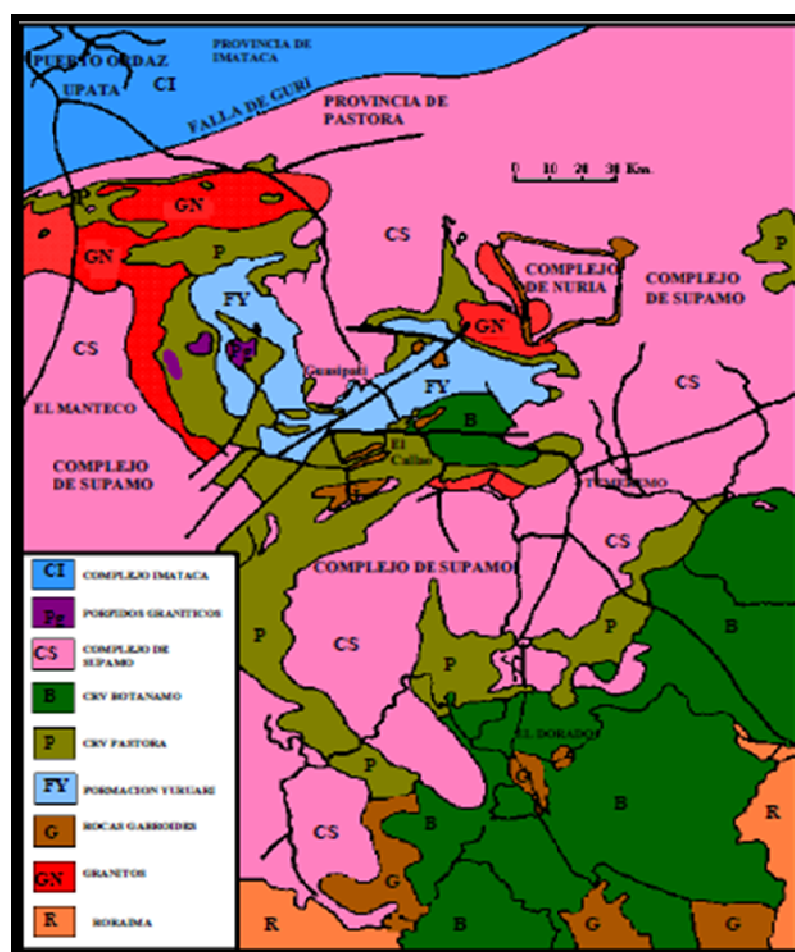
Mendoza (1995) considera que existe una discordancia y disconformidad entre Pastora y Botanamo, tanto en el estilo de deformación como en los ambientes, litologías, edades y evolución.

### Complejo de Supamo (Precámbrico)

Fue considerado por Moreno y Mendoza (1972 y 1975), como un conjunto de rocas graníticas intrusivas y reactivadas en rocas del Supergrupo Pastora, con un alto contenido de  $Na_2O$ , tales como TTG (Trondjemitas, Tonalitas y Granodioritas), cuarzo-monzonitas, gneises y migmatitas equivalentes.

Las rocas graníticas con normal a alto contenido de  $K_2O$  y  $Na_2O$  ó granitos “sensu estricto” fueron consideradas por estos autores como granitos más jóvenes, evolucionados e inclusive intrusivos del Complejo Supamo y hasta en los CRV (Cinturones de Rocas Verdes) más jóvenes como el de Botanamo. Asociados a estas rocas existen una serie de plutones pequeños y pórfidos ricos en cuarzo.

Al realizar un estudio de muestras de rocas graníticas del Complejo de Supamo como las de Pueblecito dieron edades por U/Pb en circones entre 2,8 a 2,6 Ga, (Gaudette y Olsewki, 1978), pero estas fueron reinterpretadas por Gibbs y Olsewki para el año 1982 y se determinaron edades entre 2,25 a 1,10 Ga . Actualmente la edad más antigua estimada para las rocas del Complejo de Supamo es de 2,30 Ga (Klar.1979).



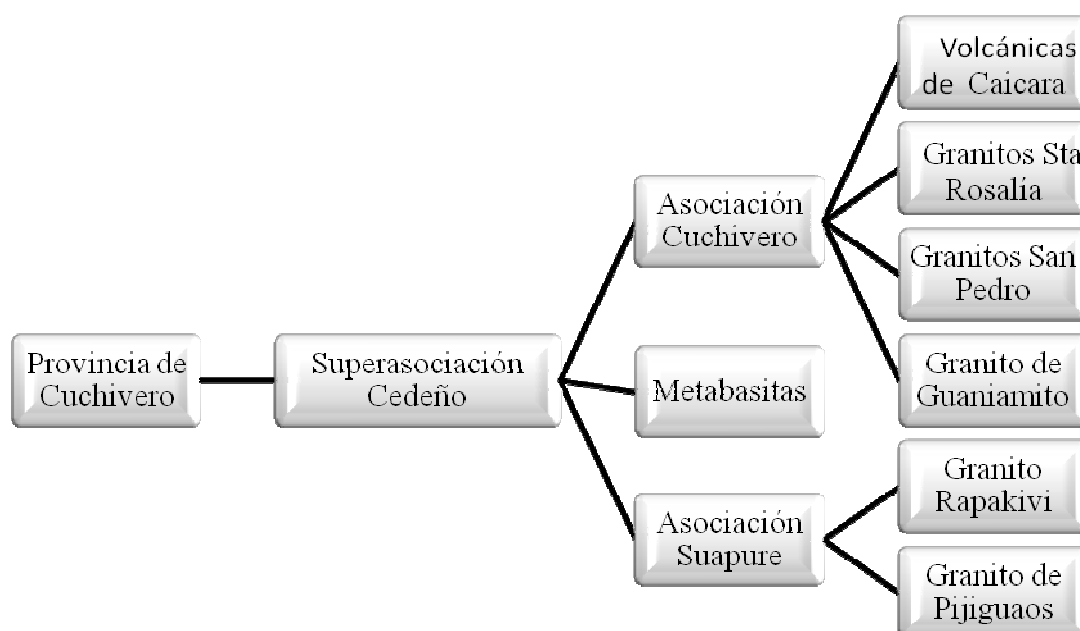
**Figura 7.** Extensión de la Provincia de la Pastora en la parte Oriental del Escudo de Guayana (Tomado de Guilloux, 1997).

## PROVINCIA DE CUCHIVERO

Durante el Paleoproterozoico tardío a Mezoproterozoico rocas intrusivas a volcánicas félsicas calcoalcalinas y rocas sedimentarias intrusionaron y se depositaron respectivamente sobre el basamento de CRV–granitos sódicos asociados,



en la parte Sur, Centro y Occidente y probablemente del Complejo de Imataca, la provincia de Cuchivero parece extenderse hasta el Sur-Sureste en el Estado Amazonas, formando gran parte de las rocas no diferenciadas, Sidder y Mendoza, (1995). Esta Provincia está compuesta por un Supergrupo llamado Cedeño, en ella se componen dos grandes grupos denominados Grupo Cuchivero y Grupo Suapure separados por metabasitas.



**Figura 8.** Unidades Litodémicas asociadas a la Provincia de Cuchivero.

Superasociación Cedeño (Precámbrico)

Asociación Cuchivero (Precámbrico)

Fue definido por Ríos (1972) como compuesto de rocas volcánicas riolíticas de las Volcánicas de Caicara, de granitos biotíticos de Santa Rosalía, hornblendíticos de Guaniamito y posteriormente Mendoza (1974) añadió los granitos alaskíticos de San Pedro.

Levantamiento, inclinación y erosión puso al descubierto en la zona noroeste la parte inferior de las Volcánicas de Caicara, en la parte Sur sólo puso al descubierto la parte media y superior.

Según Gaudette y otros (1978) llevaron a cabo un estudio mediante la evaluación de rocas volcánicas y plutónicas mediante el método de Rb/Sr, lo cual dió como resultado que las Volcánicas de Caicara comprendían edades de  $1,700 \pm 220$  Ma y Granitos de Santa Rosalía y San Pedro comprendidos en edades de  $1,880 \pm 88$  Ma.

#### Volcánicas de Caicara (Precámbrico)

Fue definida por Ríos (1972) en una sección transversal a la serranía o “fila” de Morichal Negro a unos 30 kilómetros al sur de Caicara del Orinoco, Distrito Cedeño estado Bolívar. Litológicamente se compone de ignimbrítas, tobas de cenizas, brechas y cantidades menores de lavas, obsidianas y domos riolíticos, con cantidades muy subordinadas de otras rocas volcánicas de composición dacítica, andesítica y aún basálticas, todas ellas de afinidad calcoalcalinas. Las rocas exhiben texturas vitroclásticas y eutaxísticas incluyendo esqueletos desvitrificados de vidrios y fragmentos colapsados de pumitas.

#### Granito de San Pedro (GSP) Precámbrico

Según Mendoza (2000) aflora cerca de San Pedro en el río Suapure, es un granito alaskítico, subvolcánico, de grano fino.

#### Granito de Santa Rosalía (Precámbrico)

Es plutónico, de grano medio a grueso, aproximadamente equigranular, con biotita escasa a ausente y hornblenda que aflora extensamente desde la Serranía El Mato en el Caura, pueblo localizado al Este de Santa Rosalía hasta el río Suapure al Oeste y hasta el río Ventuari al Sur.

#### Granito de Guaniamito (Precámbrico)

Aflora en el caño del mismo nombre y en el río de Guaniamo, es un granito hipoabisal, porfídico, rico en hornblenda, con textura gnéisica gruesa bien desarrollada hacia la zona de la falla de Cabruta (Mendoza, 1995).

Todas estas rocas graníticas son masivas foliadas en particular hacia el contacto con las rocas volcánicas de la Formación Caicara y en la proximidad de la falla de Cabruta.

### Metabasitas

Son rocas volcánicas de composición máfica (basáltica a andesítica) alteradas deutéricamente o metamorfozadas levemente. Son rocas de grano fino que algunas veces parecen intercaladas con las volcánicas de Caicara y otras veces aparecen como diques y sills intrusivos en la Formación de Caicara (Sidder y Mendoza, 1995).

### Asociación Suapure (Precámbrico)

Fue definido por Mendoza (1974) como compuesto por el Granito de Pijiguaos y el Granito Rapakivis de Parguaza, expuestos los domos de los Pijiguaos a pocos kilómetros al oeste del río Suapure, estudios posteriores de Mendoza y otros (1977), indicaron que este grupo lo constituyen los granitos de Rapakivis, el granito de Pijiguaos y los pórfidos riódacíticos de Guayapo.

### Granito de Rapakivi en Parguaza (Precámbrico)

Es una roca masiva, de grano grueso a muy grueso, con textura inequigranular conformado mineralógicamente de un 5 a 20% de cuarzo, de un 25 a 55 % de microclino peritita de un 15 a 30 % de Oligoclasa y notorio de minerales máficos enriquecidos en FeO, con cantidades menores de magnetita, ilmenita, circón y fayalita (Mendoza, 2000).

El granito de Rapakivi de Parguaza es anorogénico, de edad entre 1450 a 1550 Ma determinado por el método Rb/Sr roca total y U/Pb en circón (Gaudette y otros, 1978).

### Granito de Pijiguaos (Precámbrico)

Aflora en la mitad inferior de los domos del mismo nombre en contacto no transicional con el Granito de Rapakivi, siendo un granito de grano fino, equigranular y con aspecto recristalizado y textura moteada (Mendoza, 1995).

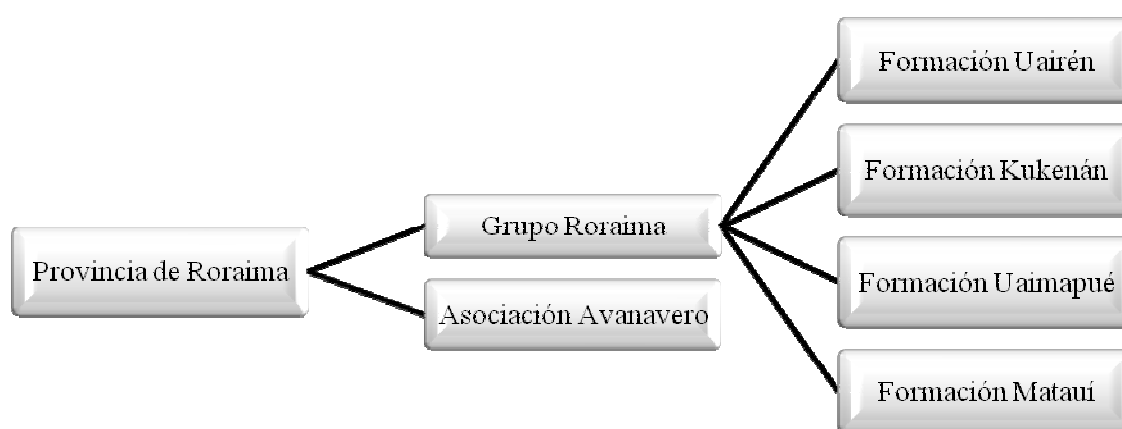
## **PROVINCIA DE RORAIMA**

Se extiende desde los límites del Parque Nacional Canaima hasta el kilómetro 95 cerca de la Piedra de la Virgen hasta Sta. Elena de Uairén en dirección NS y desde el

río Venamo, hasta las proximidades del río Paragua. Esta provincia está compuesta de rocas del Grupo Roraima con diabasas y rocas gabronoríticas cuarcíferas a dioríticas cuarcíferas (Asociación Avanavero).

Esta provincia está conformada por un Grupo denominado Roraima que compone cuatro Formaciones y una Asociación denominada Asociación Avanavero.

A continuación, en la Figura 9 se presenta un esquema de la provincia Roraima.



**Figura 9.** Esquema litoestratigráfico de la Provincia de Roraima.

#### Grupo Roraima (Proterozoico Medio)

Reid (1974) dividió al grupo de Roraima en el área de Santa Elena de Uairén en cuatro formaciones, que de las más antigua a la más joven son: Uairén, Kukenán, Uaimapué y Matauí, por su parte Roraima en Amazonas, Brasil y Guyana se divide en tres miembros inferior (equivalente a la Formación Uairén), medio correspondiente a las formaciones Kukenán y Uaimapué) y auperior (Formación Matauí), que es la más espesa y se presenta gran parte de la sección de los tepuyes (Gibbs y Barron,1993; Ghosh,1985).

#### Formación Uairén (Precámbrico)

Aflora cerca de la ciudad del mismo nombre al final de la gran Sabana y presenta un espesor de unos 800 a 900 metros, compuesto de areniscas cuarcíticas de grano grueso bien escogidas con estratificación cruzada y festoneada, intercalada con lentes

conglomeráticos de matriz silíceo y con escasas limolitas arcillosas ,concordante encima de la Formación Uairén aflora la Formación Kukenán.

#### Formación Kukenán (Precámbrico)

Con un espesor máximo de 100 m, integrada por paquetes alternantes, compuesto cada uno de tope a base de areniscas feldespáticas, limolitas feldespáticas y lutitas o arcillitas. Concordante a esta Formación sigue la Formación Uaimapué.

#### Formación Uaimapué (Precámbrico)



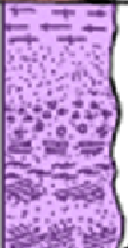


Con un espesor aproximado de 250 m, constituido por areniscas de granos finos grueso con estratificación cruzada y conglomerados intercalados con delgadas capas de limolitas y arcillitas y arcosas, jaspes, limolitas y tobas vítreas en la parte superior.

#### Formación Matauí (Precámbrico)

Es la unidad más joven del grupo Roraima, ocupa gran parte de los elevados y verticales de tepuyes, con ortocuarcitas y areniscas cuarzo–feldespáticas con estratificación cruzada, marcas de oleaje y areniscas masivas con algunos horizontes muy delgados de areniscas arcillosas o lutíticas, el espesor puede ser mayor de 1000 m. En el estado Amazonas en el Grupo Roraima no se observan casi conglomerados ni tobas (Ghosh, 1977, 1985).

Alberdi y Contreras (1995) describieron a rocas similares a las de la parte basal de Roraima y las denominaron Capas de Abarén y Formación Urico. Briceño y otros (1989) correlacionaron la Formación Ichún con la parte inferior o inmediata por debajo del Grupo Roraima.

A continuación, en la Figura 10 se muestra una columna estratigráfica de la Formación Ichún.

UNIDAD	MIEMBRO	ESPESOR	LITOLOGÍA GRÁFICA	LITOLOGÍA DESCRIPTIVA
GRUPO RORAIMA				Areniscas cuarzosas bien escogidas de grano medio ,cementados por sílice,cementadas por sílice y feldespatos,lutitas rojas. Areniscas cuarzosas gradadas(granos de guijarros en la base a areniscas de grano grueso en el tope). Areniscas cuarzosas de grano medio y grueso ,moderandamente escogidas intercaladas con unidades de areniscas mal escogidas de grano fino a medio y abundantes fragmentos líticos de rocas volcánicas . Areniscas arcósicas mal escogidas con abundante matriz de grano fino a medio
	MIEMBRO SUPERIOR	1060		Tobas rojizas con alteración hidrotermal intensamente cortadas por vetas de cuarzo. Tobas líticas con intercalaciones de areniscas volcánicas de grano fino con proporciones menores de areniscas de grano medio.
FORMACIÓN ICHÚN	MIEMBRO MEDIO	920		Tobas de ceniza ,probablemente depositadas en agua.Areniscas feldespáticas localmente conglomeráticas.Areniscas volcánicas de grano fino con rizaduras de corriente.Flujos faneríticos intermedio.Areniscas cuarzosas localmente guijarrosas ,granos angulares subangulares ,moderada a pobre escogidas
	MIEMBRO INFERIOR	450		Flujos faneríticos de composición intermedia,aglomerados y brechas ,toba de ceniza líticas y cristalinas en menor proporción ,areniscas volcánicas ,flujos faneríticos de composición intermedia.
GRUPO CUCHIVERO				Volcánicas de Cuchivero sin diferenciar.

**Figura 10.**Columna Estratigráfica de la Formación Ichún (Tomado de Briceño y otros, 1989).

Briceño y otros (1989), proponen incluir la Formación Ichún y al Grupo Roraima como Supergrupo Roraima y posteriormente propone crear dos supergrupos, uno oxidante denominado Supergrupo Roraima y uno reductor denominado Supergrupo Pre-Roraima.

Las rocas de Roraima fueron depositadas en ambiente mayormente fluvial, deltáico a marino costero, en canales de baja sinuosidad y llanuras aluviales (Siddler y Mendoza, 1995). La edad de las rocas de Roraima obtenidas mediante Rb/Sr, es de

aproximadamente unos 1800 Ma. (Discordantes sobre tobas de la Formación Caicara del Grupo Cuchivero).

Se encuentran unas rocas máficas no metamorizadas denominadas primeramente como Asociación Intrusiva en Roraima, lo que hoy se conoce como **Asociación Avanavero** y se extienden intrusivas en la parte basal a media de Roraima, químicamente son toleítas continentales.

### 2.3.4 PROVINCIAS GEOLÓGICAS PRESENTES

En el área de estudio se encuentra principalmente la Formación Roraima en su amplia extensión según estudios geomorfológicos de Schubert y Briceño (1990).



**Figura 11.** Provincia Geológica presente en la zona de estudio.

### 2.3.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El rasgo megatectónico a nivel estructural del Estado Bolívar es la falla del Guri, que separa la provincia de Imataca al Norte del Guri y de la Pastora al Sur, es una falla muy antigua cuya evolución ha sido la siguiente:

A nivel general las zonas tepuyanas adyacentes a la zona de estudio, según estudios elaborados por Briceño y Schubert (1985), denotaron la existencia de un control estratigráfico influyente sobre la densidad de fracturamiento en una dirección determinada en zonas del escudo.

Los Tepuyes Chimantá, Auyantepuy, Kukenán, Guaiquinima e Ilú tepuy, zonas que enmarcan el área de estudio, se encontraron de tres a cuatro direcciones preferenciales de fracturamiento en múltiples mediciones tomadas por el equipo de investigación del Chimantá tepuy para el año 1992, la mayoría de las fracturas son verticales lo que parece indicar que el esfuerzo intermedio ( $\sigma_2$ ) fue vertical durante el período de mayor deformación tectónica, el esfuerzo de compresión máxima parece estar orientado del Noreste hacia el Suroeste (Briceño, 1985).

Datos estructurales sugieren a nivel regional que el Grupo Cuchivero fue deformado mayormente bajo esfuerzos compresionales orientados en dirección noreste-suroeste y que Roraima fue afectada por esfuerzos compresionales de tendencia este-noreste a oeste-suroeste. Así mismo las abundantes fracturas de tendencia noreste son atribuidas al Evento Nickeriano a nivel regional según Briceño (1985).

La multiplicidad de direcciones preferenciales de diaclasamiento es un fenómeno común observado en el campo de las zonas tepuyanas (Sheidegger, 1979). Según datos de campo y fotointerpretación, a nivel regional es difícil asignar a cada sistema de diaclasas un estado de esfuerzo definido, por esta razón, Briceño (1985) sugiere que pudo haber una formación de 4 máximos de fracturas durante un evento simple de tectonismo, multiplicidad de eventos tectónicos, anisotropía en las propiedades de las rocas sometidas a esfuerzos y/o fracturamientos causados por esfuerzos intrusivos, cualquiera de estos factores o la combinación de ellos son factibles como causantes de las múltiples fracturas observadas en el Grupo Roraima a lo largo de los tepuyes adyacentes a la zona de estudio.

Briceño (1985) sugiere que la región ha sido inclinada tectónicamente en dirección Noreste, causando la migración de canales de drenajes hacia el este, por



evidencias de ríos desajustados, drenajes abandonados en la región ocupada por sus antiguos valles.

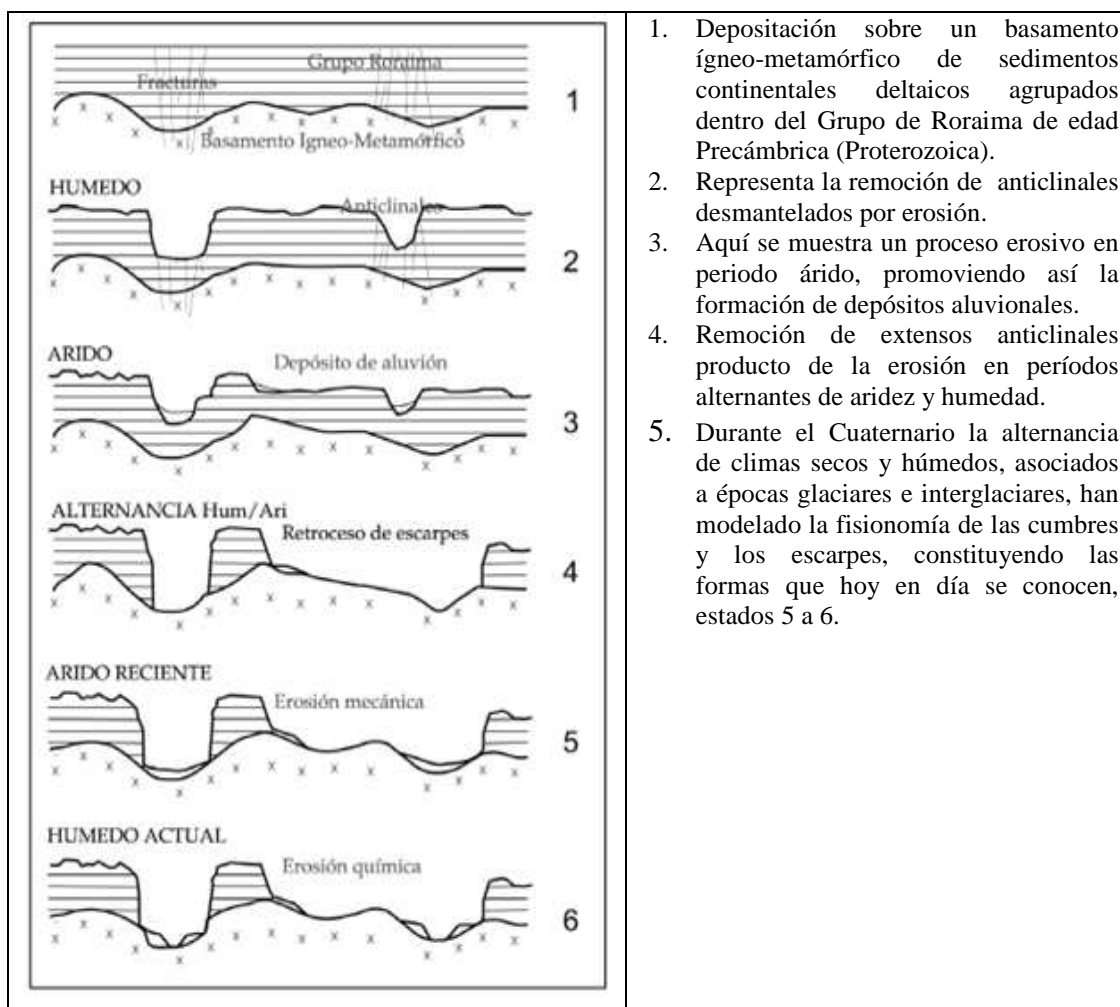
A nivel general, en las zonas de borde de las cumbres tepuyanas se intensifica la fracturación. La meteorización química de las cuarcitas por las aguas de escorrentía a lo largo de las diaclasas y planos de estratificación produce colapsos de grandes bloques (Pouyllau y Seurin, 1985).

### **2.3.6 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS**

Según Schubert (1984), Schubert y Huber (1989), uno de los elementos fundamentales que afectan en gran parte la geomorfología del sector tepuyano son los agentes erosivos, mencionando que la erosión a gran escala ha removido preferencialmente las zonas de los anticlinales que hoy forman las zonas bajas alrededor de las mesetas, de acuerdo a estos autores, los tepuyes constituyen remanentes de grandes sinclinales erosionados puestos en relieve por inversión tectónica.

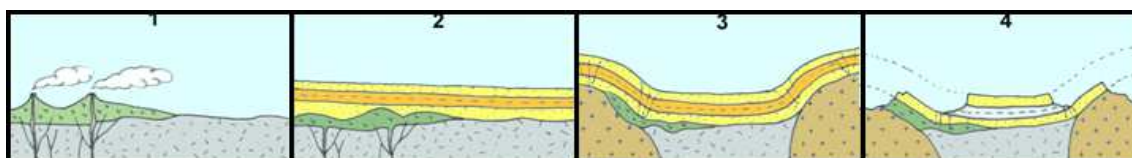
A continuación se muestra en la figura 17 una descripción de la hipótesis de la evolución geomorfológica del paisaje tepuyano elaborado por Schubert (1984).

Varios autores (King, 1956; James, 1959; McCornell, 1968), mencionan que la morfología reflejada en todo lo que corresponde al escudo de Guayana es producto de 2 diferencias litológicas (ígneo-metamórfica) y (sedimentaria) y ello reflejan la formación de varias superficies de erosión.



**Figura 12.** Hipótesis de la evolución geomorfológica del paisaje tepuyano (Tomado de Schubert, 1984).

Otro planteamiento a destacar es la interpretación del geógrafo Jesús Enrique Santiago (1992), profesor de geomorfología de la Universidad de Oriente en donde expone lo siguiente para explicar la formación de tepuyes en el edo. Amazonas.



**Figura 13.** Hipótesis geomorfológica del relieve en el macizo Parú-Euaja y alrededores. 1. Paisaje desarrollado sobre rocas graníticas y volcánicas. 2. Recubrimiento sedimentario. 3. Deformación de las rocas sedimentarias a causa de las intrusiones graníticas. 4. Erosión e inversión topográfica., con posterior peneplanización. (Tomado de Santiago, 1992).

### Superficies de Erosión

Según Schubert et al. (1986) se han reconocido 6 superficies de erosión basadas en observaciones de campo, mapas topográficos, análisis y modelos evaluados a nivel regional en áreas del Escudo de Guayana. A continuación se muestra una tabla de las superficies de erosión del escudo guayanés, basados en el autor mencionado anteriormente.

**Tabla 3.** Superficies de Erosión del Escudo de Guayana (Tomado de Schubert, 1986).

Elevación (m)	Nombre de la superficie de erosión	Edad
0-50	Planicie de Inundación, Orinoco	Holoceno
90-150	Llanos	Plio-Pleistoceno (?)
200-450	Caroní-Aro	Oligo-Mioceno (?)
600-700	Imataca	Terciario-Temprano (?)
900-1200	Wonken	Mesozoico (?)
2000-2900	Auyan-tepuy	Mesozoico (?)

#### Planicie de Inundación, Orinoco (0-50m)

Consiste en planicies aluviales recientes del Orinoco, fueron depositadas durante la trasgresión del Holoceno, esta ha sido con la Superficie de Mazaruni cuyas planicies se inclinan hacia estas debajo del monoclinial de la costa en Guayana, también ha sido correlacionada con los ciclos Cuaternarios fluviales-climáticos de aridez (regresiones) y húmedos (transgresiones), tomado de Schubert, (1990).

#### Superficie de los Llanos (90-150m)

Se formó en rocas del basamento al sur del mismo, esta superficie está salpicada con irregularidades prominentes denominadas “bornhardts”, que son colinas cóncavas descubiertas, se ven delimitadas por planos de fractura con fuerte buzamiento, en perfil por otros planos convexos, en Guyana se correlaciona con la Superficie Rupununi y en Surinam con la Superficie del Terciario Tardío (Schubert, 1990).

#### Superficie Caroní-Aro (200-450 m)

Formadas sobre rocas del basamento del Escudo de Guayana Provincias Imataca, Pastora y Cuchivero y muy localmente en rocas del Grupo Roraima. Se caracterizan

por la presencia de domos y topes inclinados, rodeado por rocas altamente alteradas muy parcialmente por una delgada cobertura aluvial, ha sido asociada con los ciclos transgresivos-regresivos entre el Oligoceno y Mioceno (Schubert, 1990).

Superficie de Imataca (600-700 m)

Corta a través de las formaciones basales del Grupo de Roraima y rocas Ígneo-Metamórficas del basamento, la edad tentativa asignada a la Superficie de Imataca es del Terciario Temprano.

Superficie Wonken (900-1200 m)

Representa la principal superficie que forma la Gran Sabana y se ha formado sobre rocas del Grupo Roraima.

Superficie de Auyán-Tepuy (2000-2900 m)

En el presente forman las cumbres de las montañas amesetadas formadas en las cuarcitas precámbricas del Grupo Roraima, esta superficie ha sido intensamente esculpida, en gran medida debido a la explotación de las fracturas por parte de soluciones de cemento silíceo de las cuarcitas (Schubert, 1990).

### **2.3.7 PALEOAMBIENTE**

Recientemente se han encontrado indicios del período Cuaternario que comprende los últimos 3 o 4 millones de años, en donde el Norte de América del Sur estuvo sometido a alternancia sucesiva de climas áridos y húmedos.

El último período glacial del Cuaternario terminó hace 10.000 y 13.000 años antes del presente, como lo demuestran innumerables determinaciones de edad por método radiocarbono tanto en Venezuela como en Brasil y Colombia, Schubert,(1987).

Por su parte la Cuenca del río Caroní y otros ríos de Guayana comenzaron a formarse al terminar la época árida de la última glaciación por lo cual el caudal se hacía progresivamente mayor al aumentar el período húmedo, éste fue corriendo de forma desordenada sobre las rocas del escudo guayanés.

Al realizar estudios y análisis en muestras de material vegetal recolectadas en las zonas adyacentes al área de estudio como el Tepuy de Chimantá, el Auyán Tepuy el Ilú Tepuy entre otros, dieron como resultado edades de 8.000 años antes del presente esto sugiere que las condiciones favorables a la formación de la turba que datan desde el Holoceno Temprano.

En las zonas piemontinas se encuentran por lo menos 4 niveles de terrazas cortadas en un número igual de depósitos aluviales y formas de depósitos caóticos, sugiriendo una depositación de colada de barro por parte del Centro de Ecología–IVIC. Ese tipo de depositación es típica de zonas áridas por lo cual sugieren que estos aluviones representan el producto de la erosión bajo el clima más árido del Pleistoceno Tardío.

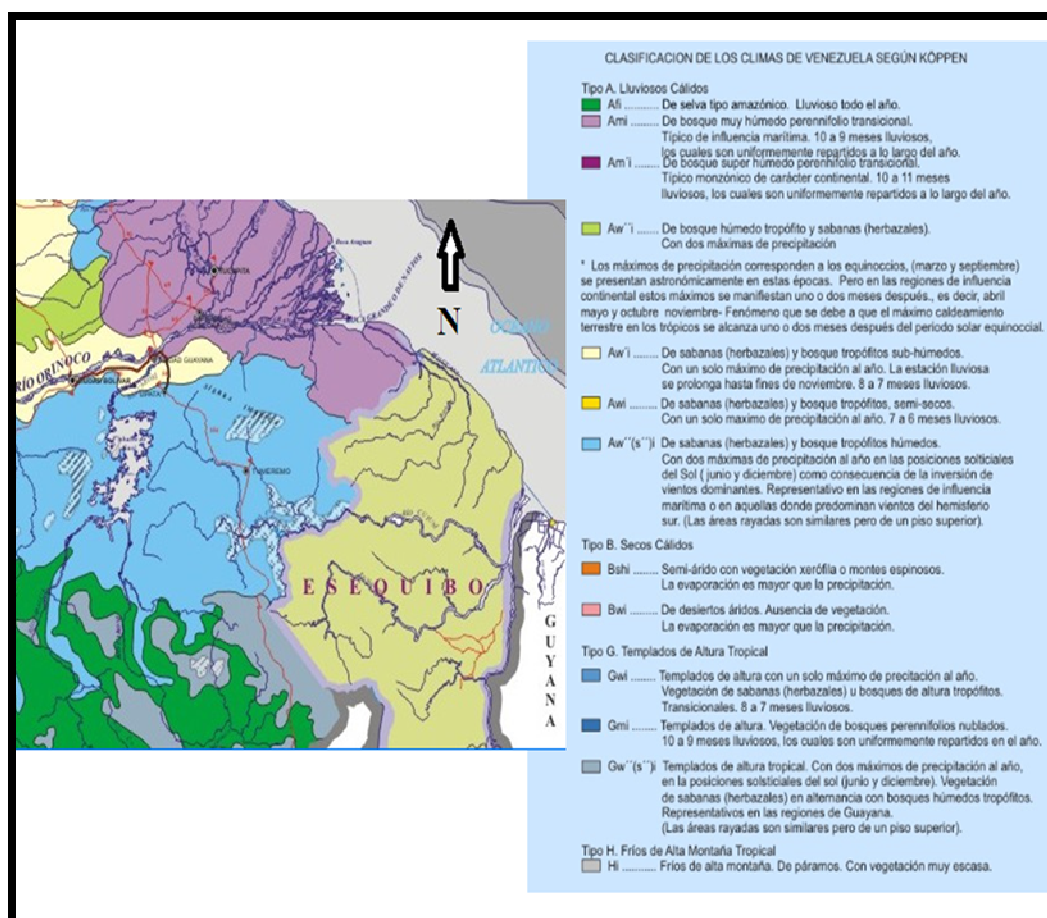
Otros indicios hallados por dicho grupo confirman la hipótesis que el Norte de América del Sur en particular en la región sureste de Venezuela, existía un clima más árido que el actual durante el Pleistoceno Tardío, esto implica una significativa reducción de áreas de selvas y un aumento en el área de sabana según indica Schubert (1987).

## **2.4 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS**

### **2.4.1 CLIMA**

El clima es tropical, aunque varía según las zonas; así, las áreas bajas presentan altas temperaturas que alcanzan en promedio 27 °C, en la zona de Puerto Ordaz, entre 27 y 31°C en la zona de Ciudad Bolívar; 18 a 23°C en la zona de la Gran Sabana.

La latitud oscila entre los 4 a 8°C de Latitud Norte lo sitúa totalmente en la franja ecuatorial, en tal sentido, las tierras bajas del norte, están sometidas a la influencia de los vientos del este. En la figura 14 se presenta un mapa de clasificación de Köppen para el área de estudio.



**Figura 14.** Mapa de clasificación de Köppen (Tomado y modificado de [www.venemia.com](http://www.venemia.com)).

## 2.4.2 PLUVIOSIDAD

La época lluviosa se inicia en Abril y se mantiene aproximadamente hasta el mes de Noviembre, teniendo una duración de aproximadamente de 8 meses, el mes con mayor índice de pluviosidad es el mes de Julio, por su parte la época de sequía abarca los meses de Diciembre a Marzo en los cuáles Febrero y Marzo se presentan como los meses de mayor sequía.

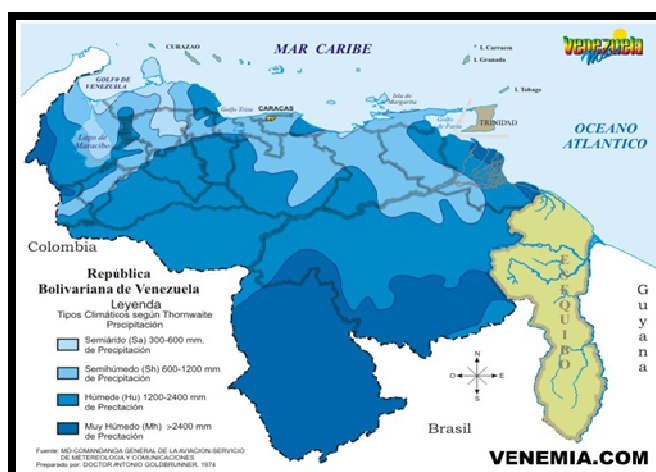


Figura 15. Mapa de Pluviosidad, Tomado de (www.venemia.com)

### 2.4.3 TEMPERATURA

La temperatura media anual en el área de estudio es de aproximadamente  $29,7^{\circ}\text{C}$  por su parte la oscilación térmica media anual es de  $2^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, lo cual indica la condición isoterma por estar ubicada en una zona intertropical.

Según el INAMEH en su boletín mensual de Julio de 2014 en el Sur de Venezuela la temperatura máxima promedio ocurrió en Ciudad Bolívar (Estado Bolívar) con  $32,5^{\circ}\text{C}$ , mientras que la temperatura media se presentó en Karúm (Estado Bolívar) con  $20,4^{\circ}\text{C}$ .

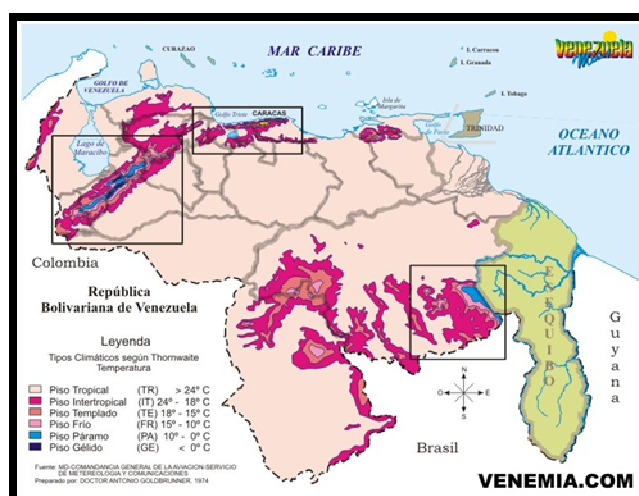


Figura 16. Mapa térmico de Venezuela (Tomado de www.venemia.com).



#### 2.4.4 VEGETACIÓN

Las características de vegetación dependen principalmente de elementos tales como: cobertura vegetal, tipo de suelo, condiciones climáticas, hidrología entre otros. El área de estudio está conformada por dos tipos de vegetaciones particulares, una de altas mesetas y otra caracterizada por ser una vegetación de sabana.

En las altas mesetas se encuentra una vegetación arbustiva y selvática, con una variedad de orquídeas y bromelias condicionada por rasgos litológicos presentes. Por otra parte en el área baja se encuentra una vegetación de sabana conformada por especies vegetales tipos gramíneas arbustivas asociadas a matorrales (C.G.V.TECMIN, 1991).

#### 2.4.5 VIENTOS

Goldbrunner (1984) menciona que hacia el sur del país el viento es débil con velocidades aproximadas de 5km/h.

Según el mapa mostrado en la figura 17 de los vientos alisios, en el área de estudio se pudo determinar que de acuerdo a las estaciones del año correspondiente presentan distintas direcciones.

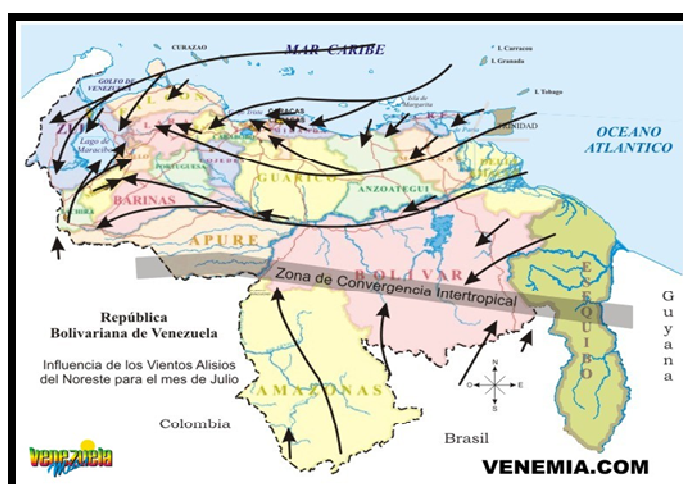


Figura 17. Mapa de Vientos Alisios (Tomado de [www.venemia.com](http://www.venemia.com))



## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA Y MARCO TEÓRICO

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

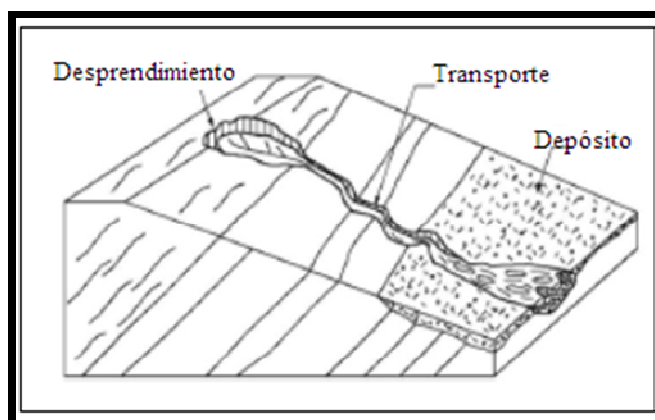
A continuación se presentan en este capítulo el marco teórico necesario para entender los análisis y resultados que se mostrarán en los posteriores capítulos. También se establece la metodología empleada en la presente investigación, ésta se compone de tres etapas: pre-campo, campo y post-campo, las cuales se detallan a continuación.

#### 3.2 MARCO TEÓRICO

##### 3.2.1 EROSIÓN

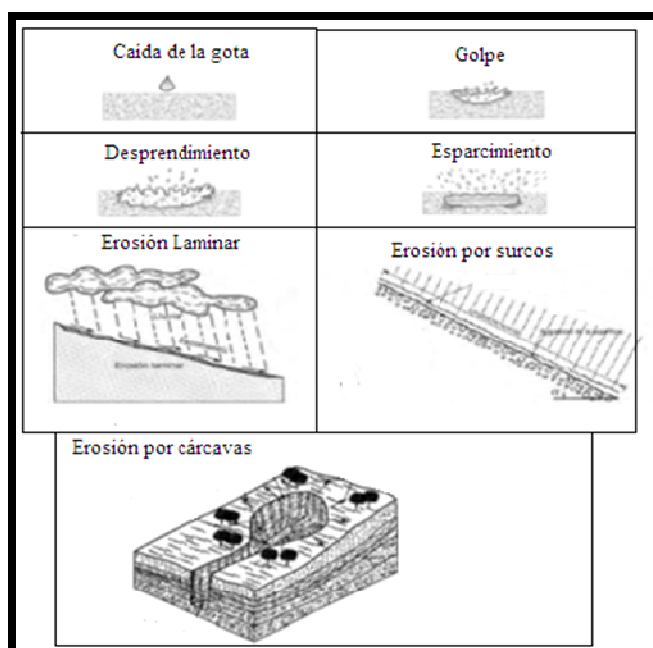
La erosión es un proceso mediante el cual se genera un desgaste de un material causado por agentes químicos, mecánicos o físicos. La erosión comprende los procesos de desprendimiento, transporte y depósitos de partículas del suelo por causa de agentes naturales y antrópicos (Suarez, 2001).

A continuación se muestra en la Figura 18 el proceso general de erosión.



**Figura 18.** Proceso general de la erosión (Tomado de Suárez, 2001).

El proceso erosivo ocurre cuando las partículas de suelo son transportadas, como resultado del impacto de la caída de la gota de lluvia. A continuación, en la figura 19 se muestran algunos de los principales procesos de erosión.



**Figura 19.** Proceso de erosión del suelo causado por el agua (Tomado de Suárez, 2001).

Por su parte la erosión en láminas ocurre mediante la remoción de capas de suelo y es causada por la combinación de las gotas de lluvia y la escorrentía superficial.

A medida que la escorrentía se concentra, se forma la erosión en surcos, ésta se va profundizando, permitiendo la ampliación del surco dando origen a la erosión en cárcavas (Suarez, 2001; Vrieling, 2007).

### 3.2.2 TELEDETECCIÓN

La teledetección o percepción remota es una técnica que ha evolucionado en las últimas décadas con el desarrollo de la tecnología satelital.

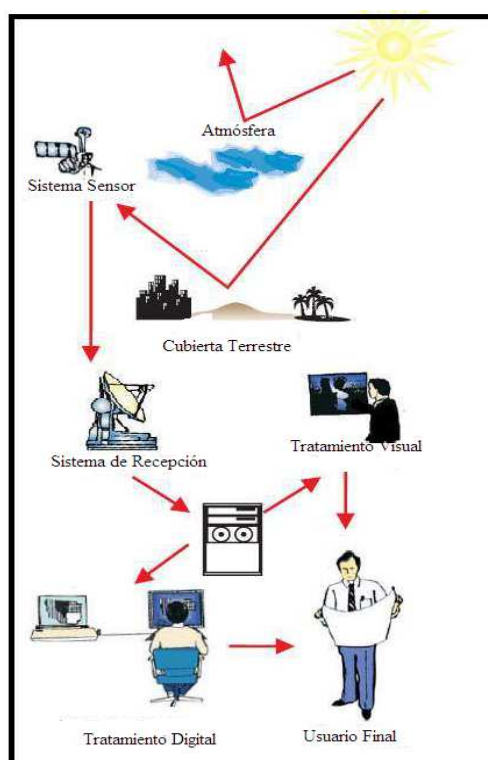
Chuvieco (1990), menciona “La teledetección es aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre mediante sensores instalados en plataformas espaciales, gracias a la interacción de la energía electromagnética que existe entre el sensor y la tierra”.

-Componentes de un sistema de teledetección

Los elementos básicos que influyen en la detección son:

1. *Fuente de Energía*: Donde proviene la radiación electromagnética que es captada por el sensor.
2. *Superficie Terrestre*: Corresponde a todas las coberturas que se encuentran en la superficie de la tierra, que absorben y reflejan las señales energéticas según sus propias características físicas.
3. *Sistema de Sensor*: Compuesto por el sensor y la plataforma satelital en el que se encuentra, es el que receptiona la información de la cubierta, las codifica, las almacena y posteriormente las envía al sistema de recepción.
4. *Sistema de Recepción*: recibe y graba la información emitida por el satélite, realizándole algunas correcciones y posteriormente distribuyéndola.
5. *Interpretación*: Convierte la información según las necesidades propias, realizando trabajo visual y digital para el estudio que se esté llevando a cabo.

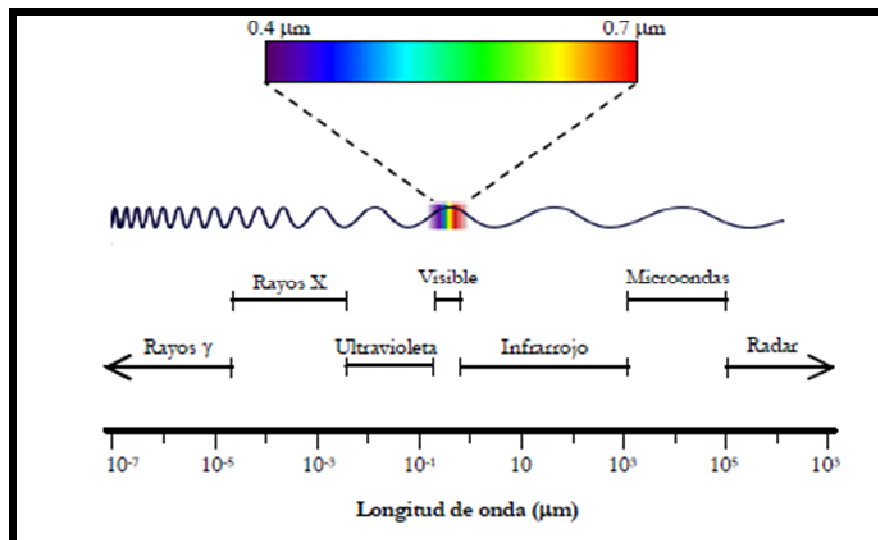
Los diferentes elementos de un sistema de teledetección son mostrados en la Figura 20.



**Figura 20.** Componentes de un sistema de Teledetección (Tomado de Tuesta y Trigozo, 2013).

-Espectro Electromagnético

Es una representación organizada de la energía electromagnética, se dividen en regiones que se basan en longitudes de ondas que pueden ir desde los rayos gamma, longitud de ondas cortas 10-12  $\mu\text{m}$  (micrómetros), hasta las ondas de radio con longitudes de kilómetros, estas regiones se le denominan bandas las cuales tienen su propia frecuencia medidas en Hertz y longitudes de ondas que van desde los micrómetros hasta los kilómetros (Alzate, 2005: ver figura 21).



**Figura 21.** Longitudes de Ondas de Espectro Electromagnético (Tomado de Plaza, 2002).

-Espectro Visible: (0,4-0,7)  $\mu\text{m}$

Se denomina así por tratarse de la única radiación electromagnética que puede recibir el ojo humano, coincidiendo con las longitudes de ondas donde la radiación solar es máxima. Se distinguen tres bandas elementales las cuales son los colores primarios que el ojo humano percibe a esas longitudes de ondas.

1. Azul: (0,4-0,5)  $\mu\text{m}$ .
2. Verde: (0,5-0,6)  $\mu\text{m}$ .
3. Rojo: (0,6-0,7)  $\mu\text{m}$ .

La tabla 4 resume las principales características que pueden ser observadas de las bandas espectrales.

**Tabla 4.** Características de las regiones espectrales (Tomado de Tuesta y Trigozo, 2013).

Región Espectral (bandas)	Longitud de Onda	Características
Rayos Gamma	<0,03nm	Radiación completamente absorbida por las capas superiores de la atmosfera ,no se usa teledetección
Rayos X	0,03-0,3nm	Radiación completamente absorbida por la atmosfera, no se usa teledetección.
Ultravioleta	0,3-0,4µm	La radiación es completamente absorbida por la capa de ozono.
Visible (azul, verde y rojo)	0,4-0,7µm	Se puede detectar a través de fotodetectores y películas fotosensibles normales de colores y blanco y negro
Infrarrojo Próximo	0,7-1,3µm	Discrimina masas vegetales y concentración de humedad.
Infrarrojo Medio	1,3-8µm	Estima contenido de humedad en la vegetación y detección de focos de alta temperatura.
Infrarrojo Térmico	8-14µm	Detecta el calor proveniente de la mayor parte de la cubierta terrestre.
Micro-Ondas	0,1-100cm	Radiación de grandes longitudes de ondas, capaces de penetrar nubes, niebla y lluvia.
Ondas de Radio	>100cm	Radiación con las mayores longitudes de ondas del espectro, usadas en telecomunicaciones.

#### -Imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales están confeccionadas por matrices, en el que cada celda representa un pixel, los sensores registran la radiación electromagnética que proviene de las distintas coberturas y las almacena en cada píxel, de acuerdo a los intervalos de longitudes de onda, en las que este programado el sensor para captar. La energía electromagnética es representada en cada pixel por un valor digital el cual se le agrega una tonalidad, denominada Nivel Digital (ND).

La posición de cada pixel en la imagen satelital está determinada por las coordenadas X, Y, Z. Donde:

X= N° de columnas de la matriz.

Y =N° de filas de la matriz.

Z = Nivel digital (Valor de intensidad de las escalas de grises).

#### 3.2.3 LANDSAT 8

Son imágenes satelitales de toda la tierra. Los datos recogidos por los instrumentos a bordo del satélite están disponible para descargar de forma gratuita en Glovis, EarthExplorer o a través del visor Landsat Look dentro de las 24 horas de recepción. La tabla 10 resume algunas características de las bandas espectrales para este tipo de imágenes satelitales.

**Tabla 5.** Bandas en Landsat 8.

**LANDSAT 8 OPERACIONAL TIERRA IMAGER (OLI)**

<b>Bandas</b>	<b>Long de Onda (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolución</b>
1-Aerosol Costera	0,43 - 0,45	30
2-Azul	0,45 - 0,51	30
3-Verde	0,53 - 0,59	30
4-Rojo	0,64 - 0,67	30
5-Infrarrojo Cercano (NIR)	0,85 - 0,88	30
6-SWIR 1	1,57 - 1,65	30
7-SWIR 2	2,11 - 2,29	30
8-Pancromatico	0,50 - 0,68	15
9-Cirrus	1,36 - 1,38	30
10-Infrarrojo Térmico (TIRS) 1	10,60 - 11,19	100
11-Termal Infra red (TIRS) 2	11,50 - 12,51	100

### 3.2.4 ANÁLISIS VISUAL DE IMÁGENES SATELITALES

La técnica más utilizada para formar una composición en falso color, consiste en mezclar tres imágenes del mismo sitio y fecha correspondientes a distintas bandas, representando a cada una de ellas con alguno de los colores rojo, verde o azul.

Los 256 niveles digitales de cada banda, representables como una imagen monocromática, se combinan para formar otra imagen en colores. Estos colores y tonos se emplean para la interpretación visual de las imágenes, combinando las bandas de manera que dar un primer acercamiento al contenido de la imagen. La combinación de colores permite discriminar aspectos geológicos, de vegetación, uso del suelo y morfología de zonas urbanas.

### 3.3 TRABAJO DE PRE-CAMPO

#### 3.3.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Al iniciar el estudio se realizó una búsqueda exhaustiva de todo lo referente al área y en las zonas adyacentes, todo material que pudiese brindar alguna información geológica y con ello generar una base inicial para llevar a cabo dicho proyecto.

#### 3.3.2 RECOPIACIÓN CARTOGRÁFICA

Con respecto al material cartográfico la información encontrada fue la siguiente.

- Mapa topográfico del sector de Canaima escala 1:240 000.
- Mapa Base (Topográfico, Satelital) tomado de Esri a escala 1:200 000.
- Archivo STRM (MED) del cuadrante del Estado Bolívar.
- Imágenes Landsat 8 OLI.

### 3.4 TRABAJO DE CAMPO

Se recolectaron muestras en 3 puntos principales en el área de estudio buscando principalmente que las muestras tuviesen poco grado de contaminación por agentes externos (ver Figura 22). El difícil acceso y penetración al área condujo a que la búsqueda de las muestras fuese realizada por un grupo de expertos escaladores del grupo “Tierra de Sueños”.

Por su parte se obtuvo tanto muestras de manos como material sedimentario para realizar el estudio. Los puntos de recolección de sedimentos para hacer el estudio de los minerales pesados fueron los siguientes:

**Tabla 6.** Ubicación de puntos de muestreo en la zona de estudio en GD (grados decimales) y GMS (grados, minutos y segundos).

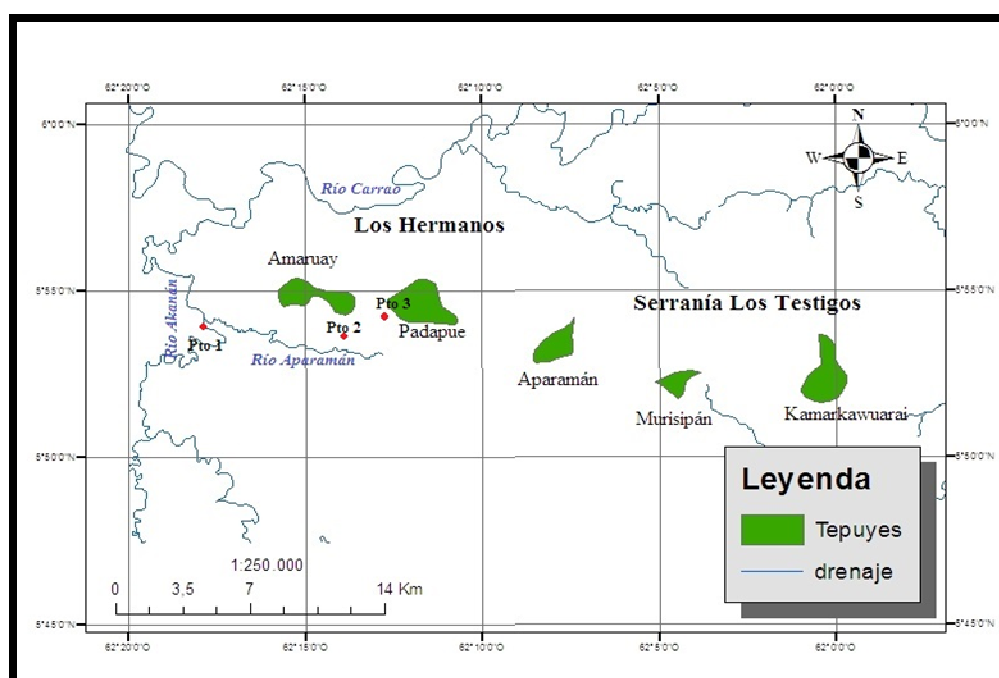
**GD**

**GMS**

Grados decimales      Grados, minutos  
y segundos

Punto de Muestreo	Latitud	Longitud		Descripción
Pto 1	5.89929	-62.2978	N 5°53'57,4'' O 62°17'52,08''	A orillas del río Akanán, cerca Del campamento Iwana-Merú.
Pto 2	5.88661	-62.2365	N 5°53'11,79'' O 62°14'11,39''	En las orillas de un tributario de Akanán, llamado Merey.
Pto 3	5.90312	-62.2107	N 5°54'11,23'' O 62°12'38,52''	En una quebrada cercana a la base de la pared del Padapué.

A continuación se presenta los puntos de muestreo en la zona de estudio (ver figura 22).



**Figura 22.** Ubicación de tomas de muestras.

### 3.5 TRABAJO DE LABORATORIO

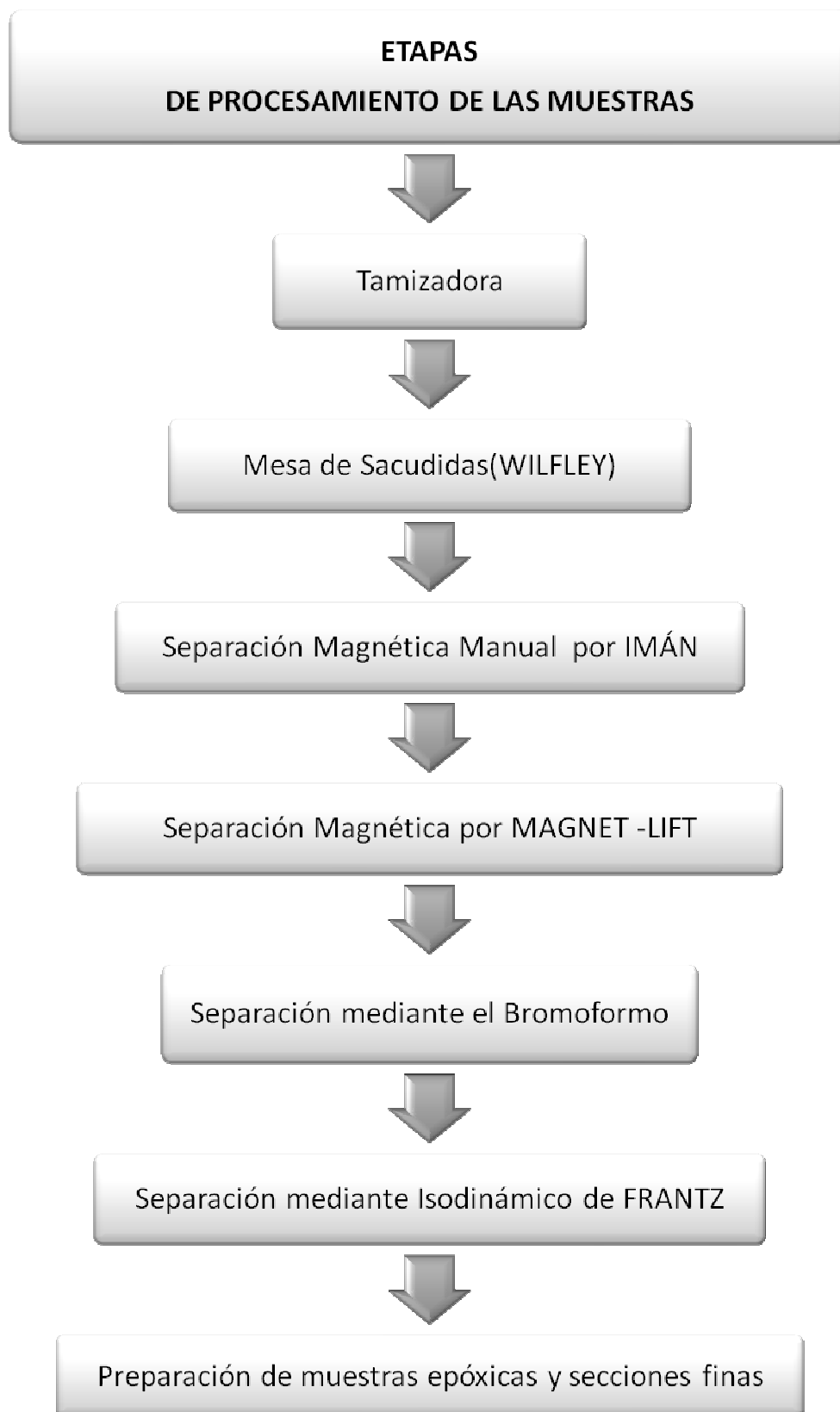


Para analizar y discriminar los diferentes tipos de minerales pesados es necesario realizar la preparación de las secciones epóxicas, ésta se consigue mediante la elaboración de un conjunto de pasos en el laboratorio a las muestras de sedimentos traídas de campo, una vez separados los minerales son puestos en secciones finas pasando por un delicado proceso. Luego de obtener dichas secciones finas se procede a realizar los análisis mediante la microscopía electrónica y el análisis de partículas.

### **3.5.1 PREPARACIÓN DE SECCIONES FINAS**

Después de realizar el análisis microscópico estas muestras se evalúan mediante el software *ImageJ* el cual se explicará a detalle en la próxima sección de trabajo de oficina.

A continuación, se presenta en la figura 23 en forma esquemática cada uno de los pasos que siguen los sedimentos recolectados en campo para extraer los minerales pesados en el laboratorio.



**Figura 23.** Diagrama de flujo que ilustra las diversas fases ejecutadas para el procesamiento de muestras.

## 1. TAMIZADORA

### Descripción

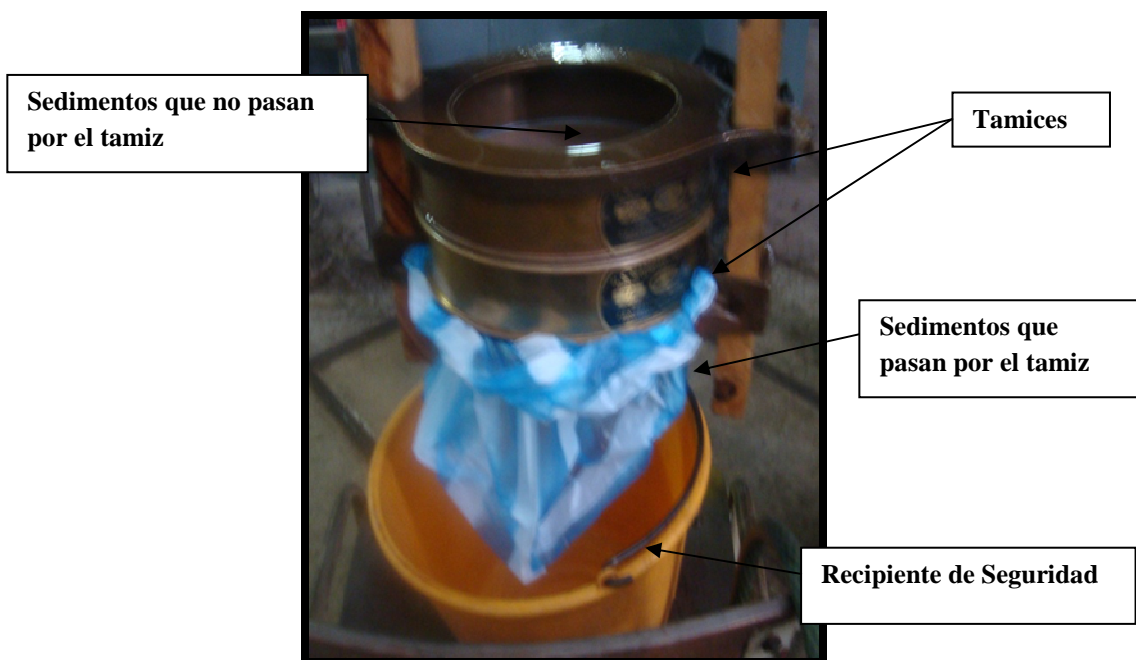
Equipo cilíndrico compuesto por un conjunto de cilindros con mallas, cada una de las malla tiene agujeros con aberturas específicas para separar diferentes tamaños de granos de sedimentos, va conectado eléctricamente, realiza un movimiento vibratorio para tamizar el material.

### Procedimiento

Ubicar los tamices consecuentemente al tamaño de grano, desde tamiz mayor en la parte superior (malla N° 60, granos mayores de 0,25 mm) hasta la menor, que es el tamiz de malla N° 200, granos menores de 0,074mm), depositar en la parte superior los sedimentos y enchufar contando un tiempo determinado.

### Resultado

Se obtiene la granulometría de los sedimentos de acuerdo al tamaño de grano deseado, en el caso nuestro tendremos 3 tamizados de cada muestra, el que no pasa 60, el pasa 60 y el pasa 200 (ver Figura 24).



**Figura 24.** Tamizadora utilizada en el estudio.

## 2. MESAS DE SACUDIDA WILFLEY

### Descripción

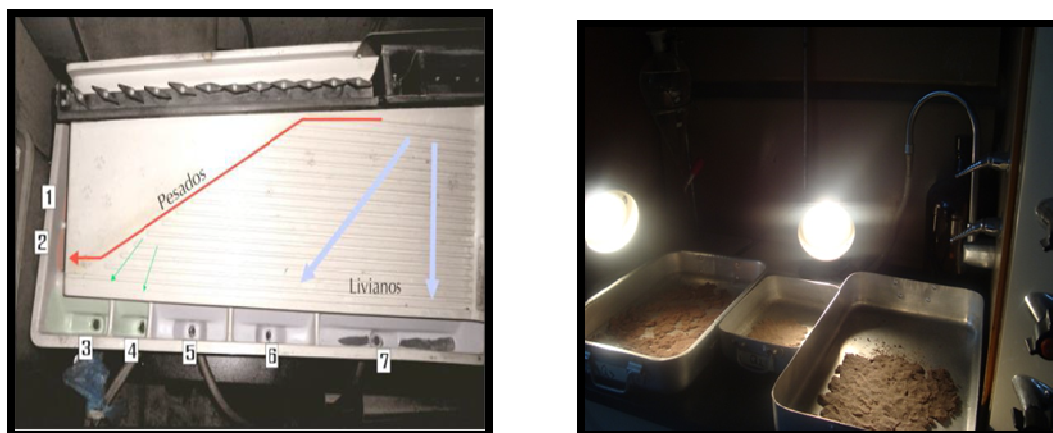
Esta mesa se utiliza para separar minerales finos de gruesos contiene un conjunto de canales distribuidos en siete salidas, los sedimentos que se recogen por los conductos conectados a los canales van de acuerdo a la densidad de tamaño de grano que recorren longitudinalmente la mesa. Las partículas más densas experimentan menor velocidad que las partículas livianas.

#### Procedimiento

Una vez encendido el equipo, se comienza a depositar en la parte superior los sedimentos, agregándole lentamente agua para que los mismo vayan dispersándose por los canales luego, de acuerdo a su densidad se desplazarán de un canal a otro recorriendo la mesa hasta llegar al canal correspondiente. Las partículas con mayor densidad son menos veloces y llegan a las aberturas 1 y 2 por el contrario los menos densos recorrerán mayores velocidades e irán a los canales 6 y 7 (ver Figura 25).

#### Resultados

Se obtiene los minerales pesados y los livianos.



**Figura 25.** a) Mesa de sacudida Wilfley del Laboratorio de Termocronología de la UCV, b) proceso de secado de las muestras. 1 y 2: Pasan los minerales pesados. 3 -4 y 5: Pasan los minerales menos pesados. 6 y 7: Pasan los minerales livianos.

### 3. SEPARACIÓN MAGNÉTICA MANUAL (IMÁN)

#### Descripción

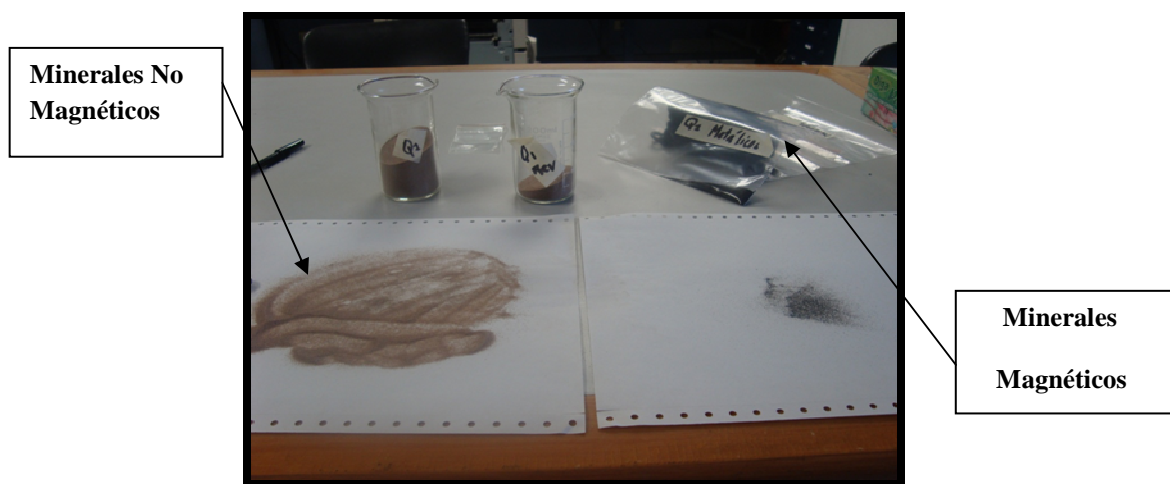
Un imán separa los minerales magnéticos de los demás sedimentos. Generalmente los minerales que contienen alto contenido magnético: La magnetita y pirrotita.

### Procedimiento

Se pasa el imán por encima de las muestras obtenidas de los métodos anteriores, varias veces hasta que queden todos adheridos al imán, estos minerales serán colocados aparte para utilizarlo en estudios posteriores.

### Resultado

Obtención de minerales magnéticos y no magnéticos, los cuales son mostrados en la Figura 26.



**Figura 26.** Separación magnética manual.

## 4. SEPARACIÓN MAGNÉTICA POR EL MAGNET-LIFT

### Descripción

Este equipo trabaja de acuerdo a niveles de amperaje, separa los primeros concentrados de minerales desde 0,2 a 0,8 Amperes.

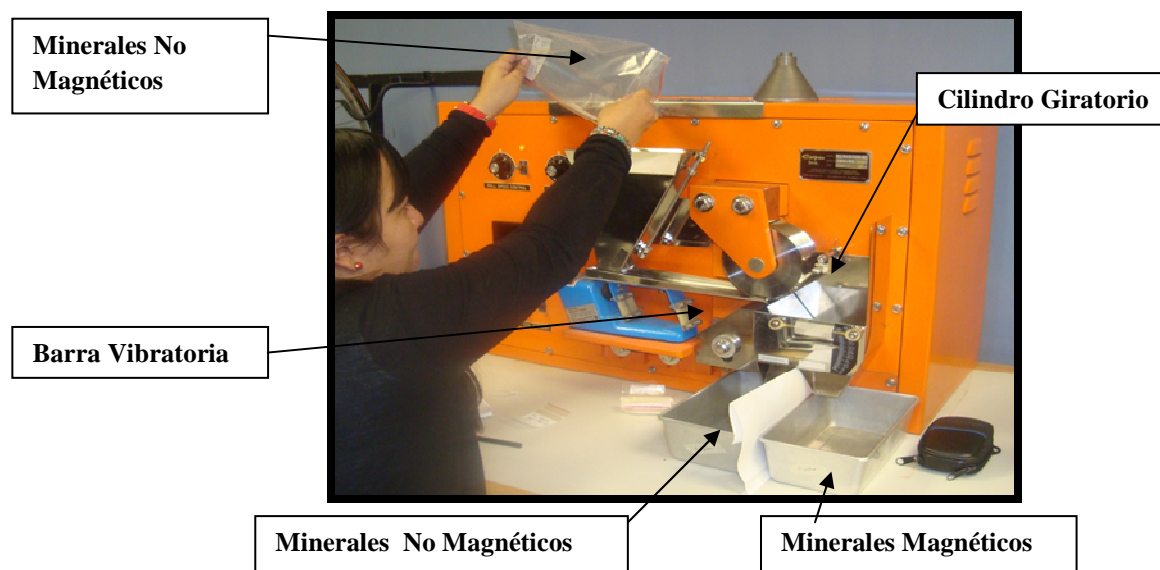
### Procedimiento

La muestra no magnética se pasa por el equipo magnet -lift (Bermúdez y Anaya, 2007) a distintos valores de Amperaje.

### Resultados

Obtención muestras no magnéticas de minerales pesados desde 0,2 a 0,8 A.

A continuación se muestra en la Figura 27 el procesamiento de las muestras mediante el Magnet lift.



**Figura 27.** Separación magnética mediante el Magnet -Lift.

## 5. SEPARACIÓN MEDIANTE EL BROMOFORMO

### Descripción

En este paso, las muestras de minerales no magnéticos obtenidos del paso anterior se colocan en un balón precipitado y allí se le agrega el Bromoformo ( $\text{CH}_3\text{Br}_3$ ) densidad  $2,96 \text{ g/cm}^3$ , con el objetivo de separar los minerales pesados, los cuales van al fondo del embudo de separación, las partículas livianas quedan flotando. Es importante, cuando se usa este químico tomar todas las medidas de seguridad para prevenir accidentes (máscaras, lentes de seguridad, bata y guantes).

Posteriormente se procede a colocar filtros en unos vasos precipitados y luego se procede a abrir la llave del balón precipitado en dichos vasos con el filtro y allí serán depositados los minerales pesados y en otros los livianos.



**Figura 28.** Procedimiento para la separación de minerales pesados y livianos.



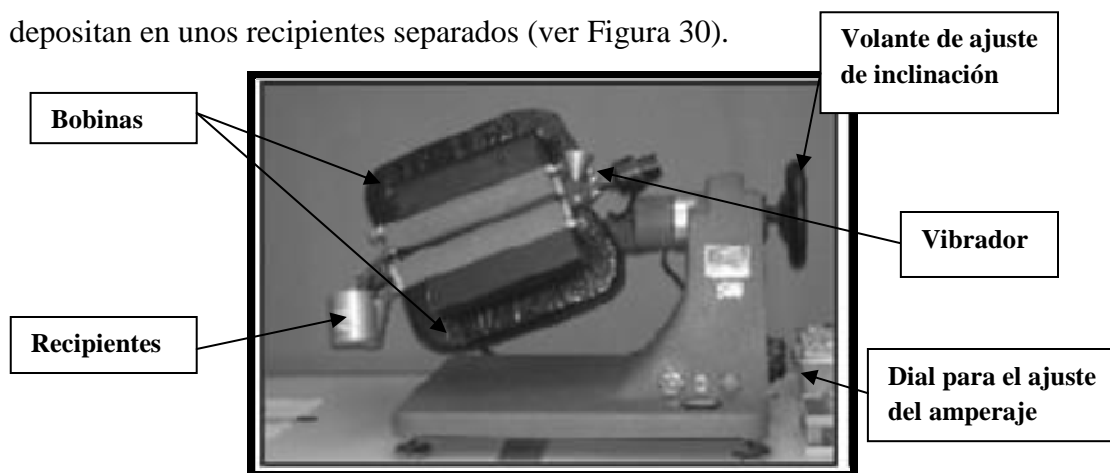
**Figura 29.** Fracciones pesadas y no pesadas obtenidas durante el proceso de separación por Bromoformo.

Posterior a ello se procede a la recuperación del Bromoformo.

## 6. SEPARACIÓN MEDIANTE ISODINÁMICO DE FRANTZ

El separador magnético Isodinámico Frantz usa la susceptibilidad magnética de los minerales pesados obtenidos de procesos anteriores para concentrar los minerales magnéticos de los no-magnéticos.

Está conformado por con dos canales, el cual se encuentra entre dos bobinas que generan un campo magnético variable controlado por un amperímetro ajustable que va desde 0,3 a 1,2 Amperes. En uno de los canales pasan los minerales no magnéticos y en el otro los minerales con mayor susceptibilidad magnética, que se depositan en unos recipientes separados (ver Figura 30).



**Figura 30.** Separador magnético Isodinámico FRANTZ. Laboratorio de Termocronología de La Escuela de Geología Minas y Geofísica de La UCV.

De acuerdo a Hess (1959) se obtendrían los minerales pesados mostrados en la Tabla 7 para identificar la susceptibilidad magnética de los minerales.

**Tabla 7.** Tabla de Susceptibilidad magnética y la relación del ángulo de inclinación del equipo FRANTZ (Tomado y modificado de Hess, 1959).

Ángulo de Inclinación 20°				Ángulo de Inclinación 5°	
A	B	C	D	E	F
Imán de mano	Magnéticos a 0,4 A	Magnéticos a 0,8 A	Magnéticos a 1,2 A	Magnéticos a 1,2 A	No Magnéticos a 1,2 A
Magnetita Pirrotita	Ilmenita Granate Olivino Cromita Cloritoide	Hornblenda Hiperesteno Augita Actinolita Estaurolita Epidoto Biotita Clorita Turmalina	Diópsido Tremolita Enstatita Espinela Estaurolita Moscovita Zeosita Clinozoisita Turmalina	Esfena Leucoxeno Apatito Andalucita Monzonita Xenocita	Circón Rutilo Anatasa Pirita Corindón Topacio Fluorita Kyanita Silimanita Anidrita Berilo

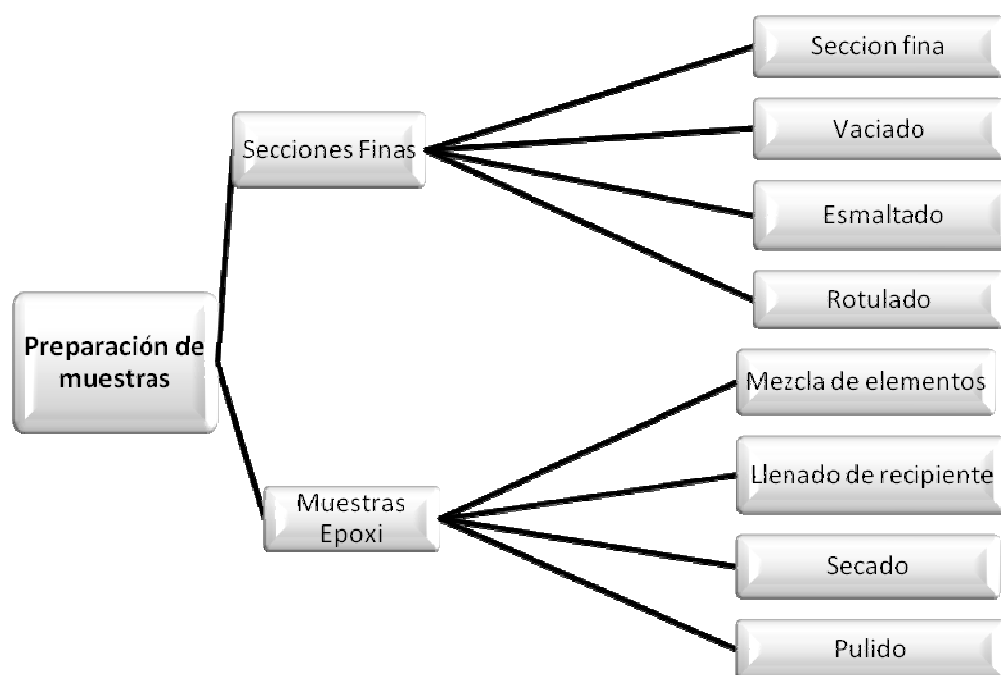


### Procedimiento

Los minerales pesados obtenidos son puestos a secar y pasados al equipo de separación magnética isodinámica de FRANTZ a diferentes niveles de amperaje 0, 2; 0,4; 0,8 y 1.2 Ampere y 20° de inclinación.

## 7. PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LAS SECCIONES FINAS Y MUESTRAS EPÓXICAS

Posteriormente que se obtienen los minerales pesados se procede a elaborar las secciones epóxicas, para ello deben seguirse un conjunto de pasos para lograr obtener secciones finas óptimas y lograr elaborar unas secciones finas de buena calidad.



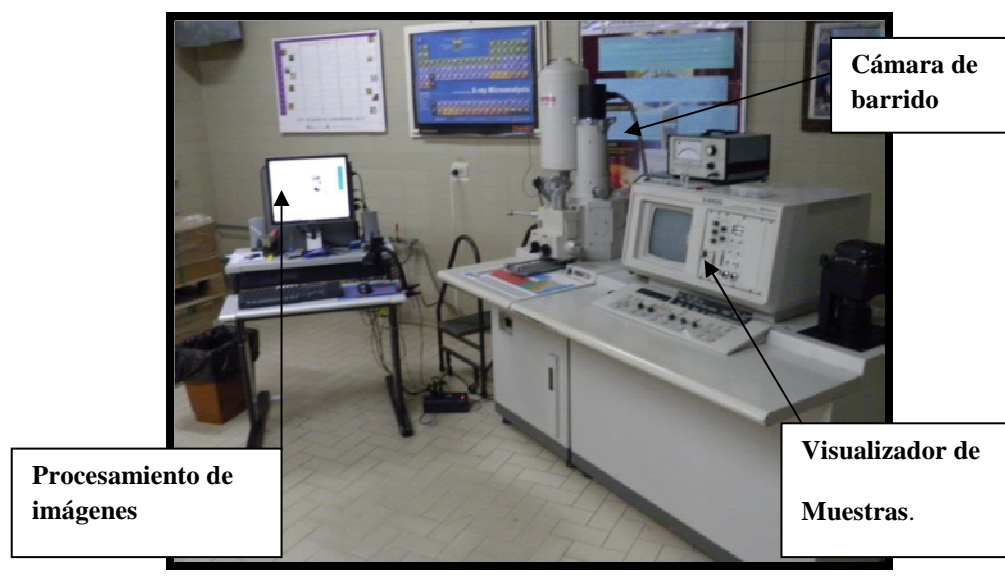
**Figura 31.** Esquema del procedimiento para la elaboración de muestras.

Para elaborar estas secciones epóxicas es necesario aplicar la resina epóxica que formará una capa adherente, en el cual se mezcla 2 partes en una porción 5 a 1 sobre una plancha térmica a 40°C, en un molde de aluminio se remueve hasta formar una pasta homogénea.

Aquí se observan las muestras generadas y con ellas se inicia el proceso del análisis de granos para identificar los tipos de minerales pesados presentes, estimar la redondez y esfericidad de los granos, y establecer la procedencia del material.

### 3.5.2 PREPARACIÓN DE MINERALES MEDIANTE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Este estudio se lleva a cabo para determinar la morfotextura de los granos de cuarzo mediante la microscopía electrónica de barrido (MEB).



**Figura 32.** Microscópio Electrónico de Barrido MEB. Escuela de Ingeniería Metalurgia y Ciencias de los Materiales UCV.

## 3.6 ETAPA DE OFICINA

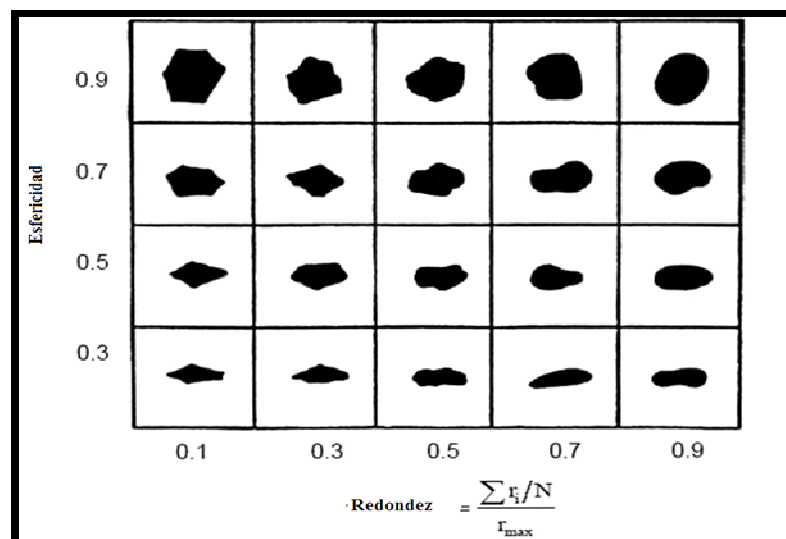
### 3.6.1 ANÁLISIS DE MINERALES PESADOS MEDIANTE MICROSCOPIA

Este análisis se basa en identificar los elementos de minerales pesados de las secciones finas realizadas en la etapa de laboratorio.

Se hace un estudio utilizando el microscópio de luz polarizada en donde se identifican elementos característicos como: textura (redondez y esfericidad) usando la carta de Krumbein y Sloss (1963) como referencia y el tamaño de grano.

Con respecto a la utilización de la carta de Krumbein y Sloss (1963), se usó para determinar la redondez y esfericidad de los granos en las secciones finas de los minerales pesados mediante el programa *ImageJ* y con ello identificar los procesos de transporte y depositación de material sedimentario. Esta carta consta de un componente horizontal “X” donde se encuentra el parámetro de la redondez que se refiere como el radio promedio de la curvatura de las esquinas con el radio del mayor círculo inscrito (Wadell, 1932).

En el componente vertical “Y” se encuentra el parámetro de la esfericidad y lo define Wadell (1932) como el radio entre el diámetro de las esferas con el mismo volumen de las partículas y el diámetro de las esferas circunscritas y es determinada por tres dimensiones lineales: longitud (L), intermedio (I) y pequeño (S).



**Figura 33.** Carta de Krumbein y Sloss (1963) (Tomado de Corrales, 1977).

#### Proceso

- Primeramente se seleccionaron granos sobre la sección epóxica y posteriormente, se realizó una evaluación comparativa de cada grano con la gráfica de Krumbein y Sloss identificando la esfericidad y redondez.
- Se realiza una medición de los tamaños de grano de la redondez y esfericidad mediante las mediciones respectivas con el software *ImageJ*.
- Se hace una interpretación de los mecanismos de transporte y ambientes depositacionales, en el caso de los minerales pesados como carga de fondo,

esta tabla es utilizada para el análisis de granos de cuarzo pero algunos parámetros pueden ser usados en el caso de minerales pesados.

### 3.6.2 ANÁLISIS DE IMÁGENES DE MINERALES PESADOS MEDIANTE IMAGE J

Es una herramienta para el procesamiento de imágenes. Este programa se puede utilizar para realizar operaciones sobre imágenes como ajustar el contraste, cambiar color de imagen a blanco y negro, resaltar y ocultar detalles y generar datos cualitativos con un margen de error pequeño.

Después de obtener las secciones epóxicas, se realizó el análisis visual con el microscopio de luz polarizada y luego estas imágenes se analizaron con el programa *ImageJ* a fin de analizar las diferentes partículas desde un punto de vista morfométrico.

#### Software *ImageJ*

Este software permite realizar un análisis digital de las imágenes de los granos de las muestras y calibrar los valores según la carta de Krumbein y Sloss (1963).

1. Se carga la imagen el software *ImageJ*

Menú → *File* → *Open*

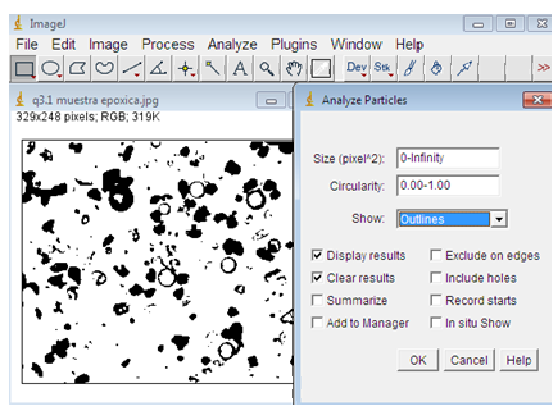
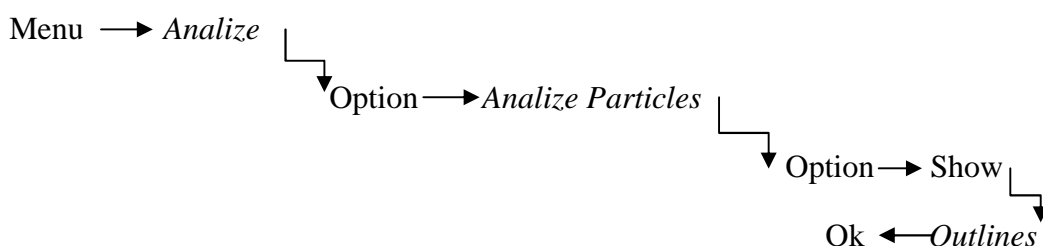
2. Luego de tener abierta la imagen se hace un contraste de colores para definir la forma de granos a calcular de la siguiente manera:

Menú → *Image* → Option → *Adjust* → *Threshold* → B&W → *Apply*.

3. Luego se determinan los parámetros morfométricos de la siguiente manera:

Menu → *Analyze* → Option → *Set Measurements* → (Se seleccionan todas) → *Ok* ← *Redirect to*

4. Luego se seleccionan las partículas a ser analizadas mediante:



**Figura 34.** Procesamiento de Análisis de Partículas mediante *ImageJ*.

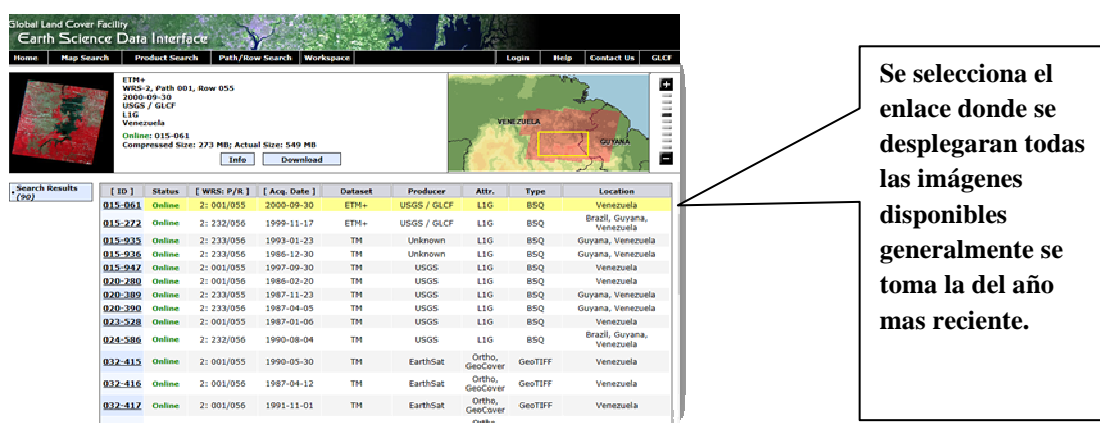
5. Luego se abre una ventana que corresponde al contorno de cada partícula analizada con una numeración específica para cada grano y también se despliega una tabla con valores de mediciones, en donde se pueden identificar la redondez y esfericidad de cada grano.

### 3.6.3 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES SATELITALES

El procesamiento de las imágenes está relacionado con la corrección y calibración de las imágenes con el propósito de conseguir una representación lo más exacta posible de la superficie terrestre. Las imágenes de sensores remotos son tomadas frecuentemente a gran distancia de la superficie terrestre, como hay un gran camino atmosférico que la energía electromagnética debe atravesar antes de llegar al sensor.

Dependiendo de la longitud de onda y de las condiciones atmosféricas la energía que llega al sensor puede ser modificada, por consiguiente una variedad de errores sistemáticos pueden solaparse, lo cual degrada la calidad de la imagen que se recibe.

Primeramente, se descarga de manera gratuita la imagen satelital de GLCF en la siguiente dirección web: <http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>, este servidor ofrece imágenes Landsat TM y ETM, ASTER, MODIS, y modelo de elevación digital. Se selecciona el modo de búsqueda del mapa y se descargan las imágenes satelitales en formato TIFF, se escoge la imagen que se desea obtener y la imagen aparecerá en un cuadro amarillo, luego se le da en el botón que dice Preview & Download y se abrirá una ventana con las imágenes. A continuación, se presenta en la Figura 35 el procedimiento para descargar tales imágenes.



The screenshot shows the 'Global Land Cover Facility Earth Science Data Interface'. It features a search results table with columns: ID, Status, WRS, P/R, Acq. Date, Dataset, Producer, Attr., Type, and Location. A callout box points to the table with the text: "Se selecciona el enlace donde se desplegarán todas las imágenes disponibles generalmente se toma la del año más reciente."

ID	Status	WRS	P/R	Acq. Date	Dataset	Producer	Attr.	Type	Location
915-061	Online	2: 001/055		2000-09-30	ETM+	USGS / GLCF	L1G	BSQ	Venezuela
915-272	Online	2: 232/056		1999-11-17	ETM+	USGS / GLCF	L1G	BSQ	Brazil, Guyana, Venezuela
915-933	Online	2: 233/056		1993-01-23	TM	Unknown	L1G	BSQ	Guyana, Venezuela
915-936	Online	2: 233/056		1986-12-30	TM	Unknown	L1G	BSQ	Guyana, Venezuela
915-947	Online	2: 001/055		1997-09-30	TM	USGS	L1G	BSQ	Venezuela
920-280	Online	2: 001/056		1985-03-20	TM	USGS	L1G	BSQ	Venezuela
920-289	Online	2: 233/055		1987-11-23	TM	USGS	L1G	BSQ	Guyana, Venezuela
920-390	Online	2: 233/056		1987-04-05	TM	USGS	L1G	BSQ	Venezuela
923-528	Online	2: 001/055		1987-01-06	TM	USGS	L1G	BSQ	Venezuela
924-586	Online	2: 232/056		1990-08-04	TM	USGS	L1G	BSQ	Brazil, Guyana, Venezuela
932-415	Online	2: 001/055		1990-05-30	TM	EarthSat	Ortho, GeoCover	GeoTIFF	Venezuela
932-416	Online	2: 001/055		1987-04-12	TM	EarthSat	Ortho, GeoCover	GeoTIFF	Venezuela
932-417	Online	2: 001/055		1991-11-01	TM	EarthSat	Ortho, GeoCover	GeoTIFF	Venezuela

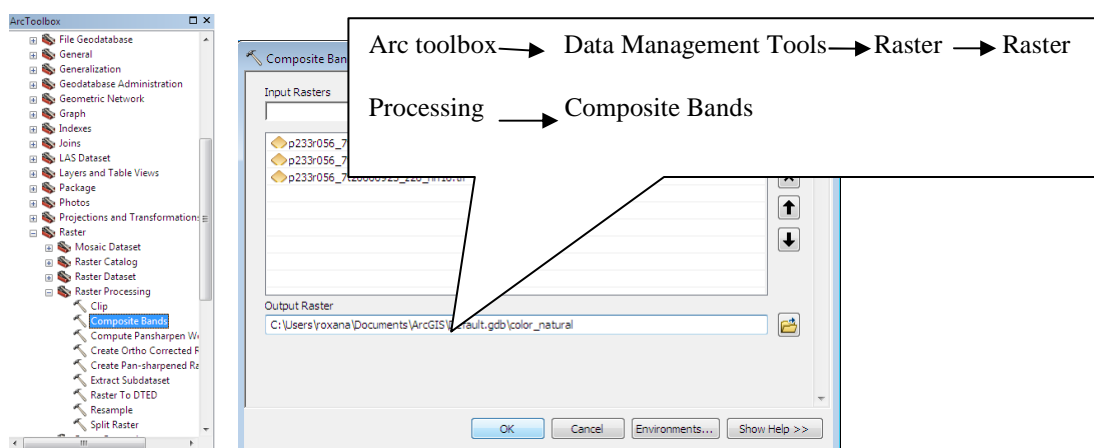
**Figura 35.** Procedimiento para buscar imágenes Satelitales (sitio de descargas: <http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>)

Luego de descargar se obtienen las imágenes de las bandas.

## ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES UTILIZANDO ARCGIS 10.2

### Combinación de Bandas

En ArcGIS 10.2 se puede realizar composiciones de color usando la función Composite Bands, la cual se accede de la forma mostrada en la Figura 36.



**Figura 36.** Procedimiento para realizar las combinaciones de bandas.

### 3.6.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y MORFOMÉTRICO MEDIANTE ARCGIS 10.2

#### Geomorfometría o Análisis Digital del Terreno

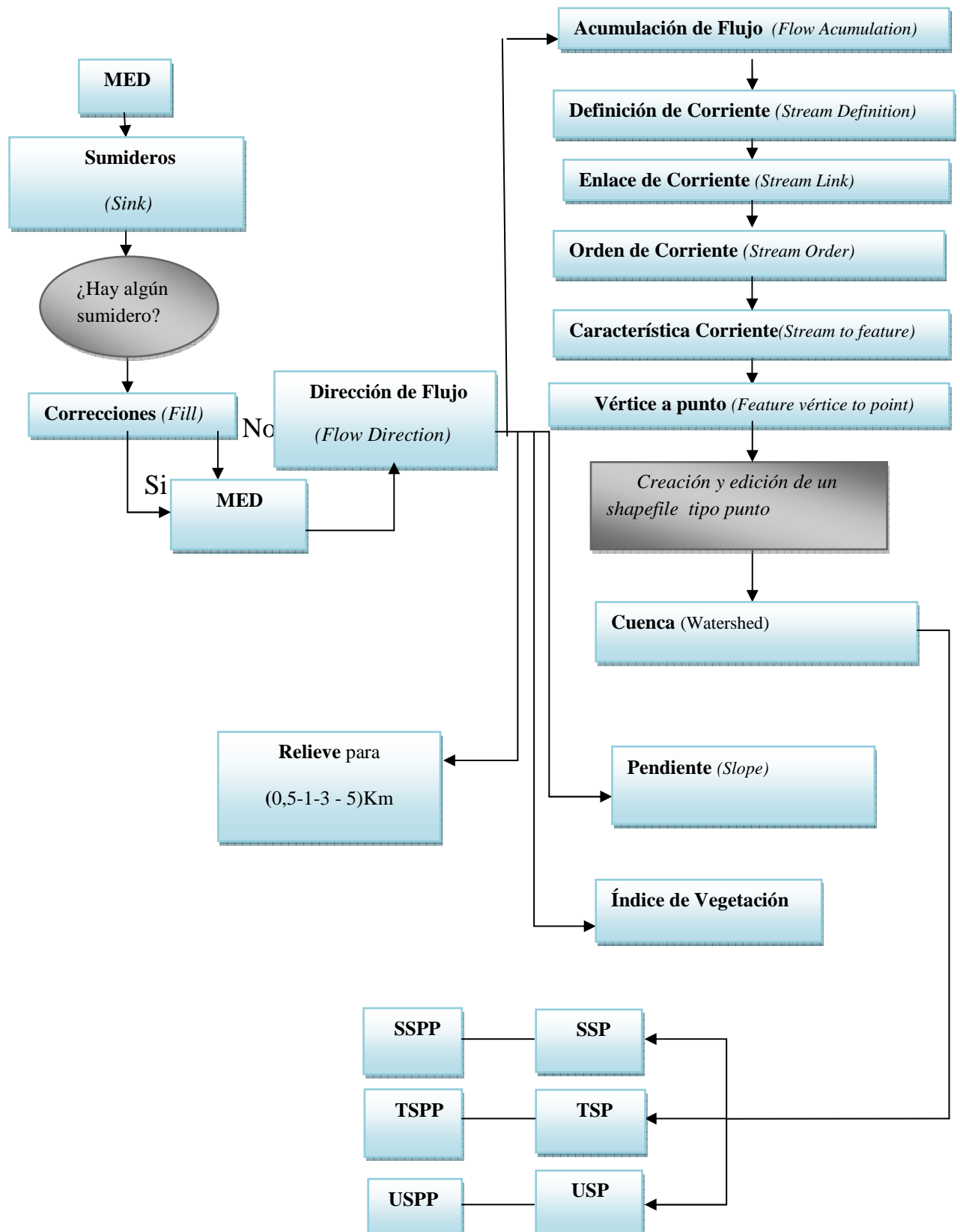
La geomorfometría, análisis digital del terreno o geomorfología cuantitativa es la ciencia que comprende el cálculo de variables morfométricas de forma cuantitativa a partir de modelos de elevación digital de la superficie terrestre (Pike et al., 2009).

Se basa principalmente en la existencia de una relación entre las formas del relieve y los parámetros numéricos usados para su descripción, así como también, los procesos relacionados con la génesis y evolución del relieve (Bolongaro-Crevenna et al., 2005). En base al modelo de elevación digital del terreno (MDE) se calculan un conjunto de atributos tanto primarios como secundarios.

**Atributos Primarios:** Comprenden pendiente, aspecto, curvatura (máxima, mínima, horizontal y vertical) y área de sedimentación. Calculando los atributos primarios del terreno es posible identificar sumideros, direcciones de flujos, acumulaciones, delineación de cuencas hidrográficas y crear redes de drenajes (Wilson y Gallant, 2000).

**Atributos Secundarios:** índice topográfico de humedad, índice de poder de corriente o de transporte de sedimentos, índice climático (radiación y temperatura), (Moore et al., 1991).

## Procedimiento para realizar el análisis Hidrológico en ArcGIS 10.2



**Figura 37.** Esquema del proceso para realizar un análisis hidrológico (Elaboración propia).



Al realizarse la evaluación del MDE con una resolución de 30 m de la base de datos de Agencia Espacial Norteamericana (NASA) descargada de forma gratuita en el servidor *Earth Science Data Interface* y fue proyectada y procesada bajo el sistema de coordenada geográfica WGS1984 mediante ArcGIS 10.2.

Teniendo el MDE se procede abrirlo con el software ArcGIS 10.2, siguiendo la metodología presentada.

1. Se abre ArcMAP 10.2 → *File* → Open → MDE.

### ***Proyecciones***

Una vez desplegado el MDE en ArcGIS 10.2 es necesario usar un sistema de referencia que se adapte a la zona a trabajar, tomando en cuenta que una vez elegido el mismo, todas las proyecciones deben seguirse de la misma forma. En Venezuela, generalmente se usan Regven con su huso horario específico que va desde el 18 al 21 Norte, la Canoa o WGS1984, en este caso se utilizará para dicho proyecto el sistema de referencia WGS 1984.

Al *dataframe* o carpeta se le asigna el sistema de coordenada de la siguiente manera:

**View → Data Frame Properties → select a coordinate system: Predefined Projected Coordinate System → WGS 1984.**

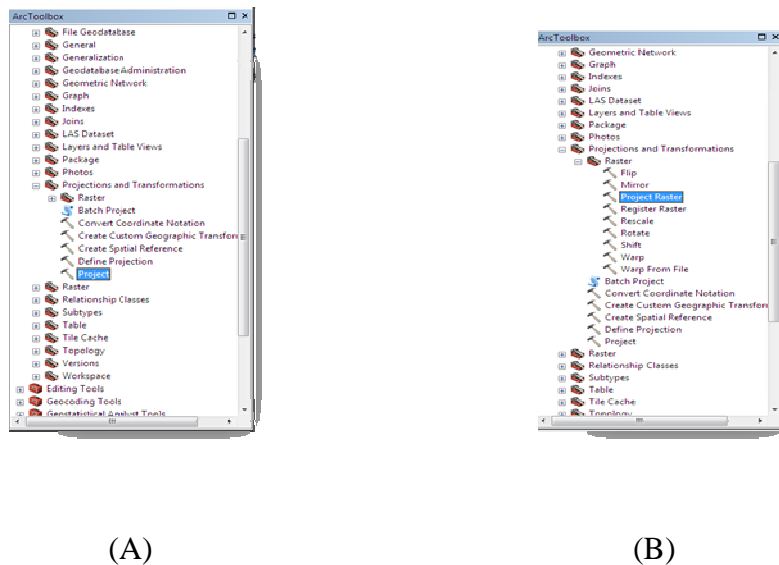
Se debe tener en cuenta que cada capa que se usa debe ser proyectada al mismo sistema de referencia utilizado, en el caso de utilizar otras capas (vectoriales o ráster) se procede de la manera descrita en la Figura 38.

### ***Capas Vectoriales:***

**ArcToolBox → Data Management Tools → Projections and Transformations Project**

### ***Raster:***

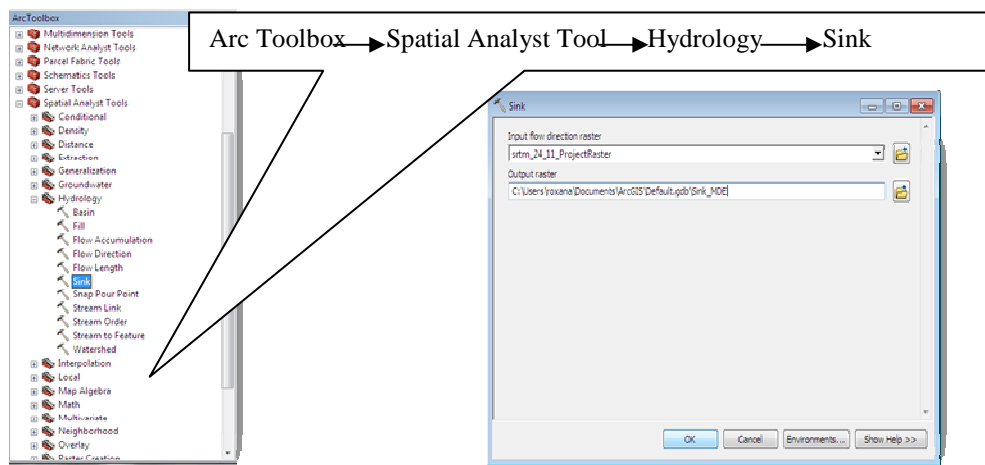
**ArcToolBox → Data Management Tools → Projections and Transformations → Raster → Project Raster**



**Figura 38.** (A) Proyección en capas vectoriales. (B) Proyección en ráster.

### *Depresiones o Sumideros “Sink”*

Teniendo el sistema de referencia establecido posteriormente se aplica el Sink para determinar la cantidad de sumideros o depresiones presentes en el MDE y así de acuerdo a ello hacerle las correcciones necesarias para su posterior uso. El procedimiento es mostrado en la Figura 39.

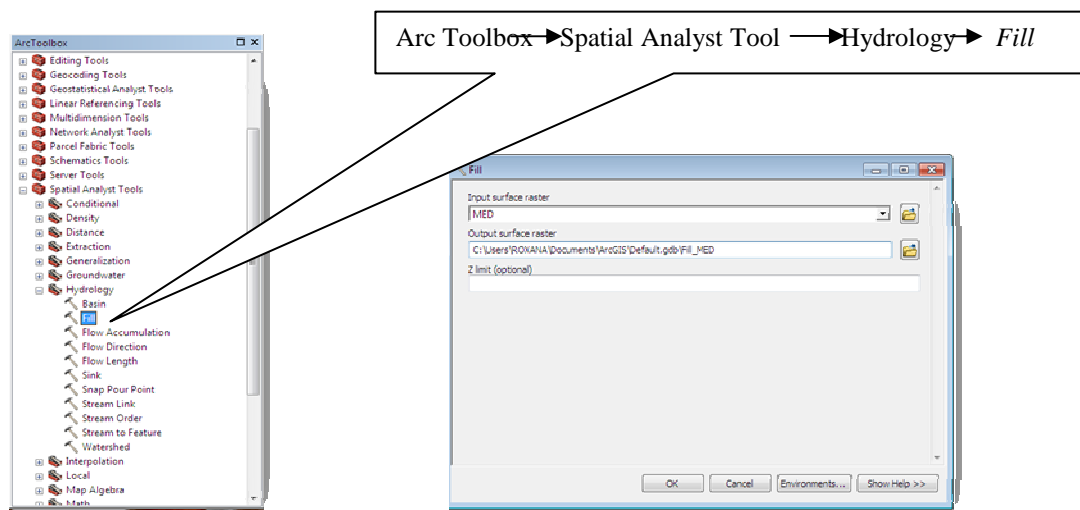


**Figura 39.** Proceso para realizar el Sink mediante ArcGIS 10.2.

### *Corrección del MDE mediante la herramienta (relleno o “fill”)*

Al realizar el proceso anterior y observar la cantidad de depresiones se procede a realizar un relleno o *fill* al MDE para corregirlo y poder trabajar más eficientemente

con él. Con esta herramienta se rellenan las imperfecciones existentes en la superficie del MDE, de tal manera que las celdas en la depresión alcancen el nivel del terreno de alrededor, con el objetivo de poder determinar luego de forma adecuada la dirección de flujo. Este proceso es mostrado en la Figura 40.



**Figura 40.** Corrección del MDE mediante ArcGIS 10.2

### *Dirección de Flujo (Flow Direction Tool)*

Determinar la dirección de flujo es el paso principal para realizar análisis hidrológicos, todas las demás herramientas hidrológicas requieren de esta información para trabajar. Esta herramienta permite encontrar la dirección de flujo para una celda comparando su valor de elevación con los valores de las celdas vecinas, el resultado indica hacia donde el agua fluirá. La dirección de flujo está determinada por la dirección del descenso más empinado.

$$\text{Máxima Caída} = (\text{Cambios en elevación}/\text{distancia}) * 100$$

La distancia es calculada entre los centros de las celdas, cuando se encuentra la dirección de un descenso más empinado, la celda de salida se codifica con el valor representado en esa dirección. Esta herramienta toma una superficie como entrada y proporciona como salida un ráster que muestra la dirección de flujo que sale de cada celda. Existen 8 direcciones de salidas validas que relacionan las 8 celdas adyacentes

hacia donde puede ir el flujo (Figura 41), este método se denomina el modelo de flujo de 8 direcciones (D8) presentado por Jenson y Domínguez (1988).

<b>1 Este</b>			
<b>2 Sureste</b>			
<b>4 Sur</b>			
<b>8 Suroeste</b>			
<b>16 Oeste</b>			
<b>32 Noroeste</b>			
<b>64 Norte</b>			
<b>128 Noreste</b>			

32	64	128
16		1
8	4	2

Figura 41. Direcciones de flujo de corriente (Elaboración propia).

El procedimiento para determinar la dirección de flujo es mostrado en la Figura 42.

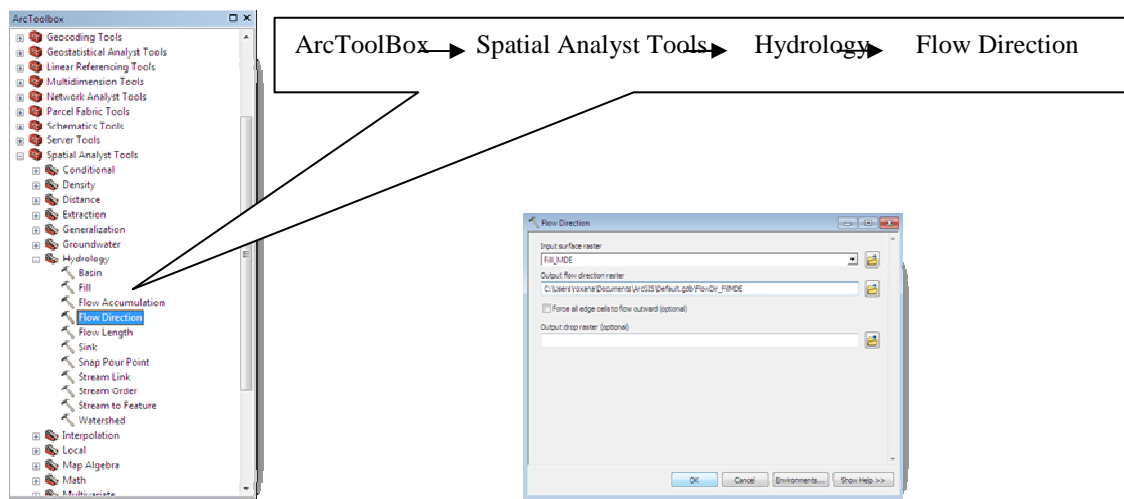
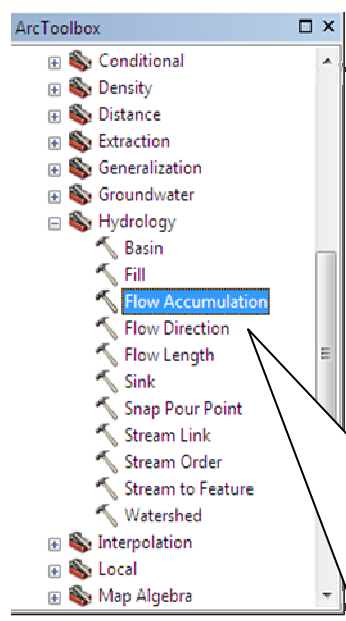


Figura 42. Procedimiento para realizar la dirección de flujo

**Acumulación de Flujo (Flow Accumulation)**

Esta herramienta calcula el flujo acumulado como el peso acumulado de todas las celdas que fluyen en cada celda de pendiente descendente en el ráster de salida. En

el caso de no proporcionar un ráster de peso, se aplica un peso de 1 a cada celda, y el valor de celdas en el ráster de salida es el número de celdas que fluye en cada celda. Cuando se considera la precipitación o cantidad de agua que cae en una región, es acá en donde debe incluirse como peso la cantidad de precipitación caída en un intervalo de tiempo.



Las celdas que presentan alta acumulación de flujo son áreas concentradas y pueden ser óptimas para identificar redes de drenajes, analizado mediante la herramienta de identificación de redes de arroyos (stream link), mientras que las celdas de flujo de 0 son alturas topográficas locales y se pueden identificar crestas o nacientes de río. La salida desde la herramienta puede representar la cantidad de lluvia que fluye por cada celda en escorrentía. La Figura 43, ilustra el procedimiento para determinar la acumulación de flujo.

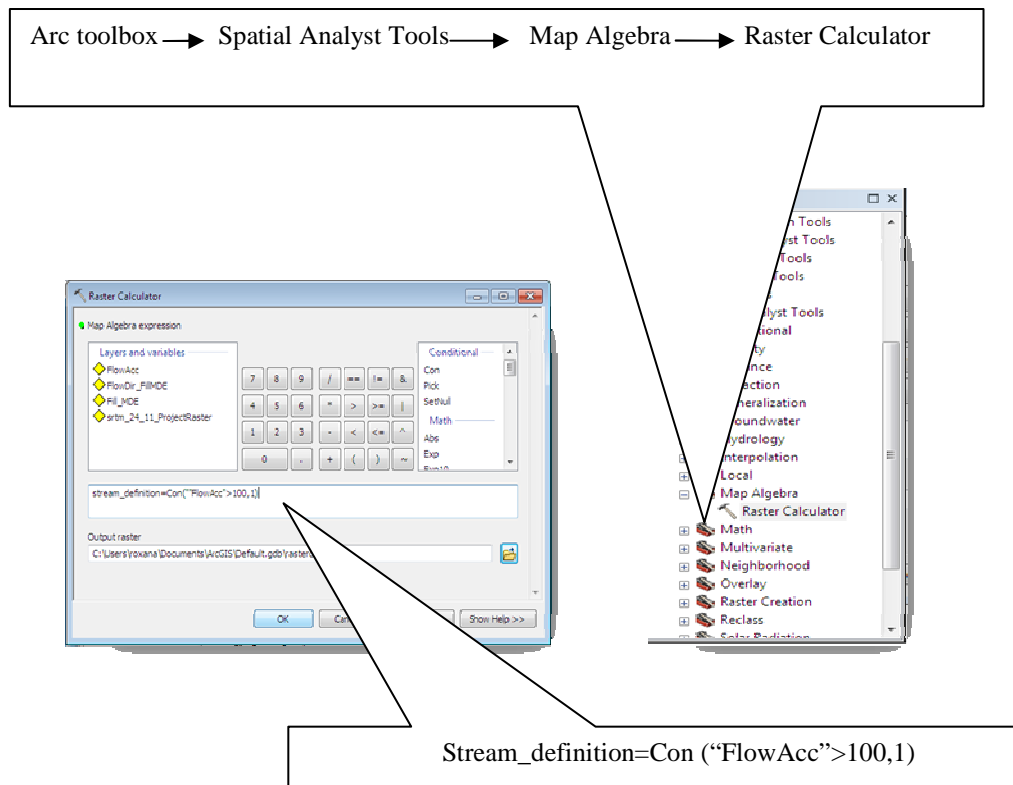
Arc toolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology → Flow Accumulation

**Figura 43.** Proceso para calcular la Acumulación de flujo en ArcGIS 10.2

### ***Definición de Corriente (Stream Definition)***

Aquí se clasifica las celdas con acumulación de flujo mayor a un umbral especificado por el usuario como celdas pertenecientes a la red de flujo. El umbral debe ser especificado como el número de celdas vertientes a la que se está clasificando en cada momento. Si seleccionamos un valor bajo del umbral significa se obtendrá afluentes pequeños, un valor alto, modela los drenajes de mayor tamaño.

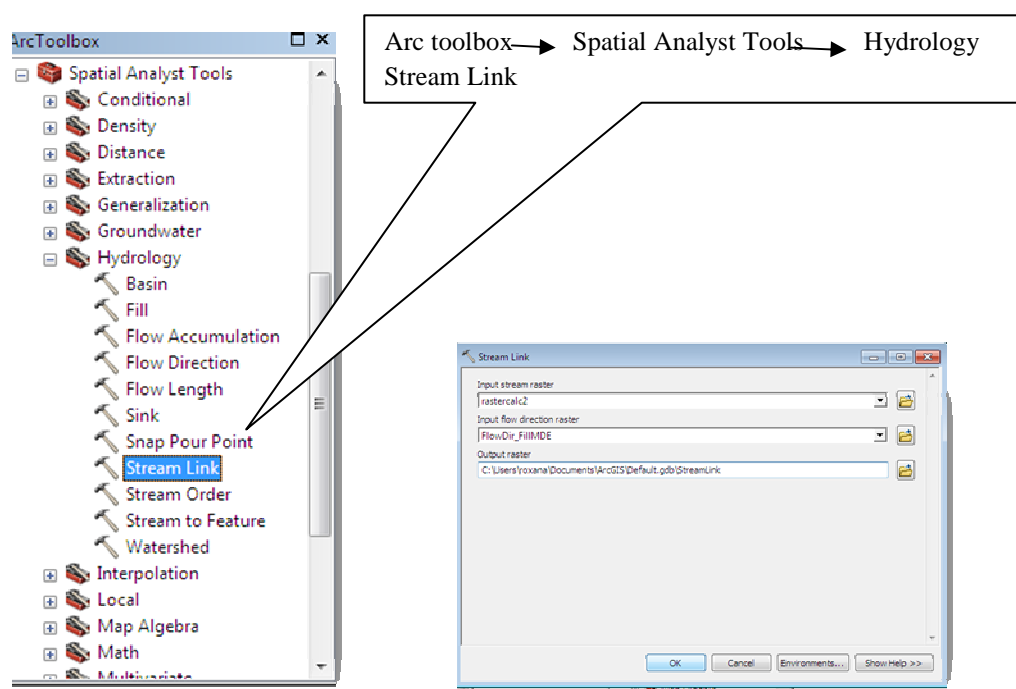
La Figura 44, muestra el procedimiento para determinar la corriente.



**Figura 44.** Procedimiento para calcular el stream definition

### *Clasificación del Enlace de corriente (Stream Link)*

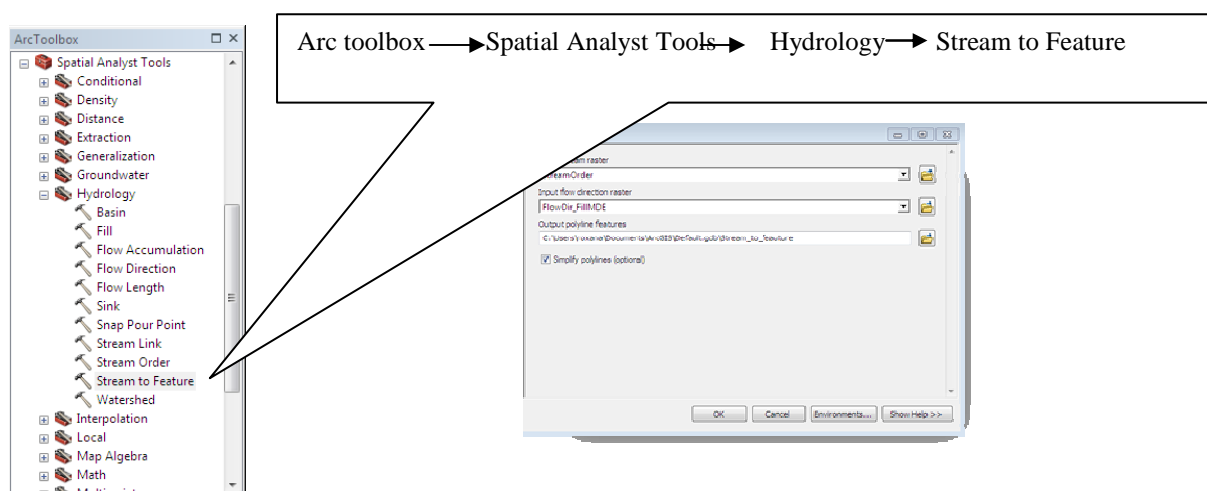
Divide el cauce en segmentos no interrumpidos, es decir dichas secciones en la que se divide el recorrido del flujo serán segmentos que conectan dos uniones sucesivas, una unión y un punto de desagüe o una unión y una división del área de drenaje. La Figura 45 ilustra el procedimiento para realizar los enlaces de drenaje o corrientes.



**Figura 45.** Clasificación del Enlace de Corriente mediante ArcGIS 10.2

### *Característica de la corriente (Stream to Feature)*

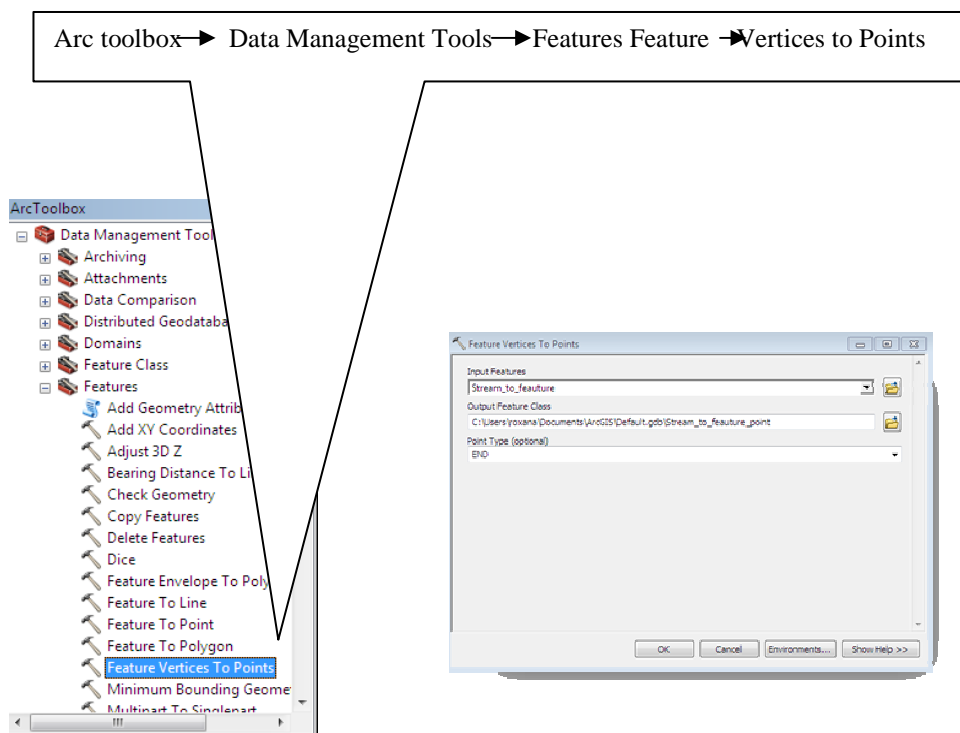
Esta herramienta es útil para crear la red de drenajes en forma gráfica en lugar de ráster. Se crea un shapefile o capa de la red de drenaje a evaluar. La Figura 46 ilustra el proceso para la conversión de la red de drenajes a polígonos.



**Figura 46.** Proceso para determinar características de la corriente mediante ArcGIS 10.2.

### *Característica Vértice a Punto (Feature Vértice to Point)*

Esta herramienta permite determinar los puntos donde se cortan cada uno de de los drenajes, convierte los vértices a puntos, se puede determinar el inicio, medio o fin de cada tramo de la corriente, en este caso se utilizarán los puntos finales que es el punto donde hay acumulación de flujo y necesario para la determinación de cuencas. La Figura 47 ilustra el procedimiento para transformar los vértices a puntos.

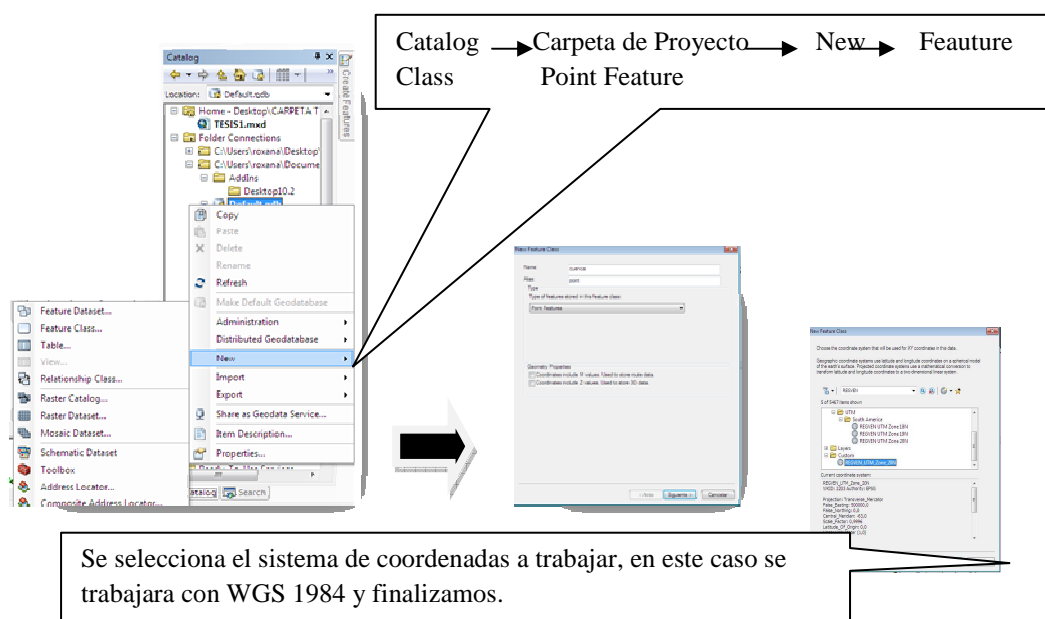


**Figura 47.** Procedimiento modificar de vértice a punto mediante ArcGIS 10.2

### *Crear un shapefile de feature class a tipo Punto*

Se crea un nuevo shapefile tipo punto para obtener solo la cuenca que nos interesa ejecutar. Para ello, en la misma carpeta que se está trabajando en la ventana Catalog se realiza el procedimiento mostrado en la Figura 48.

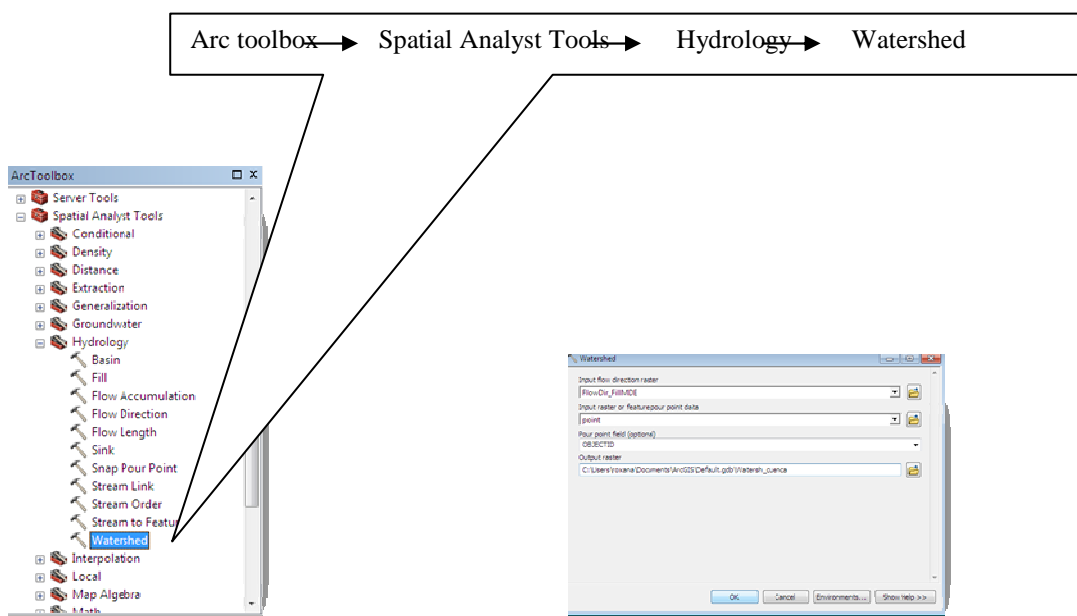




**Figura 48.** Proceso para realizar una nueva capa tipo punto en ArcGIS 10.2

*Delimitación de la Cuenca (Watershed)*

Esta operación permite delinear la cuenca. El proceso se realiza de forma presentada en la Figura 49.



**Figura 49.** Delimitación de Cuenca mediante ArcGIS 10.2

## CÁLCULOS DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

Los parámetros morfométricos resultan primordiales para realizar una evaluación del comportamiento hidrológico y de la dinámica de un área, estos procesos permiten la activación de la geomorfología de un relieve.

### *Cálculo de la Pendiente*

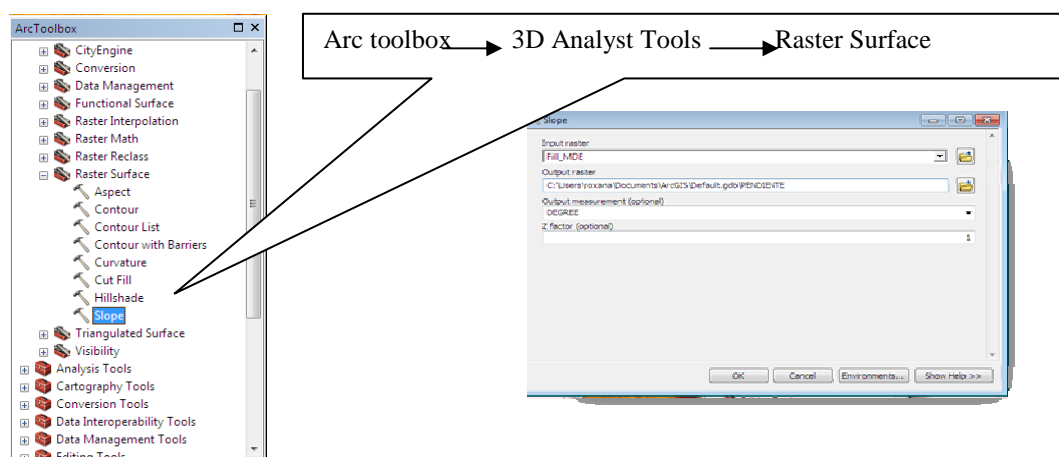
La pendiente es el grado de inclinación de un terreno y ésta se puede calcular mediante la tangente de la superficie (Kenelly, 2008). En planimetría la pendiente se expresa como un porcentaje de la siguiente manera:

$$\% \text{ de Pendiente} = (\text{Altura/Base}) * 100$$

Otra manera de expresar la pendiente es en grado se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Pendiente en Grados} = \text{Arco Tangente} (\text{Altura/Base})$$

Para calcular la pendiente mediante ArcGIS 10.2 se realiza el procedimiento mostrado en la Figura 50.



**Figura 50.** Cálculo de la pendiente mediante ArcGIS 10.2

### *Cálculo del Relieve*

El relieve se define como la variación de altitud en el área, y es calculado por la diferencia entre dos rásteres según Bermúdez et al. (2012).

El ráster dado por la máxima elevación en un área de radio variable de (1, 3,5 y 7 km) y el segundo ráster proporcionado por el MDE del área a estudiar de la siguiente manera:

$$R = Hr - h$$

Donde:

R =Cálculo del relieve.

Hr =Ráster obtenido considerar la elevación máx. en un radio r.

h =Ráster dado por El MDE.

### *Morfología de una Cuenca*

La Figura 51 resume los principales parámetros morfométricos a determinar en una cuenca.



**Figura 51.** Esquema de elementos que definen la morfología de una cuenca.

**Forma**

- **Factor Forma:** Este factor evidencia la forma geométrica que presenta la cuenca: menores de 0,18 es se denomina muy poco achatada, entre 0,18 - 0,36 ligeramente achatada y de 0,36-0,54 Moderadamente achatada, tienden a concentrar el escurrimiento de las lluvias formando crecidas a diferencias de las otras más ensanchadas.

Se estima a partir de la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca, longitud que se mide desde la salida hasta el punto más alejado a ésta. El factor forma viene dado por:

$$Kf = A/(Lc)^2$$

Donde:

Kf: Coeficiente de forma.

Lc: Longitud de la Cuenca.

- **Área de Drenaje:** Corresponde a la proyección horizontal delimitada por las divisorias de agua, este parámetro es determinante para identificar: volúmenes de agua que precipitan y la magnitud de los caudales.
- **Perímetro:** Representa la longitud en proyección horizontal de la divisoria de agua que envuelve la cuenca.
- **Índice de Gravelius:** Varía con la forma de la cuenca y es definido como el cociente entre el perímetro de la cuenca y la longitud de una circunferencia de área igual al área de la cuenca. Este parámetro es muy útil puesto que permite idealizar la cantidad de esorrentía para un área en intensidad de lluvia, a mayor irregularidad de la cuenca mayor índice de Gravelius.

$$Kc = 0,28 P / (A)^{1/2}$$

Donde:

Kc =Índice de Gravelius

P = Perímetro en Km

A =Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

**Tabla 8.** Valores de Índice de Gravelius (Tomado de Mármol, 2008).

<b>Kc</b>	<b>Clase de Formas</b>
1-1,25	Casi redondeada a oval redonda (compacta)
1,25-1,50	A oval oblonga
1,50-1,75	A rectangular oblonga
>1,75	A casi rectangular (alargada)

**Relieve**

- **Pendiente:** La pendiente es el grado de inclinación de un terreno y esta se puede calcular mediante la tangente de la superficie.
- **Elevación:** Es la altura de un punto de la tierra con relación al nivel del mar. Este parámetro permite entender la complejidad topográfica que puede presentar una cuenca.
- **Coefficiente de masividad (Km)** indica que tan plana o accidentada es una cuenca, factor que interviene en el comportamiento hidrológico de la misma, es expresada por la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie.

$$K_m = \text{Elevación Media} / \text{Área}$$

A continuación se presenta en la Tabla 9 los principales coeficientes de masividad en cuencas.

**Tabla 9.** Clasificación de cuenca en función del coeficiente de masividad (Tomado de Mármol, 2008).

<b>Rango de Km</b>	<b>Clases de Masividad</b>
0-35	Muy Montañosa
35-70	Montañosa
70-205	Relativamente Plana
>205	Plana

- **Coefficiente Orográfico (Co):** Relación entre el cuadrado de la elevación media del relieve y la superficie proyectada sobre un plano horizontal, expresa el potencial de degradación de una cuenca, combina dos parámetros esenciales: la altura que influye en la energía potencial del

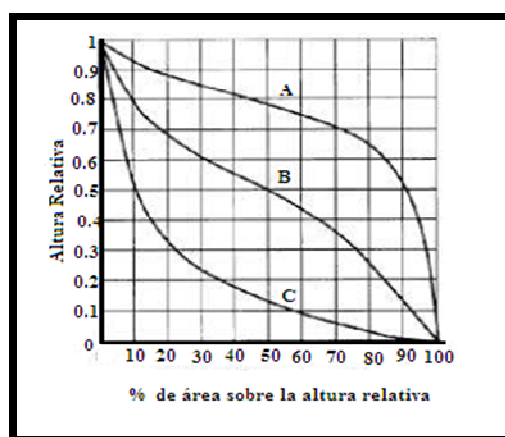
agua y el área proyectada, cuya proyección ejerce una acción sobre la escorrentía directa por efecto de las precipitaciones.

$$Co=(\text{Elevación Media del relieve})^2/\text{Área}$$

- **Curva Hipsométrica:** Representa de forma gráfica las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes y define el potencial evolutivo de la cuenca, permite conocer la distribución de masa en la cuenca desde arriba hacia abajo, cuando la curva presenta variaciones esto puede relacionarse con los controles litológicos, según Bustos et al. (2012).

#### Integral Hipsométrica:

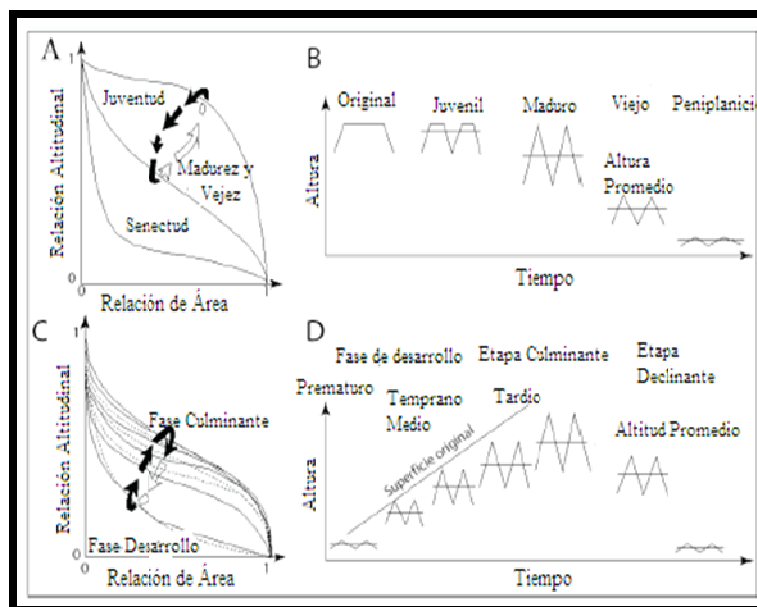
El valor del área relativa que yace bajo la curva se denomina integral Hipsométrica, es indicativo del estado de desarrollo de la cuenca o área de estudio, valores superiores a 60% indican fase de desequilibrio o juventud, valores cercanos a 47% presentan equilibrio y madurez e inferiores a 30% implican vejez (Bustos et al., 2012). La Figura 52 ilustra una curva hipsométrica generalizada en la cual, se distinguen 3 etapas o fases una de juventud (A), de madurez (B) y de vejez o senectud (C).



**Figura 52.** Curva Hipsométrica generalizada. A =Denota una cuenca en etapa de desequilibrio, con valles profundos y praderas amplias, geológicamente joven o una cuenca de meseta. B =Cuenca con etapa de equilibrio, geológicamente madura o una cuenca de montaña. C =Es una cuenca erosionada o con valles extensos y cumbres escarpadas (Tomado de Bustos et al., 2012).

La Integral Hipsométrica (Hsi) es también un indicador del ciclo de erosión, (Strahler, 1952). La Figura 53 muestra las distintas fases de erosión en una cuenca.

**Hsi < 0.30 (Vieja)    Hsi entre 0.30 a 0.60 (Madurez)    Hsi > 0.60 (Juventud)**



<b>Hipsometría de la cuenca y evolución del paisaje.</b>	
A)	Cambio en la curva hipsométrica, (Strahler, 1952).
B)	Cambios en el relieve inferido a partir del esquema Davisiano (Davis, 1899).
C)	Cambios en la curva Hipsométrica (Ohmori, 1993).
D)	Cambios en el relieve inferido (Hack, 1976).

**Figura 53.** Gráficas de la Curva Hipsométrica. (Tomado de Bustos et. al., 2012).

El área bajo la curva hipsométrica, llamada integral hipsométrica se define como:

$$E \approx Hsi = \frac{\text{Elev Promedio} - \text{Elev Mínima}}{\text{Elev Máxima} - \text{Elev Mínima}}$$

Donde:

E= es la relación elevación-relieve equivalentes a la integral de la curva hipsométrica.

Hsi=Integral de la curva hipsométrica.

Elev Promedio=Elevación media de la cuenca estimada a partir de la curva de nivel.

### Red de Drenaje

- **Orden de Cuenca:** Es un número que refleja el grado de ramificación del Sistema de drenaje. La clasificación de los cauces de una cuenca se realiza a través de las siguientes premisas:

-Los cauces de primer orden son los que no tienen tributarios.

-Los cauces de segundo orden se forman en la unión de dos cauces de primer orden y, en general, los cauces de orden n se forman cuando dos cauces de orden n-1 se unen.

-Cuando un cauce se une con un cauce de orden mayor, el canal resultante hacia aguas abajo retiene el mayor de los órdenes.

## ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS DEL TERRENO

### Índice de Erosión

Los índices de Erosión pueden ser calculados de diversas maneras como una función del poder erosivo del afluente o tributario (Bermúdez et al., 2012).

El índice de erosión se define como la tasa de gasto de energía potencial por corrientes de agua y se ha utilizado ampliamente en el estudio de la erosión, transporte, sedimentos y en geomorfología como una medida de la fuerza erosiva de los ríos (Wilson y Gallant, 2000).

Tucker y Whipple (2002) enfocan que el análisis se basa en una predicción de la tasa de incisión en el lecho de una roca como una función de la potencia de la corriente.

$$e = k A_s^m S^n$$

Donde:

e = tasa de incisión local.

$A_s$  = Área de drenaje aguas arriba.

S = Pendiente local.

m, n y k = constantes.

El parámetro k está relacionado con la litología. Los valores m y n pueden ser usados en las ecuaciones anteriores, dependiendo de la forma como son controladas las tasas de incisión de los ríos. Bermúdez et al (2012), denomina como  $Ep$  al índice de erosión con precipitación.



La fórmula anterior sufre una variación debido a que se le incluye la tasa de precipitación y queda de la siguiente manera:

$$\sum (A_p P)^m$$

$A_p$  = El área de cada píxel y la sumatoria implica que se ha tomado la suma de las precipitaciones sobre cada píxel dentro de la cuenca.

A continuación se presentan un conjunto de ecuaciones que son encargadas de medir la potencia erosiva de la corriente de agua, basándose en que la descarga ( $q$ ) es proporcional al área de la cuenca específica, también se encargan de predecir la erosión total en el área del perfil de convexidad y concavidad tangencial.

#### **Poder del Flujo Total (TSP)**

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

$$\text{TSP} = A \cdot S$$

#### **Poder de Flujo Unitario (USP)**

La tasa de incisión está controlada por el ancho del canal, se conoce como “Stream Power per unit Channel Width” (USP),  $m=1/2$ ,  $n=1$ .

$$\text{USP} = \sqrt{A s S}$$

#### **Poder de Flujo de Cizalla (SSP)**

La incisión es controlada por el esfuerzo de cizalla fluvial o “fluvial shear stress” (SSP),  $m=1/3$ ,  $n=2/3$ .

$$\text{SSP} = \sqrt[3]{A s S^2}$$

### **3.6.5 ÍNDICE DE HUMEDAD (WI)**

Describe los sitios donde se presenta mayor acumulación de agua y de las zonas de saturación, el parámetro muestra la disposición a la dispersión de un flujo

en forma de escorrentía en la zona de sedimentación y representa la relación entre el área de drenaje y la pendiente (Milevski, 2007).

$$WI = \ln (A_s / \text{tangente (Slope)})$$

### 3.6.6 ÍNDICE DE TRASPORTE DE SEDIMENTO (STI)

Es el índice de transporte de sedimentos mencionado por Moore y Burch (1986).

Este índice caracteriza las variaciones espaciales de los suelos susceptibles a la erosión, valores altos representan áreas propensas a la erosión (Fernández et al., 2008).

El índice combina el área de contribución de la pendiente ascendente ( $A_s$ ), bajo el supuesto de que el área que contribuye es la descarga directamente relacionada y la pendiente (B).

$$STI = (m + 1) \times (A_s / 22.13)^m \times \sin (B / 0.0896)^n$$

### 3.6.7 GENERACIÓN DE FIRMAS ESPECTRALES MEDIANTE EL SOFTWARE ENVI 4.7

#### Software Envi 4.7

#### Procedimiento

Para comenzar, una vez inicializado el software se van cargando las imágenes en la lista lateral observada en una ventana denominada *Available Bands List* allí se van cargando las imágenes posteriormente y se le da en RGB Color y allí se va anexando las bandas luego load band y se carga la imagen resultante de la combinación de bandas deseada conjuntamente con varias ventanas.

1= Inicializador del programa *Envi 4.7*.

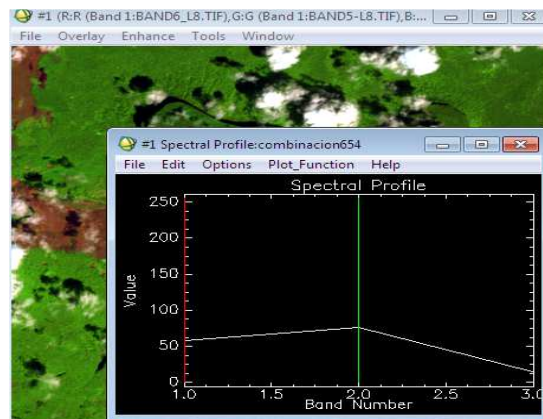
2= Ventana donde aparece el listado de bandas *Available Bands List*.

3= Ventana donde aparece la imagen.

4= Ventana de Vista de imagen completa.

5=Ventana de zoom de un área particular de la imagen.

Teniendo ya la imagen proyectada se ubica el espacio a estudiar y click derecho se abre *Z Profile Spectrum* esto permite realizar las firmas espectrales, lo cual es ilustrado en la Figura 54.



**Figura 54.** Procesamiento de firmas espectrales en zonas específicas.

En *Edit* se restablecen los parámetros para evaluar las firmas espectrales, de acuerdo a la combinación de color RGB de cada píxel se obtiene una firma espectral específica puesto que la reflectancia es particular en cada combinación de color.

### 3.6.8 MODELADO FLEXURAL MEDIANTE FLEX2D

La flexura litosférica es el proceso en el cual la litosfera se deforma bajo acción de fuerzas como el peso de un orógeno o graciaciones, Watts (2011).

Bajo fuerzas externas verticales, como cargas producidas por el apilamiento tectónico de un orógeno, la litosfera sufre flexura sobre la astenósfera. El proceso sirve para medir el espesor elástico de la litosfera, que está relacionado con la rigidez de la capa externa de la tierra.

El modelado flexural es una de las herramientas que permite obtener resultados tangibles del nivel de flexura que ha sufrido una zona.

Por su parte el Flex2d (Software utilizado para realizar modelados flexurales), trabaja con datos de densidad de rocas y datos topográficos proporcionando resultados de rigidez flexural (D), dados mediante.

$$D = Eh^3/12(1-\nu^2)$$

Donde

E= Modulo de Young =100 GPa

h = espesor elástico

$\nu$  = radio de Poisson 0,2.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 4.1 INTRODUCCIÓN

A continuación, en el presente capítulo se describe detalladamente los resultados y los análisis de los mismos. Para generar los mismos, se emplearon las siguientes herramientas y datos:

-Imágenes Satelitales Landsat 8 OLI con una resolución espacial de 30 metros obtenidos de la fecha de 13 de Enero de 2015.

-Mapa Geológico Estructural de Venezuela USGS, recopilado por Hackley Paul, Urbani Franco, Karlsen Alexander y Garrity Christopher a escala 1:750 000 (2005).

La georreferenciación de todos los mapas fue realizada utilizando el sistema de referencia WGS\_1984\_UTM\_zone\_20N.

Software: *ArcGIS10.2, Envi4.7, Image J Inca y Flex2Dx.*

#### 4.2 ANÁLISIS VISUAL DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8 OLI

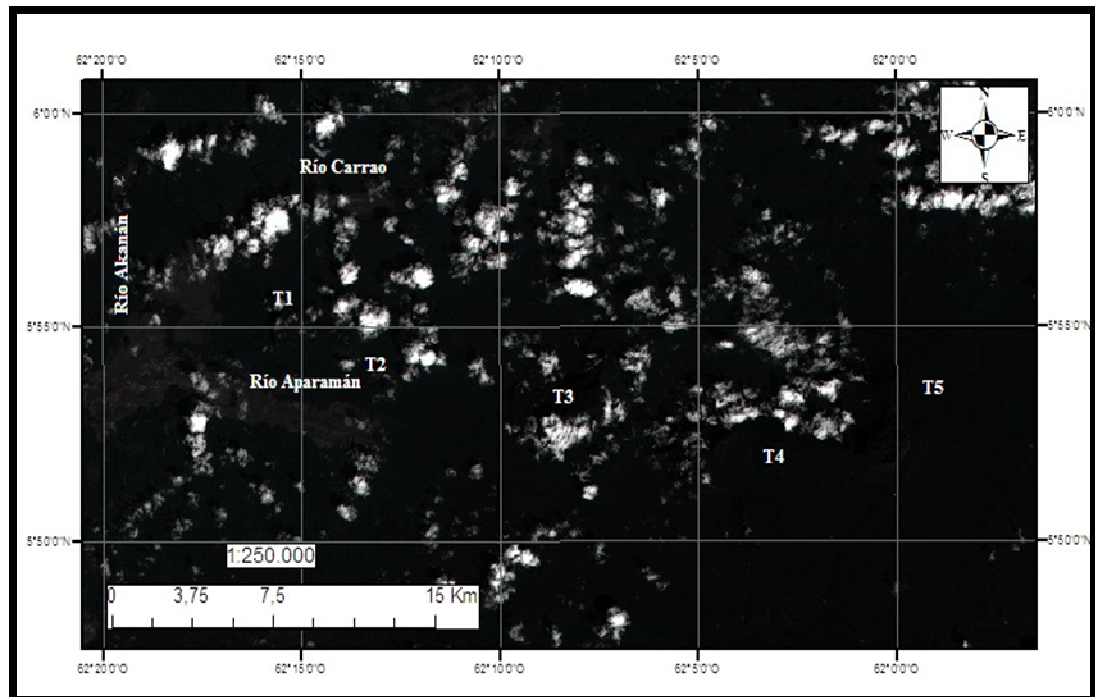
Las imágenes Landsat 8 OLI proporcionan once (11) bandas multiespectrales y con ellas se efectúan las combinaciones de bandas, aquí se realizaron cinco (5) combinaciones a escala 1:250 000, las cuales son:

**Tabla 10.** Combinaciones de bandas (Tomado de Tuesta y Trigozo,2013).

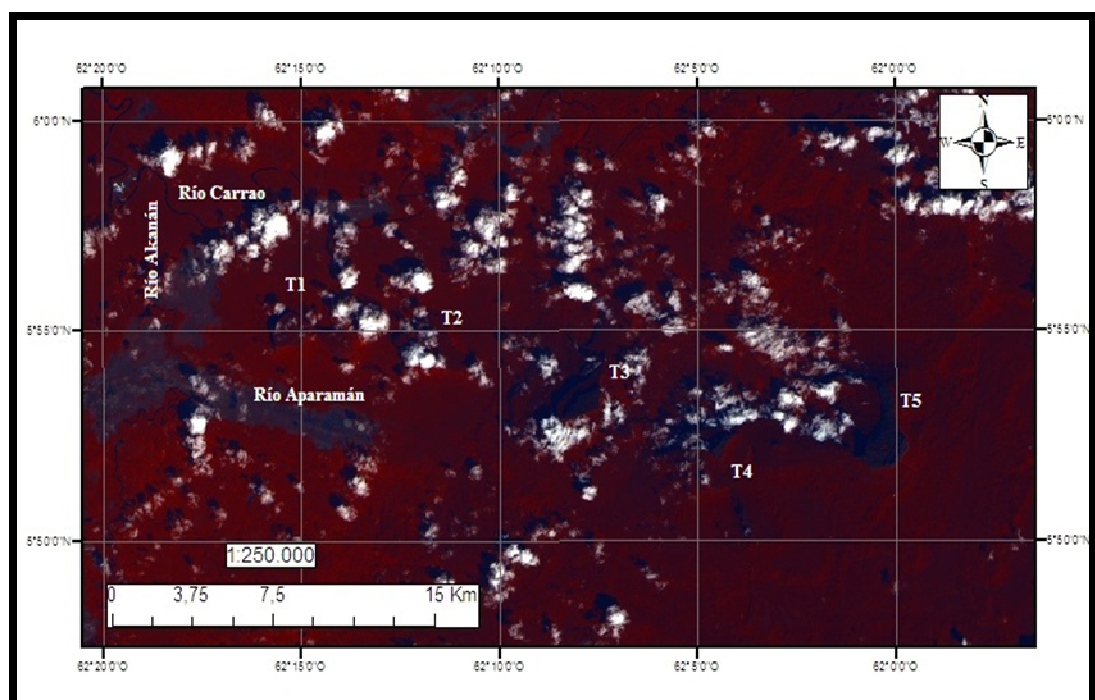
Bandas	Combinación	Descripción
<b>Color Natural</b>	<b>432</b>	Denota los colores verdaderos de área.
<b>Infrarrojo (Vegetación)</b>	<b>543</b>	Realza la vegetación, cultivos y bosques naturales.
<b>Falso Color Natural con Remoción Atmosférica</b>	<b>753</b>	Realza los elementos naturales.
<b>Falso Color (Urbano)</b>	<b>764</b>	Realza la vegetación y las zonas Urbanas.
<b>Falso Color (Análisis de Vegetación)</b>	<b>654</b>	Permite identificar la vigorosidad de la vegetación en la zona.

A continuación se muestra en la figura 55 las combinaciones de bandas realizadas mediante Landsat 8.

**A) Color Natural(Combinación 432)**

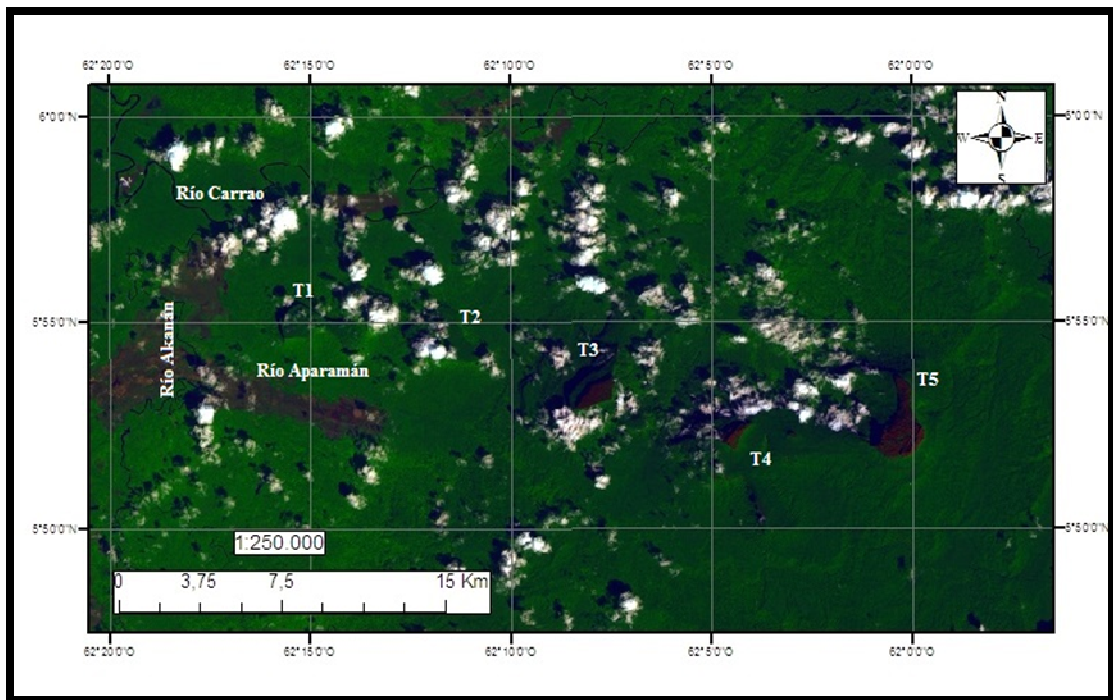


**B) Infrarrojo (Combinación 542, Vegetación)**

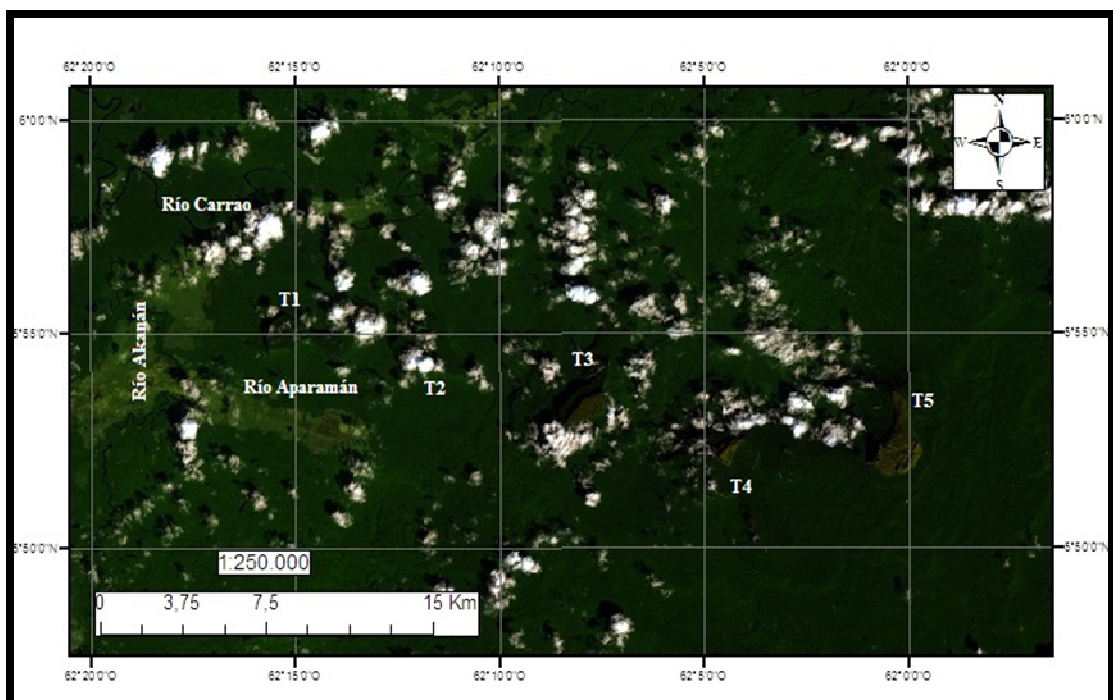




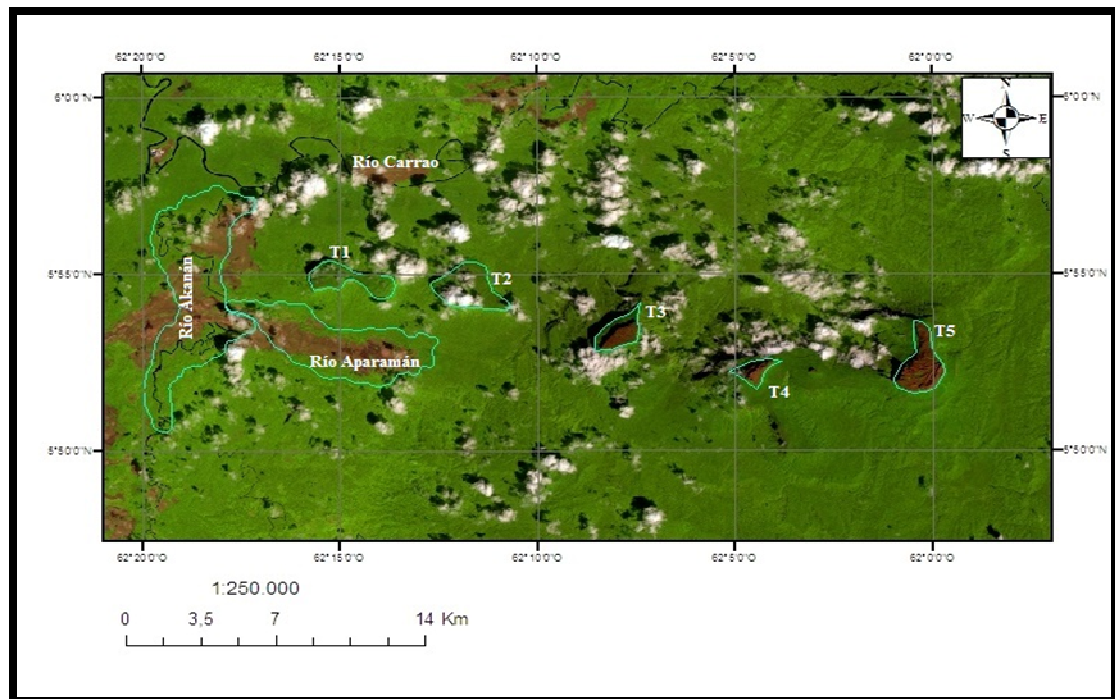
C) Falso Color (Combinación 753, Natural con remoción atmosférica).



D) Falso Color (Combinación 764, Urbano)



## E) Falso Color (Combinación 654, Análisis de Vegetación)



**Figura 55.** Combinaciones de Bandas de imágenes Landsat 8, A) Color Natural, B) Infrarrojo, C),D) y E) Falso Color realizadas mediante el software *Envi 4.7*.

Con las combinaciones de bandas realizadas se procede a realizar la tabla 11 en donde se describe una interpretación visual de los elementos más característicos en cuanto a: La vegetación, Los Suelos, La Hidrografía y zonas Urbanas.



Elementos a evaluar	Análisis e Interpretación de Imágenes Satelitales Landsat 8 OLI
Vegetación	<p>En el cuadrante Noreste se observa prácticamente un 98% de vegetación, ésta se puede identificar como sana y vigorosa, el espectro infrarrojo permite detectar un estado de crecimiento normal y continuo abundantemente conformada por vegetación arbustiva y selvática.</p> <p>En el cuadrante Noroeste a diferencia del anterior se observa una vegetación con índice de humedad más alto, por la presencia de mayor cantidad de afluentes, aquí se encuentra un menor grado de vegetación, aproximadamente un 75%.</p> <p>En el cuadrante Sureste la vegetación es vigorosa y saludable de acuerdo a las observaciones de las imágenes satelitales, aunque aquí se encuentra un alto componente de zonas con altas elevaciones que son los tepuyes y con ella su abundancia de flora exótica, según el grupo de expedición de Terramar (1987) hasta ese momento se habían encontrado 1400 muestras botánicas, que van desde (Orquídeas y Bromelias hasta Plantas Carnívoras).Corresponde a un 90% de vegetación sana en algunos tepuyes.</p> <p>Por último el cuadrante Suroeste corresponde a un 85% de vegetación sana, se observa una tendencia de vegetación de sabana y arbustiva.</p>
Suelos	<p>En el cuadrante Noreste aunque prácticamente tiene una cobertura vegetal del 98%, la zona corresponde al Grupo Roraima la cual contiene variedades litológicas que va desde cuarcitas arenosas hasta jaspe verde.</p> <p>En el cuadrante Noroeste se observa un tipo de suelo con características similares al anterior pero aquí se encuentra un tipo de material litológico de roca intrusiva que abarca casi el 12% del cuadrante.</p> <p>En el sector Sureste se encuentra una amplia cobertura vegetal, pero allí se identifica una litología de un material compacto, se puede distinguir roca dura por la poca presencia de vegetación y planos de estratificación en dos direcciones observadas en las imágenes.</p> <p>Por su parte en el Suroeste el tipo de suelo está ampliamente cubierto, se distingue un tipo de rocas intrusiva.</p>
Hidrografía	<p>En el cuadrante Noreste se encuentra parte del río Carrao con una dirección preferencial de Este a Suroeste con una morfología influenciada por un diferencial litológico, este drenaje se extiende hacia el cuadrante Noroeste el cual conforma una cantidad de afluentes menores, aquí también se observa parte de los ríos Akanán y Aparamán de menor densidad paralela a el material litológico de roca intrusiva</p>

	que va de dirección Noreste, el Akanán tiene una tendencia que va de Sur a Norte drenando hacia el Orinoco. En el Sureste se distinguen redes de drenajes menores que emergen de las aguas infiltradas en las zonas tepuyanas producto de la depositación de lloviznas en algunas oquedades formadas por disolución de rocas o infiltraciones en las mismas.
Zonas Urbanas	En la zona de estudio es prácticamente escasa la zona urbana, solo se encuentran pocos caseríos de las comunidades indígenas pero en las fotografías no observables.

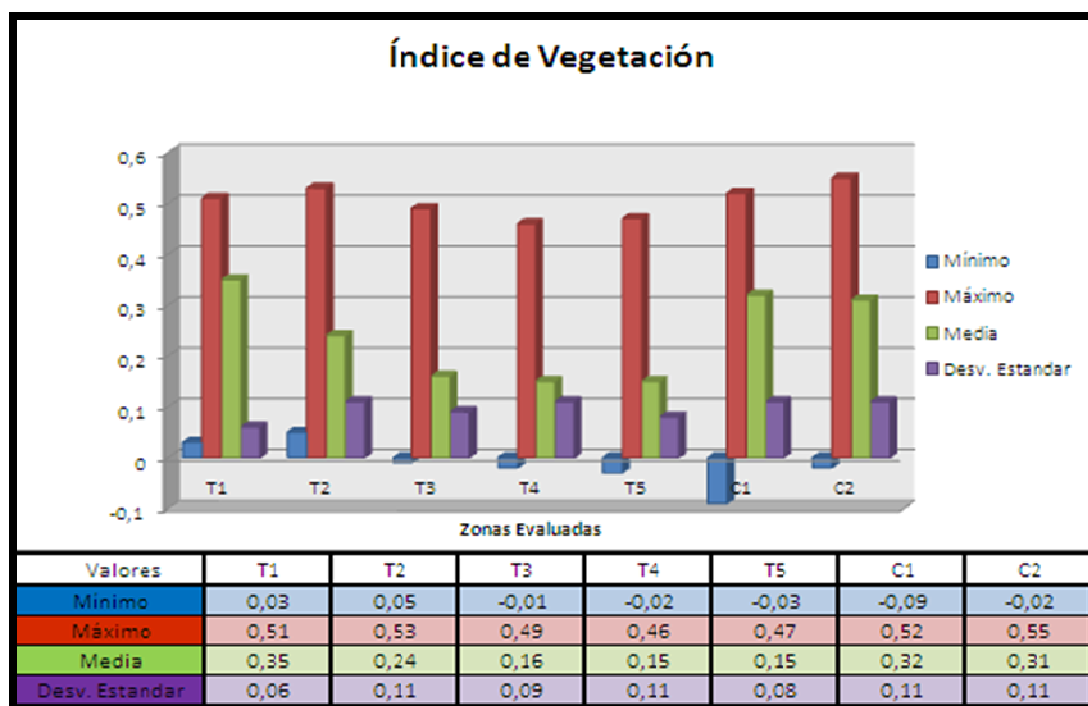
**Tabla 11.** Descripción de imágenes satelitales de la zona de estudio.

#### 4.3 ANÁLISIS DE ÍNDICE DE VEGETACIÓN EVALUADAS MEDIANTE ArcGIS 10.2

La detección de la cobertura vegetal se basa en algunas propiedades que tiene las hojas al interactuar con la radiación solar, la clorofila absorbe luz del sol uniformemente con ello dichas moléculas absorben preferiblemente la luz roja y azul en mayor cantidad mientras que la luz verde es la menos absorbida y la más reflejada (Tuesta y Trigozo, 2013).

Se utilizaron las bandas 4 (espectro visible Red) y 5 (Infrarrojo NIR) para el análisis de los índices de vegetación por diferencia normalizada que va a escala 1 a -1 en donde el valor 1 representa una vegetación óptima mientras que el 0 comienza una ausencia de vegetación hasta el -1 en donde se encuentra una superficie nula de vegetación.

En el caso de la zona de estudio a nivel general se observa una vegetación viva a excepciones de zonas en las cuales existe la presencia de rocas intrusivas expuestas.



**Figura 56.** Valores de índice de vegetación en la zona de estudio.

En el histograma anterior (ver Figura 56) se observan los valores máximos, mínimos, la media y la desviación estándar de cada uno de los tepuyes estudiados así como también la Fig. 57 denota las áreas de dichos tepuyes y cuencas, a continuación se analiza de manera detallada cada uno de estos elementos.

*Amaruay Tepuy (T1)*, hacia el este del tepuy se observa que el espectro de luz visible destaca una coloración verde intensa lo que identifica la presencia de tipos de vegetaciones más vigorosa y saludables contenidos en valores máximos de 0,51 para esta área mientras que hacia la parte oeste el tipo de coloración va variando; destacando tonos más amarillentos hacia rojizos lo cual indica zonas de vegetación no tan saludables y en algunos casos escasa vegetación teniendo valores mínimos de 0,03.

*Padapué Tepuy (T2)*, el tepuy se hace característico pues presenta gran parte de su área aproximadamente el 50% una coloración más rojiza hacia el oeste lo cual indica una escasez de vegetación pero menos pronunciada que en algunas zonas del T1 por su parte hacia el este denota valores altos de vegetación saludable siendo este con valores máximos de 0,53 y una media de 0,24 en toda el área del tepuy.

***Aparamán Tepuy (T3)***, este tepuy denota un paralelismo en cuanto a coloración y un segmento del área, se observa una banda rojiza de escasa vegetación paralela a un lado del área del tepuy pareciendo ser un escalón más elevado, presenta valores que varían desde -0,01 a 0,49 y con una de las medias de menor valor para toda la zona de un valor de 0,16 lo cual está indicando a nivel general que la vegetación es mucho menor que en los anteriores tepuyes.

***Murisipán Tepuy (T4)***, Este tepuy presenta gran parte una coloración amarillenta verdosa a rojiza, denotando una vegetación escasa con valores que oscilan entre -0,02 a 0,46; es característico distinguir en esta área 2 zonas escalonadas demarcadas con una coloración más rojiza y una geometría paralela al área pero con menor volumen, este tepuy con respecto a los demás presenta el menor valor medio del índice de vegetación de (-0,02).

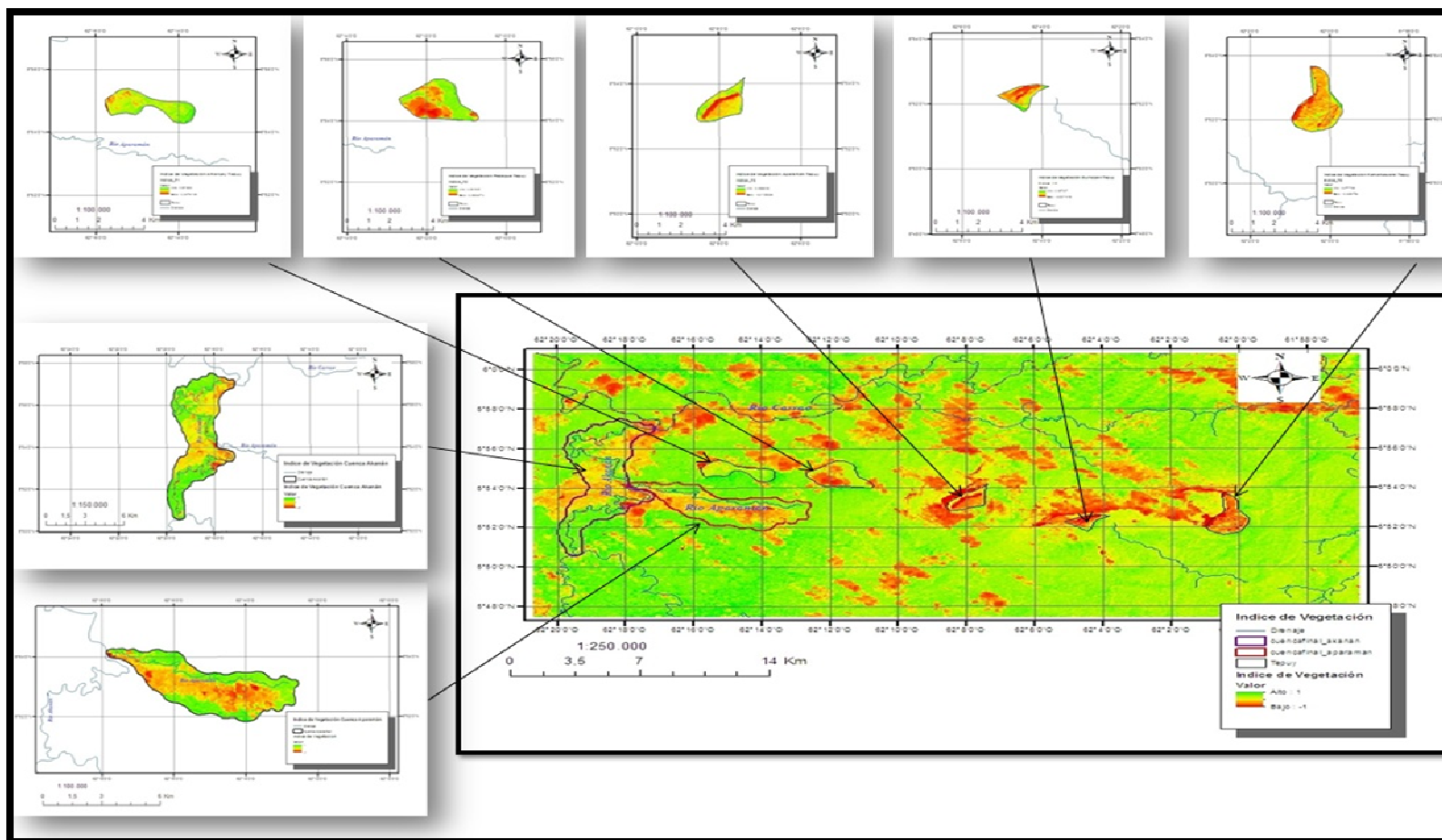
***Kamarkawarai Tepuy (T5)***, Aquí se observa algo muy particular, se distingue un conjunto de líneas paralelas de dirección noroeste con un ángulo aproximado de inclinación de 45° y otros segmentos que van en dirección Noreste que llevan un ángulo de inclinación de 80° aproximadamente, estas direcciones de segmentos se intersecan en algunas áreas formando una especie de rejilla, como se observa en la Figura 88, se distingue un contorno con una coloración más verde intensa lo que puede indicar que existe una base con una vegetación más vigorosa y otra superpuesta con una coloración que denota poca vegetación, los niveles van desde -0,03 a 0,47 y mostrando una media igual al tepuy anterior de 0,15 denotando una de los valores más bajos en toda la zona.

***Cuenca Akanán (C1)***, esta cuenca denota en su parte céntrica una vegetación más amarillenta, hacia la parte este tonos más rojizos, denota valores comprendido entre -0,09 a 0,52 lo cual indica que es área de estudio en donde hay zonas con escasez de vegetación y otra parte con vegetación vigorosa, comprende una media de 0,32 una de las más altas con respecto a las demás zonas.

***Cuenca Aparamán (C2)***, la cuenca alargada y paralela al río Aparamán presenta buena parte de su área una coloración amarillenta a rojiza principalmente su parte céntrica, esta coloración con estas característica se encuentra en la parte lateral

inferior del río, en su lateral superior la zona presenta una vegetación saludable y vigorosa denotada por un intenso espectro de luz verde. Los valores varían desde 0,02 a 0,55 y con una media de 0,31 en toda el área de la cuenca.

A nivel general, el análisis del índice de vegetación en toda la zona de estudio permitió reconocer rasgos geológicos que pudieran ser mejor caracterizados con los posteriores análisis mostrados en las próximas secciones, es muy probable que la litología este jugando un papel fundamental en la variación de coloración puesto que en todos los tepuyes y cuencas estudiadas se pudo observar patrones semejantes de escasez de vegetación que pueden caracterizar un tipo de roca diferente que no permite vegetación como son las rocas intrusivas, por su parte la presencia de geometrías paralelas a las áreas de los tepuyes en zonas de elevación son indicativos de posibles superficies de erosión altamente impactadas, también se pudo observar un mayor efecto a nivel estructural visibles mediante las demarcaciones de coloraciones observables en la zona de tepuyes denotadas como T5, los rasgos estructurales como fallas y fracturas se vieron mucho más demarcados hacia el este de la zona de estudio.



**Figura 57.** Índice de Vegetación de la zona de Estudio, parte Superior de Oeste a Este :Amaruay (T1) ,Padapué (T2) , Aparamán (T3), Murisipán (T4) y Kamarkawarai tepuy(T5) ;lateral Izquierdo Superior Cuenca Akanán (C1) y Cuenca Aparamán (C2) inferior.

#### 4.4 ANÁLISIS DE FIRMAS ESPECTRALES MEDIANTE ENVI 4,7

Las firmas espectrales permiten discriminar y diferenciar materiales en imágenes satelitales producida mediante la energía solar reflejada de la mismas, este proceso se lleva a cabo cuando la reflectancia espectral es dada mediante la energía reflejada y la energía incidente en función de la longitud de onda  $p$ , dada en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) (Tuesta y Trigozo,2013).

Si bien, se desconoce a plenitud el tipo de vegetación exacta en cada uno de los tepuyes y cuencas a evaluar, con esta interpretación se pretende realizar una primera aproximación a nivel general del tipo de vegetación existente en cada zona, debido a que en ellas se presentan una amplia cobertera vegetal, así será posible correlacionar los tipos de vegetación presentes en toda la zona de estudio.

En el *Amaruay Tepuy (T1)*, se encontraron distintos tipos de firmas espectrales de vegetación, aproximadamente 4, con picos en longitudes de ondas de 2  $\mu\text{m}$  pero distinto en valores de reflectancia 60, 70, 100 y 160 aproximadamente, éstos pueden encontrarse a lo largo de todo el tepuy, por su parte también se determinó 1 tipo de firma espectral que denota litología.

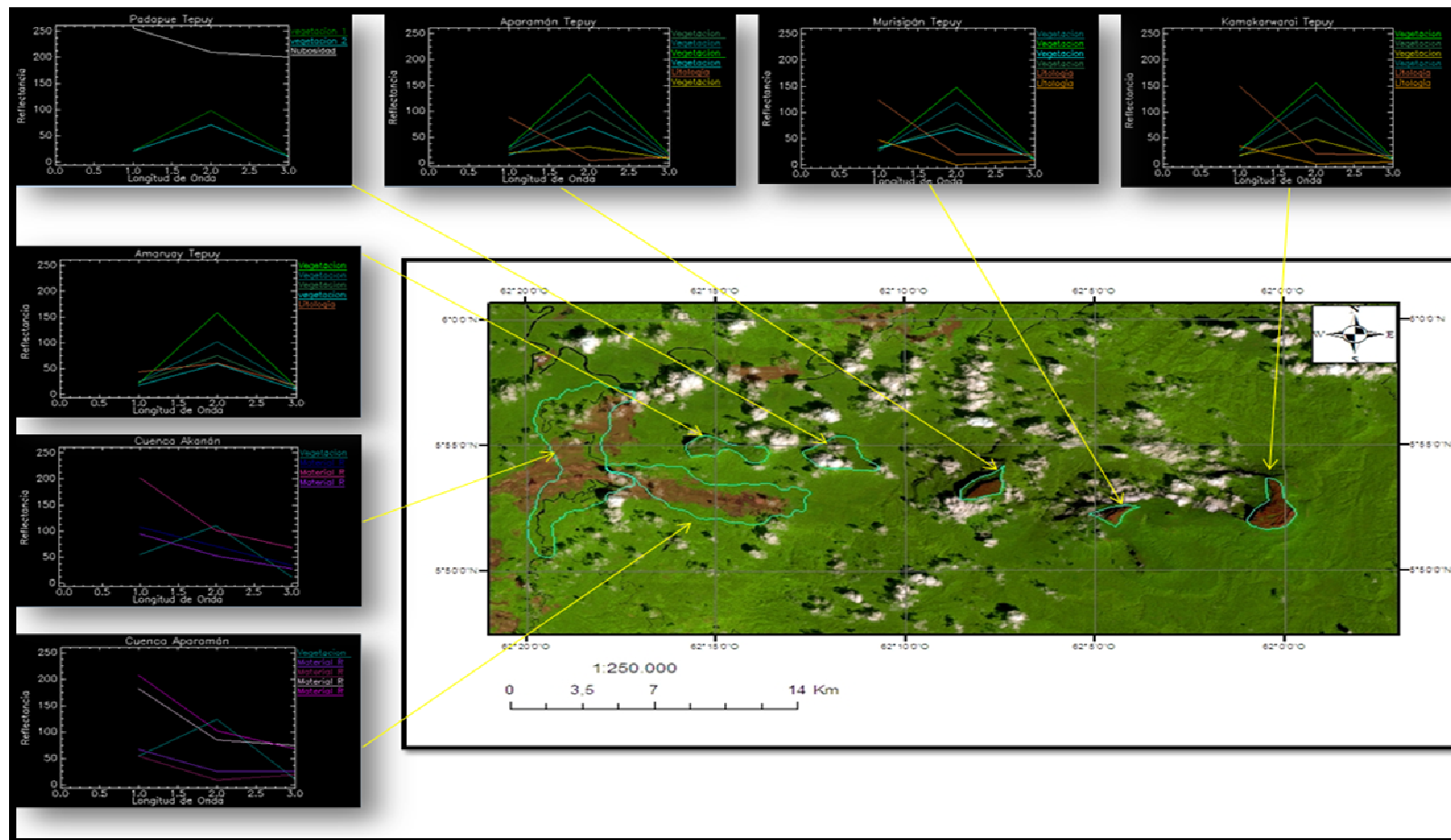
Para el *Padapué Tepuy (T2)*, presenta una extensa capa de 2 tipos de cobertera vegetal en toda su superficie, con picos de 2  $\mu\text{m}$  de longitud de onda y reflectancia de 60 y 70, sus 2 firmas espectrales se asemejan a 2 firmas encontradas en el tepuy anterior (T1).

En el *Aparamán Tepuy (T3)*, se reconocen 3 tipos de vegetación características con picos de igual valor que los tepuyes anteriores pero en cuanto a reflectancia se distingue valores de 70, 100 y 120 aproximadamente.

*Murisipán Tepuy (T4)*, se encontraron 4 tipos de vegetación con reflectancia de 60,70, 120 y 150 y picos de longitud de onda igual a los anteriores por su parte este tepuy se presentan 2 tipos de materiales litológicos claramente visibles.

*Kamarkawarai Tepuy (T5)*, se pueden observar 4 tipos de firmas espectrales de vegetación con reflectancias de 40,70, 130 y 150 y con picos de 2  $\mu\text{m}$  de longitud de onda.





**Figura 58.** Firmas Espectrales evaluadas mediante *Envi 4,7*; con la combinación de banda 654 en la zona de Estudio, parte Superior de Oeste a Este :Amaruay (T1) ,Padapué (T2) , Aparamán (T3), Murisipán(T4) y Kamarkawarai tepuy(T5) ;lateral Izquierdo Superior Cuenca Akanán (C1) y Cuenca Aparamán (C2) inferior.

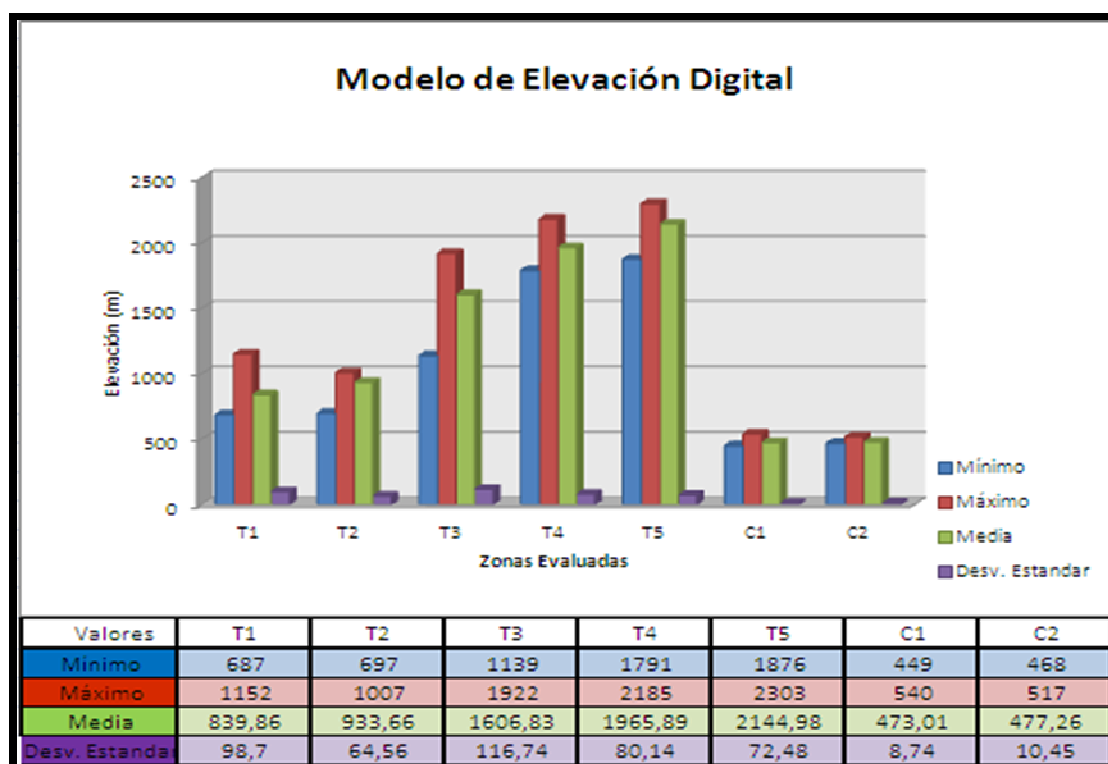


Para las *Cuencas Akanán y Aparamán* se denotó un tipo de vegetación, distinta que en los tepuyes, véase figura 58, lo más notable en las cuencas es que se encuentra un tipo de firma espectral de vegetación distinta a las anteriores y también un material no encontrado en los tepuyes, denominado Material R, éstas son las rocas intrusivas vistas en la secciones de imágenes satelitales.

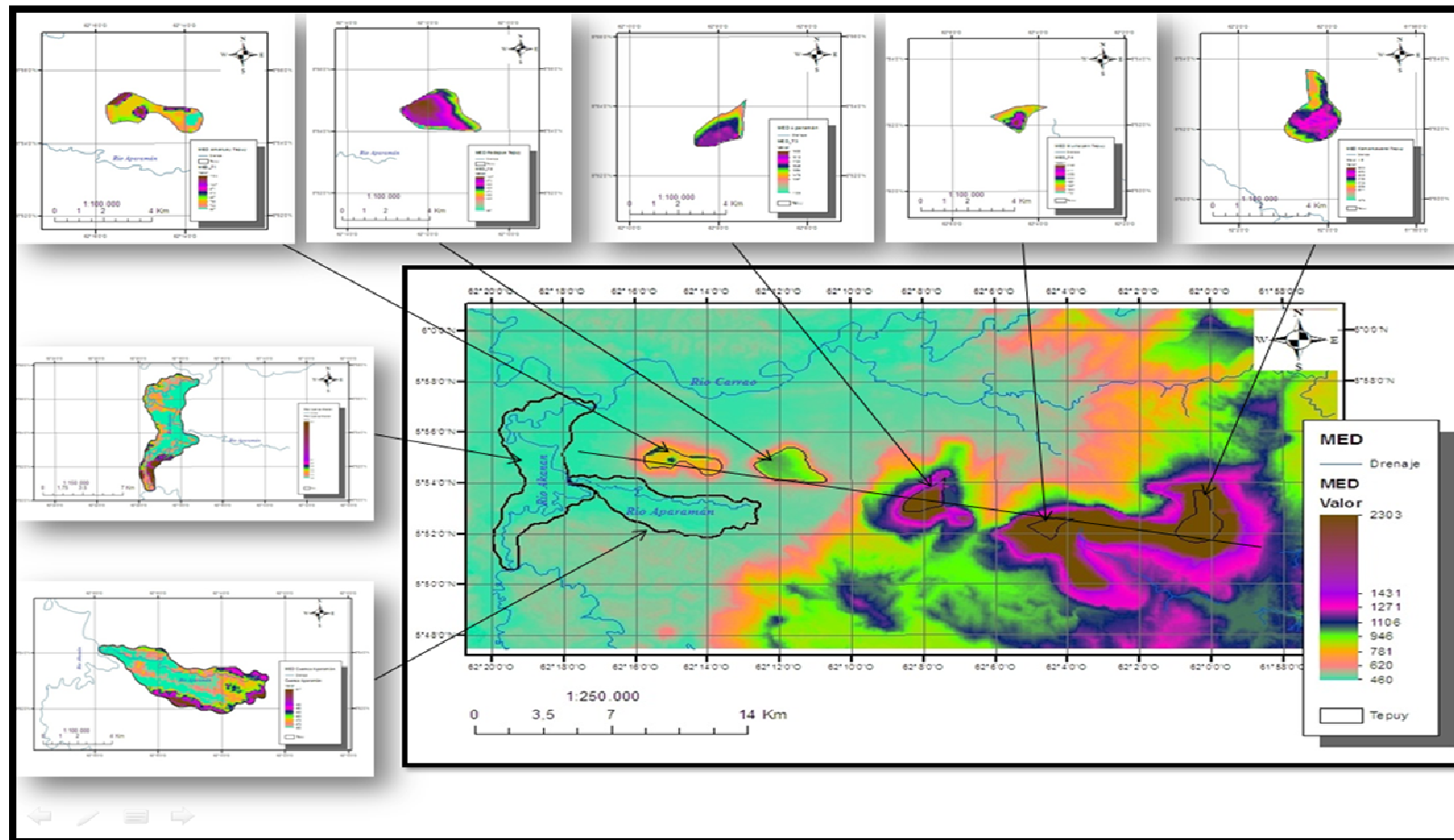
## 4.5 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MORFOESTRUCTURALES EN LA ZONA DE ESTUDIO

### 4.5.1 ALTITUD

Para los tepuyes y las cuencas estudiadas el MDE denota altitudes que varían de los 450 a 2400 m.s.n.m presentando una tendencia de elevación mayor hacia la parte sureste, en donde se encuentra gran parte de la unidad de tepuyes. A continuación, se muestra los datos del MDE de la zona de estudio expuestas en un histograma con valores máximos, mínimo, media y desviación estándar (ver Figura 59).



**Figura 59.** Histograma de elevación en la zona de estudio (MDE).

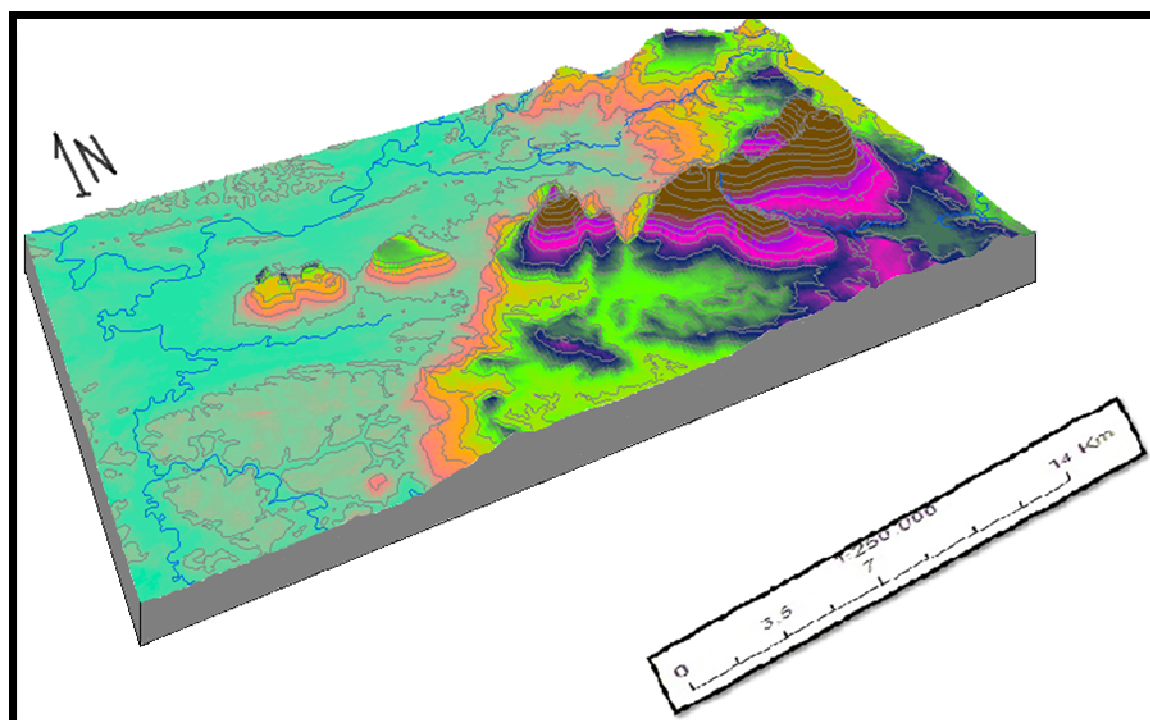


**Figura 60.** Modelo de Elevación Digital de la zona de Estudio, parte Superior de Oeste a Este :Amaraguay (T1) ,Padapué (T2) , Aparamán (T3), Murisipán(T4) y Kamarkawarai tepuy(T5) ;lateral Izquierdo Superior Cuenca Akanán (C1) y Cuenca Aparamán (C2) inferior.

El histograma muestra que el *Amaruay Tepuy (T1)*, se presentan valores de elevación que van desde los 687 a 1152 m, por su parte el *Padapué Tepuy (T2)*, muestra rangos de valores que van desde los 697 a 1007 m, éstos dos tepuyes conforman el conjunto denominado “Los Hermanos” y se encuentran ubicados en el noroeste de la zona, por su parte los tepuyes que conforman la “Serranía los Testigos” presentan elevaciones considerables que difieren a las anteriores, en el caso el *Aparamán Tepuy (T3)*, con elevaciones que van desde los 1139 a 1922 m, el *Murisipán Tepuy (T4)*, con alturas de 1791 a 2185 m y el *Kamarkawarai Tepuy (T5)*, que va de 1876 a 2303 m, cabe destacar que existe una tendencia de altas elevaciones hacia el sector sureste.

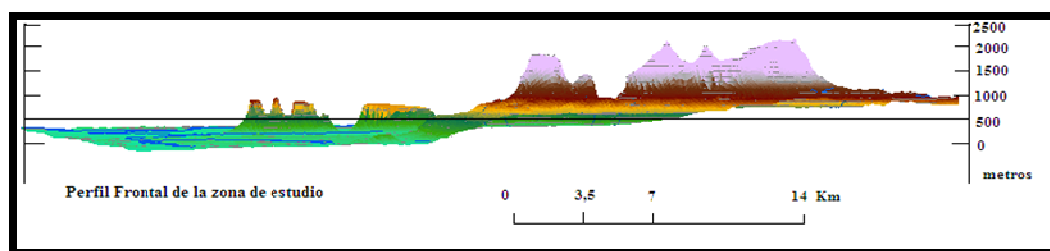
Por su parte para las *Cuencas Akanán y Aparamán* se observan valores que van desde los 440 a 550 m.s.n.m.

A continuación, en la Figura 61 se presenta una visión 3D de las elevaciones de la zona de estudio.



**Figura 61.** Modelo de Elevación Digital en 3D de la zona de estudio.

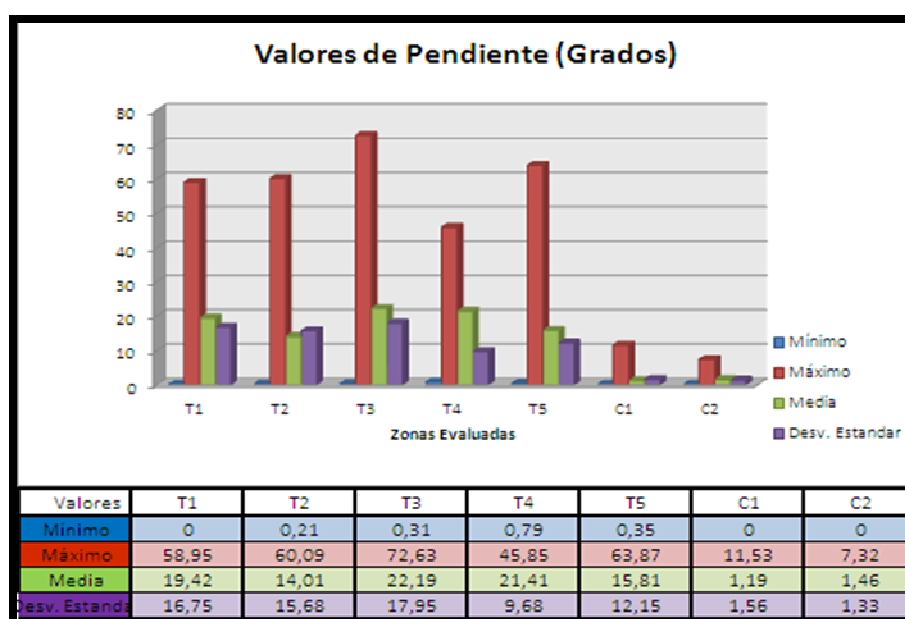
En la figura 62, se muestra un perfil frontal del MDE en 3D con el propósito de visualizar con más detalles las variaciones en cuanto a altitud.



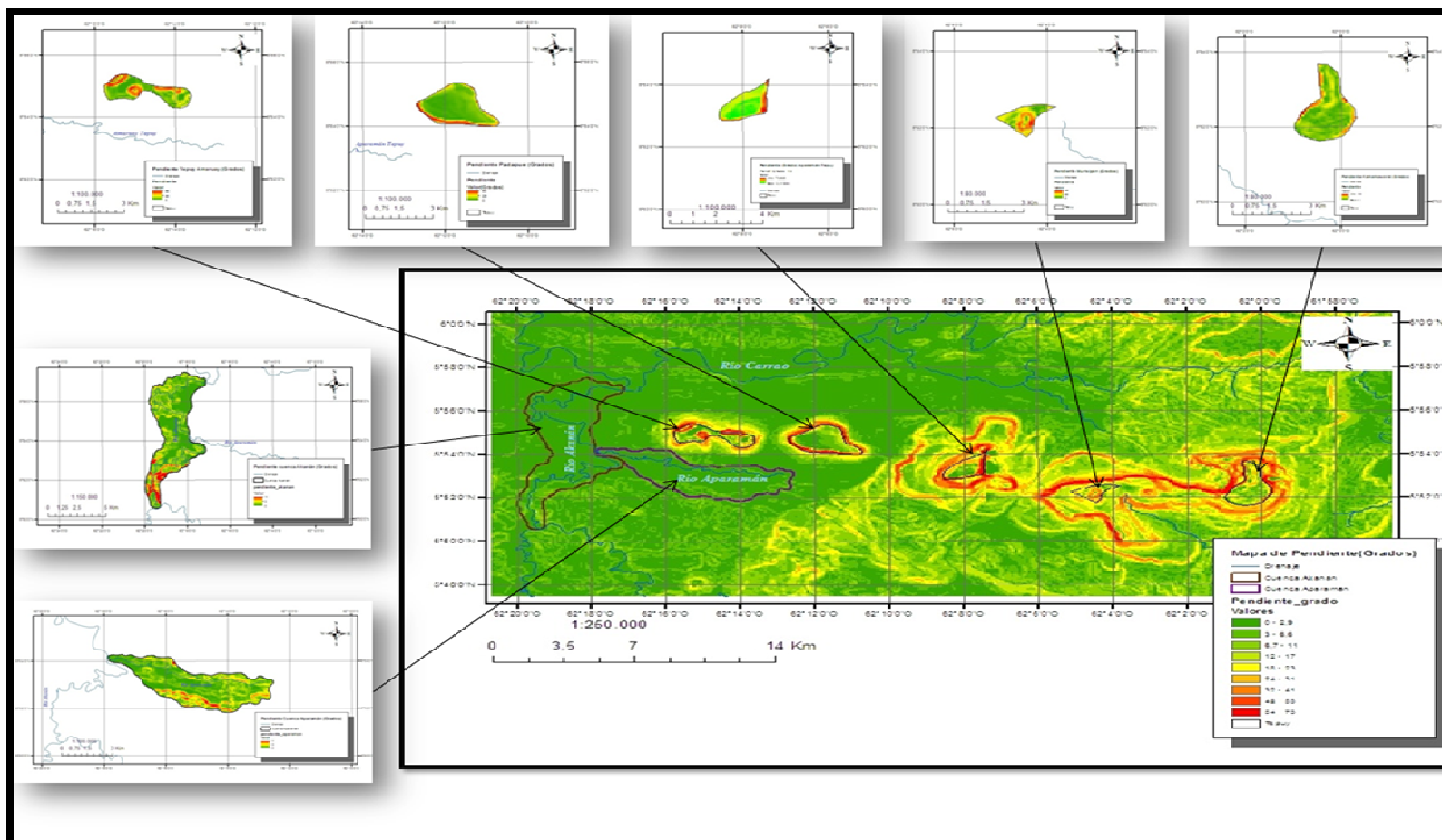
**Figura 62.** Perfil frontal del Modelo de Elevación Digital en 3D de la zona de estudio.

#### 4.5.2 PENDIENTE

Los valores de pendiente en sectores tepuyanos, generalmente son muy predecibles debido a su geomorfología característica, pero no siempre suele ser así puesto que factores externos (erosión, meteorización) y factores internos (elementos estructurales, tectónica) pueden afectar en poco o en mucho el relieve de las zonas dejándolas con pendientes variables, como es el caso de esta zona de estudio, según los datos obtenidos se pueden ver que existe un patrón de tendencia asociado en cuanto a pendiente, por ejemplo en el *Amaruay Tepuy (T1)* y el *Padapué Tepuy (T2)* presentan pendientes que van desde los 0 a 60° aproximadamente sin embargo estos se distinguen de cierta manera, el (T1) muestra en su tope bloques irregulares con pendientes abruptas mientras que el (T2) denota topes muy planos.



**Figura 63.** Valores de pendientes en grados en la zona de estudio.



**Figura 64.** Pendiente en grados de la zona de estudio, parte Superior de Oeste a Este :Amaruary (T1) ,Padapué (T2) , Aparamán (T3), Murisipán(T4) y Kamarkawarai tepuy(T5) ;lateral Izquierdo Superior Cuenca Akanán (C1) y Cuenca Aparamán (C2) inferior.

Para la Serranía de los Testigos, el *Aparamán Tepuy (T3)* presentan pendientes que van de 0 a 73° siendo el tepuy con mayor pendiente mientras que el *Murisipán Tepuy(T4)* va desde los 0 a 46° y el *Kamarkawarai Tepuy (T5)* con valores de 0 a 64°. La zona de las cuencas no sobrepasan pendientes de 12° como valor máximo. En la figura anterior (ver Figura 64) se muestran los valores de pendiente en grados de la zona de estudio.

### 4.5.3 LITOESTRATIGRAFÍA

El mapa mostrado en la Figura 65, constituye una recopilación y modificación del mapa geológico estructural de la USGS (Hackley et al., 2005), se observan rocas sedimentarias, metasedimentarias y volcánicas del Grupo Roraima que corresponde al Proterozoico y rocas intrusivas (diabasas rocas intrusivas silíceas) correspondientes al Proterozoico Medio.

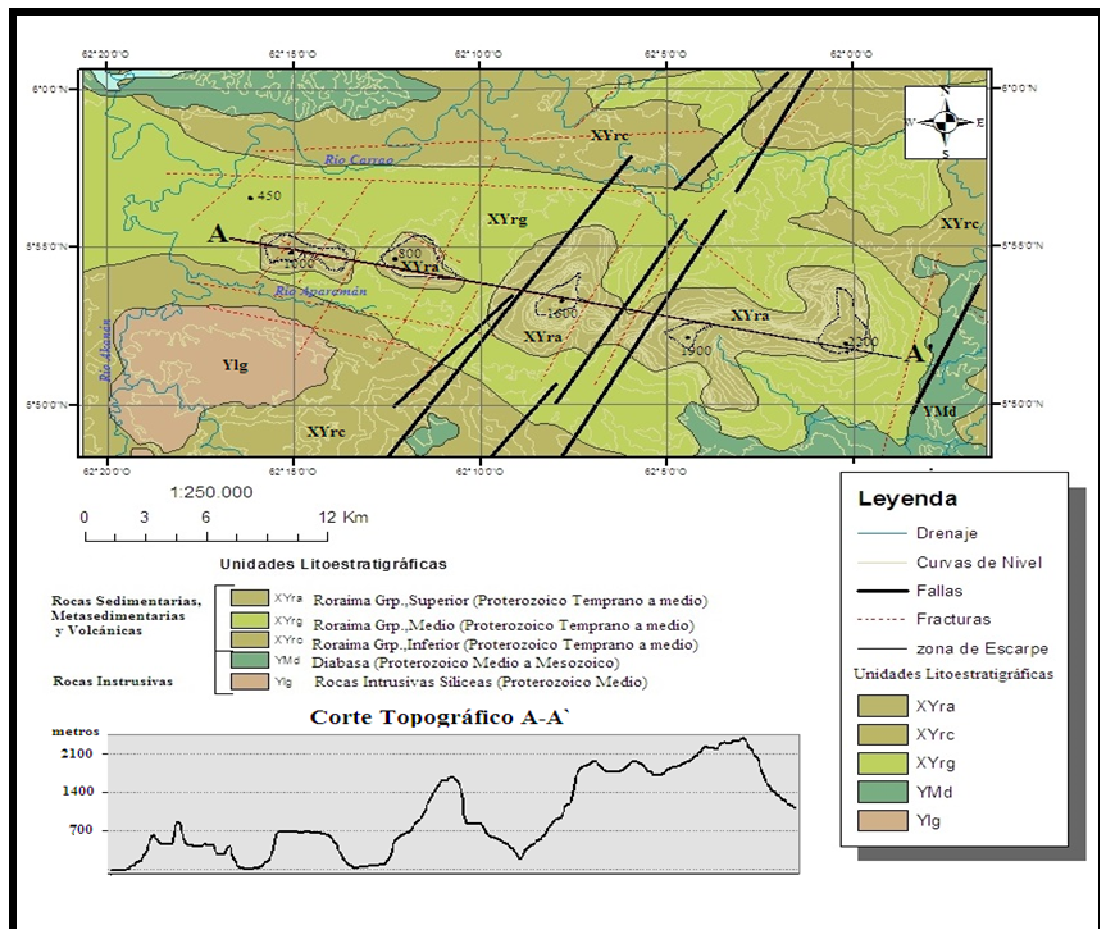


Figura 65. Mapa litoestratigráfico de la zona de estudio.



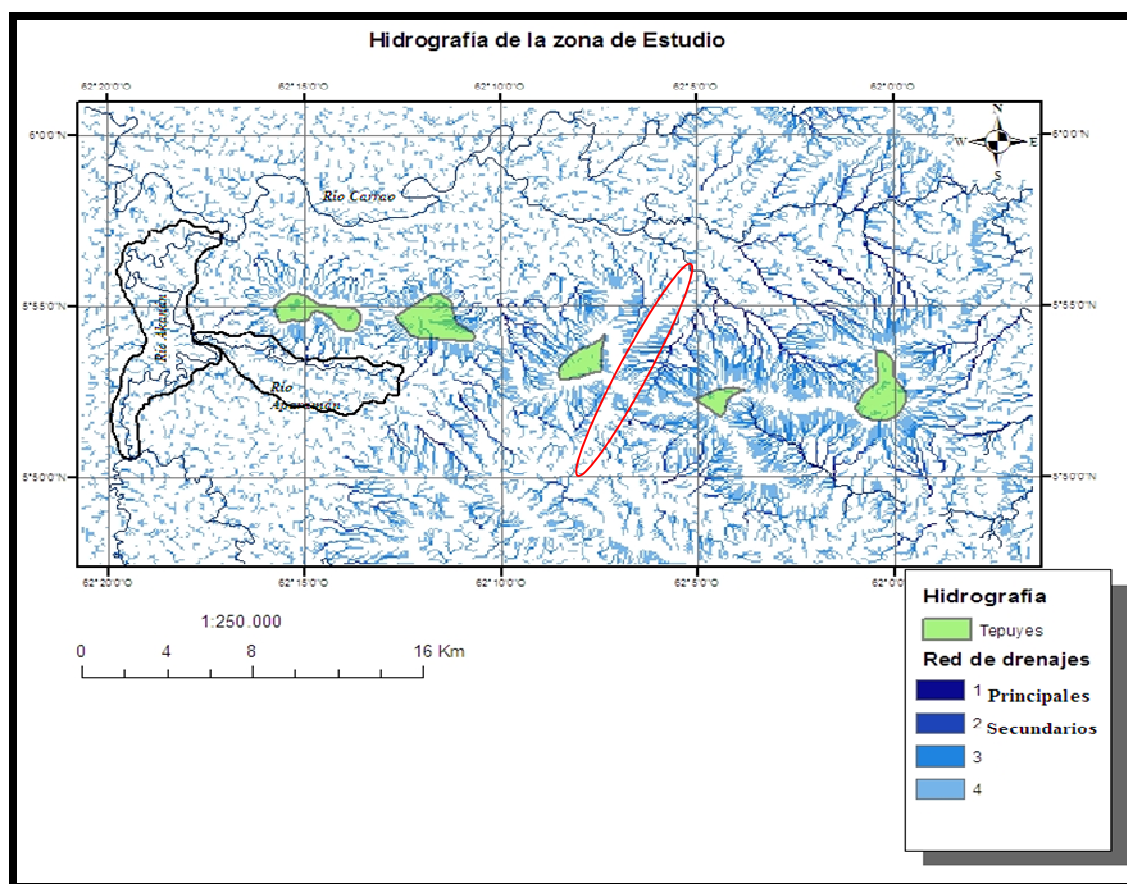
El material litológico más antiguo en dicha zona se encuentra en los laterales tanto las rocas intrusivas como las rocas del Grupo Roraima, por su parte la zona central presentan depositaciones progresivas más recientes en el Proterozoico y se encuentran expuestas a lo largo de todas las zonas tepuyanas.

#### **4.5.4 HIDROGRAFÍA**

A nivel general, la zona de estudio presenta una amplia hidrografía, desde las aguas que fluyen por escorrentías producidas constantemente por la precipitaciones abundantes en la zona, así como los niveles de redes de drenajes principales, secundarios y menores, la figura 66, muestra el patrón hidrográfico de la zona, donde se denotan altas escorrentías que fluyen superficialmente (epígeo) por los tepuyes formando así tributarios menores que alimentan a los drenajes mayores que se encuentran a su paso; también es importante agregar que parte del agua se infiltra por las fisuras presentes en los tepuyes, esta agua circula subterráneamente (hipógeo) y va afectando a los estratos débiles produciendo así disoluciones de rocas, aunque se necesitan hacer más investigaciones para determinar a mayor detalle valores de infiltraciones en estos tepuyes, en los cuales se presume la presencia de circulación subterránea.

Por su parte se encuentran drenajes principales semi-paralelos a paralelos que se ven afectados en gran medida por elementos estructurales, se encuentran 3 drenajes principales que son: El Akanán (sur-norte), el Aparamán (este-oeste) y el Carrao (este-oeste).

En cuanto a los drenajes secundarios, las redes de drenajes presentan aspectos dendríticos pero los mismos evidencian cierto control estructural puesto que sus ramificaciones se observan altamente direccionadas, esto se observa ampliamente en el sector sureste de la zona, observable en el área demarcada por el elipse en la figura 66, para la parte noreste se puede distinguir tributarios menos potentes y muy disecionados, se presume que en todo el sector la litología está jugando un papel importante, permeabilizando la zona, beneficiando ampliamente a la vegetación.



**Figura 66.** Elementos Hidrográficos en la zona de estudio.

#### 4.5.5 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL RELIEVE

##### 4.5.5.1 DESCRIPCIÓN DEL RELIEVE

Dicho análisis describe la organización de las formas de relieve en la región y su relación según los criterios propios para determinar las topoformas, a continuación se presenta en la Figura 67, un mapa que denota dichas unidades.

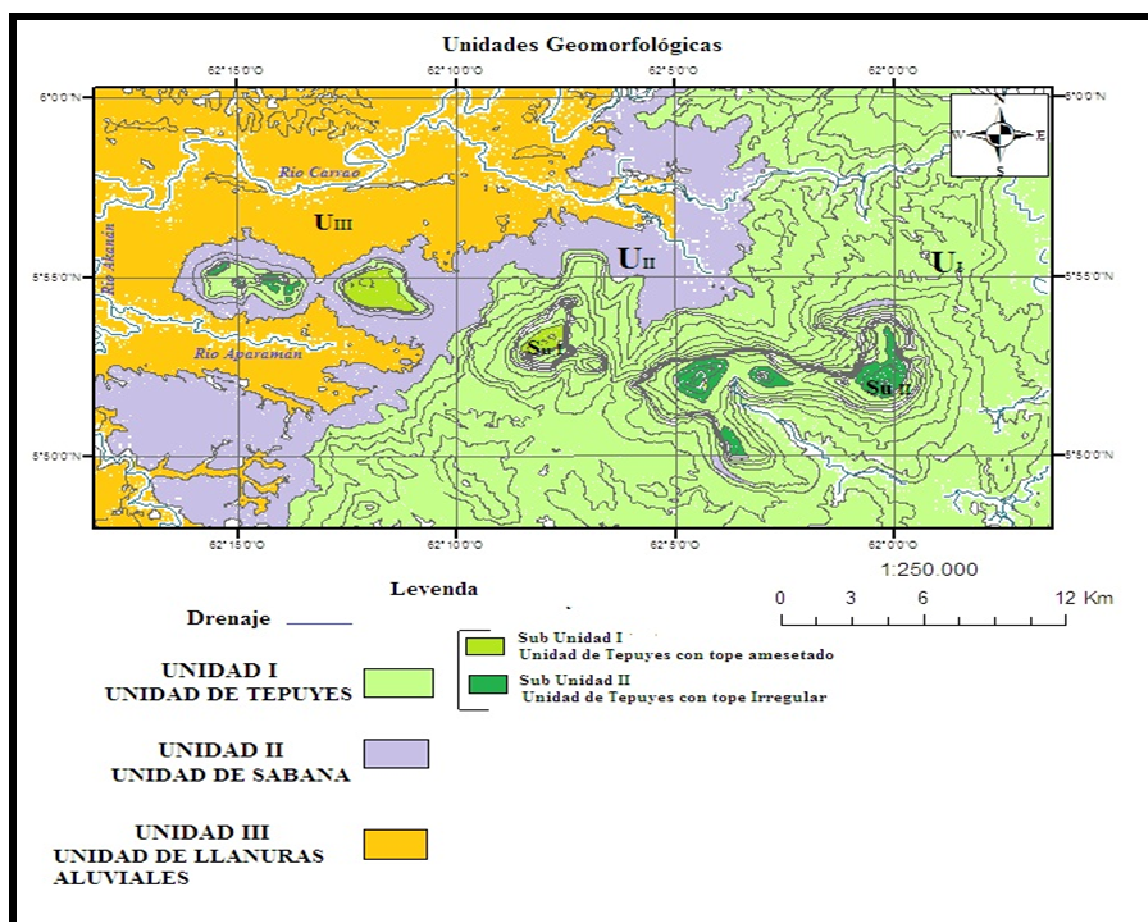
##### UNIDAD I (Unidad de Tepuyes)

Esta unidad alcanza elevaciones desde 1000 a 2800 m.s.n.m y pendientes de ligeras a moderadas, se encuentran desniveles topográficos producto de la erosión y la meteorización, corresponde un 50% aproximadamente de toda el área, esta unidad se subdivide en:



**Sub Unidad I (Unidad de tepuyes con topes amesetados)**, el Padapué Tepuy que corresponde a un macizo fuertemente erosionado es el mejor ejemplo de este tipo de toposforma, se observa un tope prácticamente plano con pendientes moderadas. Corresponde aproximadamente un 40% de toda la extensión.

**Sub Unidad II (Unidad de Tepuyes con topes irregulares)**, allí se observan tepuyes con topes irregulares y pequeños picos con pendientes escarpadas, dichos picos denotan conforman el 10% aproximadamente del área.



**Figura 67.** Análisis descriptivo del relieve, unidades geomorfológicas.

### UNIDAD II (Unidad de Sabanas)

Esta unidad alcanza elevaciones de hasta 1000 m.s.n.m y corresponde a toposformas con pendiente muy suave. Representa un 15% de toda la zona.

### **UNIDAD III (Unidad de Llanuras Aluviales)**

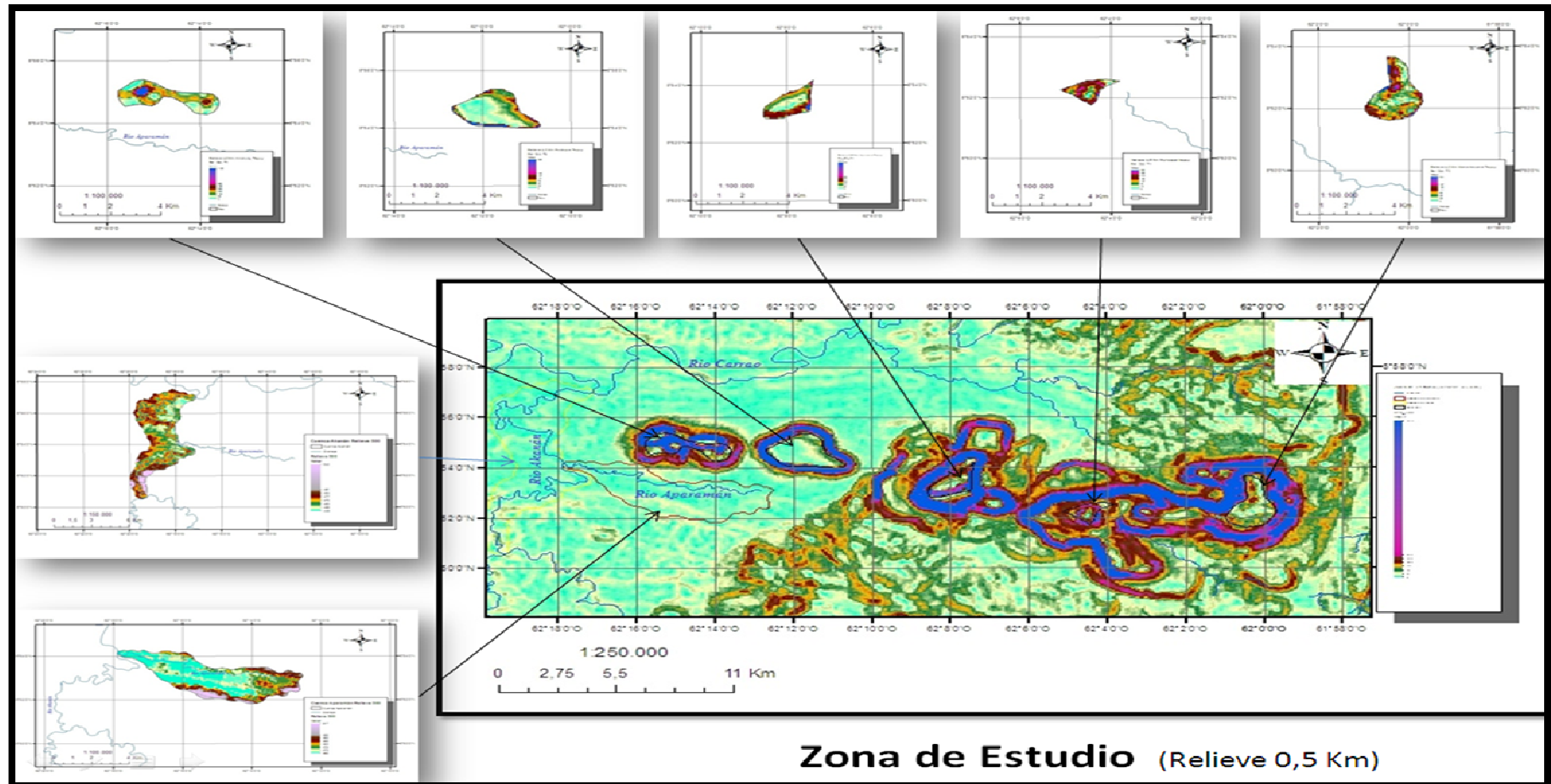
Es regular y homogénea, con un 45% de área de estudio y alturas menores de 450 m.s.n.m , ubicada al Noroeste de la zona, en este sector se encuentra los principales ríos, el Carrao, el Aparamán y el Akanán que desembocan en el Orinoco.

#### **4.5.5.2 EVALUACIÓN DEL RELIEVE A 0,5; 1 Y 3 Km**

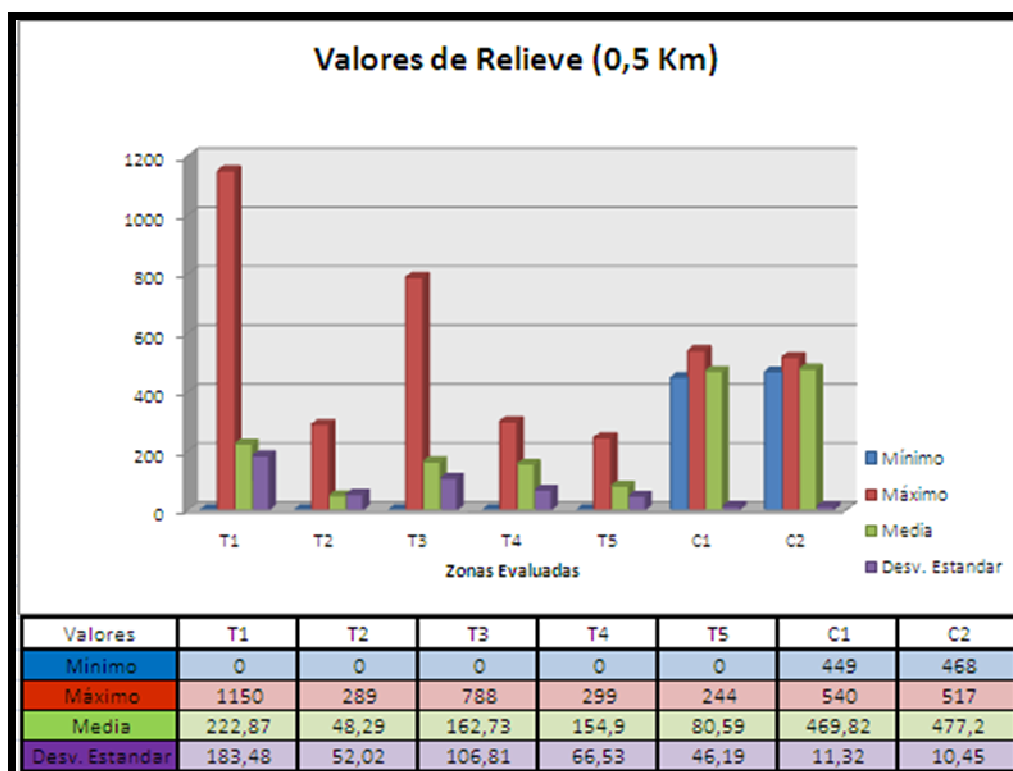
Evaluar el relieve a diversos radios de envolvente en las áreas permite denotar elementos visibles y distinguibles tanto a escala local y regional, lo cual conlleva a considerar elementos que muchas veces no pueden ser apreciados a una escala específica.

Idealmente mediante principios de uniformidad horizontal se presenta una topografía plana, posteriormente los procesos geológicos y eventos ocurridos proveen a este de un relieve irregular, la erosión y la meteorización permite rasar las zonas expuestas más débiles. Los valores máximos identifican todo aquel material extraído de las zonas de estudio mediante los procesos erosivos, inversamente así ocurre con los valores mínimos, los cuales representarían la superficie que aún no ha sido erosionada. En este estudio, se realiza un análisis estadístico mediante la herramienta ArcGIS de todo el relieve de la zona, específicamente evaluando las zonas de interés del sector como son los tepuyes y las cuencas Akanán y Aparamán.

*Relieve 0,5 Km:* a continuación se muestran los valores obtenidos para el relieve a 0,5 Km en cada elemento de la zona.



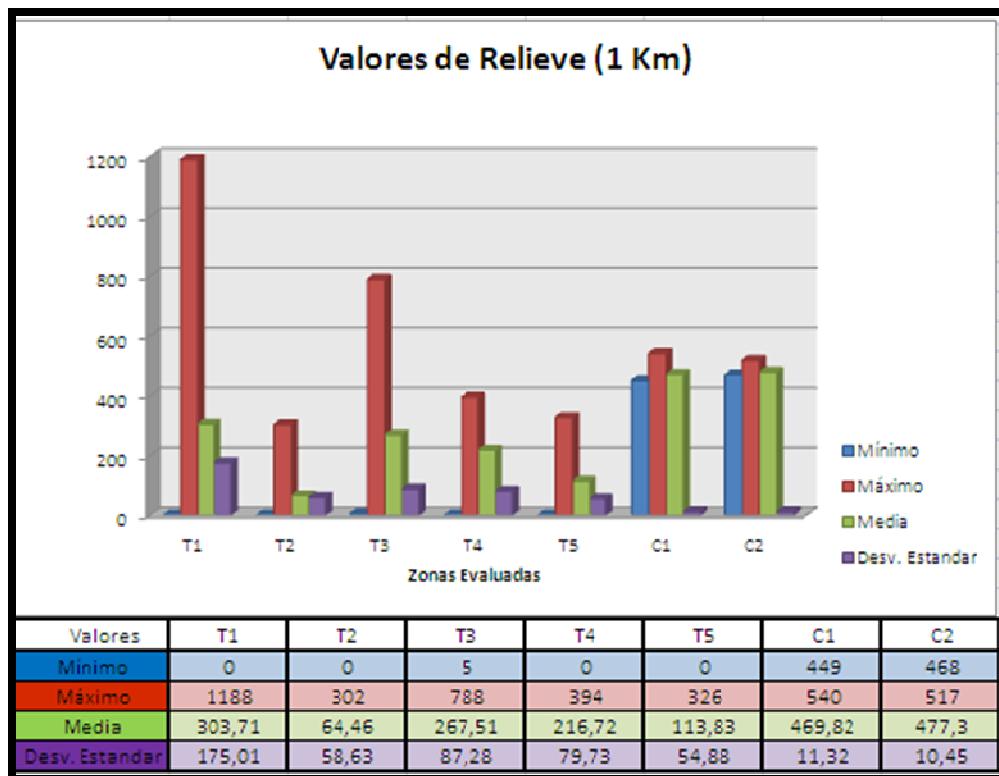
**Figura 68.** Relieve (0,5 Km) de la zona de Estudio, parte Superior de Oeste a Este :Amaruay (T1), Padapué (T2), Aparamán (T3), Murisipán(T4) y Kamarkawarai tepuy (T5); lateral Izquierdo Superior Cuenca Akanán (C1) y Cuenca Aparamán (C2) inferior.



**Figura 69.** Histograma de valores de relieve a 0,5 Km en la zona de estudio.

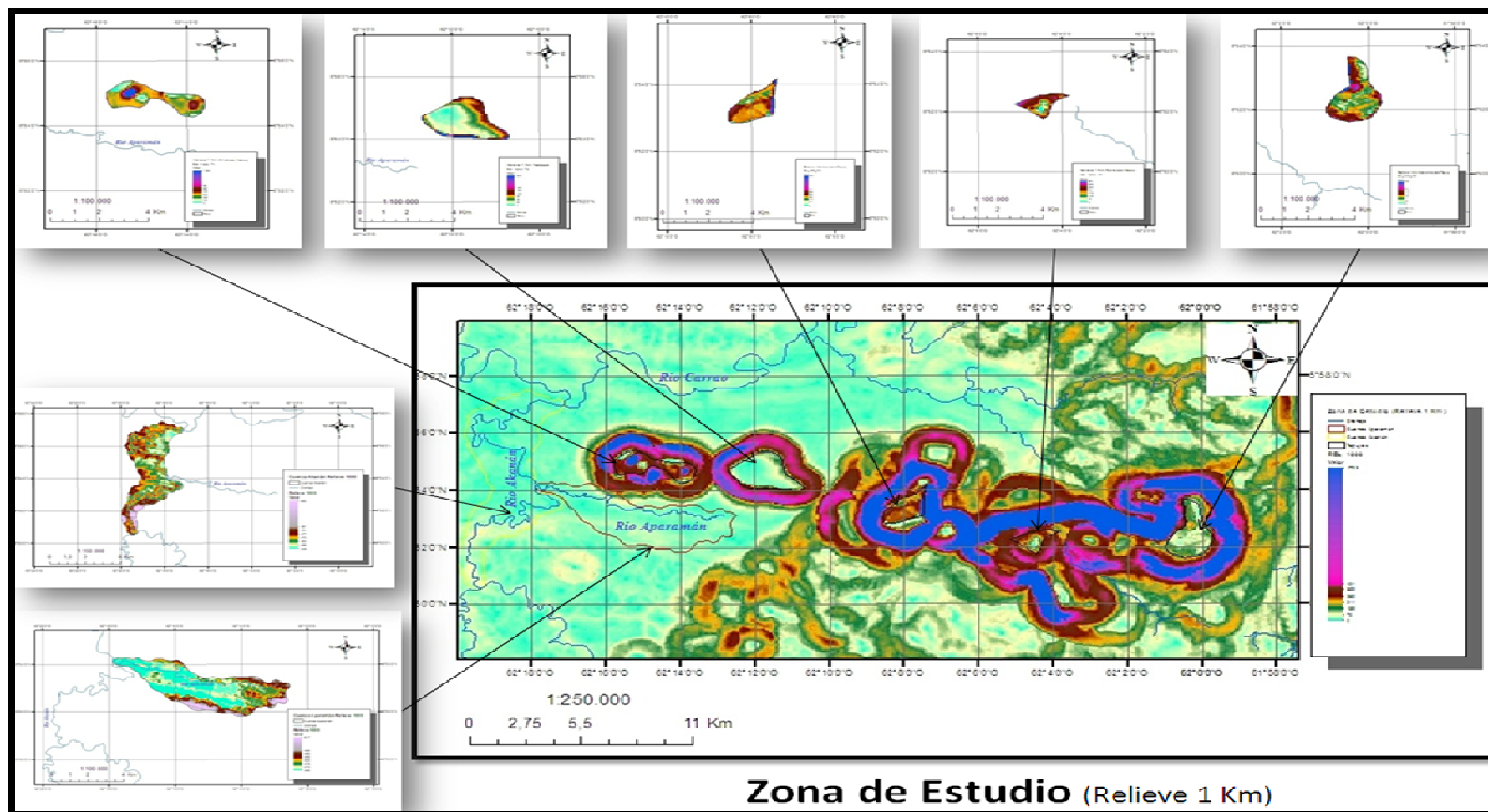
Las zona que ha sufrido mayores niveles rasantes es el Amaruay Tepuy (T1), posiblemente por presentar una mayor cercanía a zonas con mayores afluentes y también probablemente la litología este jugando un papel importante para este desgaste tan abrupto, el Aparamán Tepuy y las cuencas también presenta un mayor relieve de hasta 788 m, mientras que los tepuyes Padapué Tepuy (T2), el Murisipán Tepuy (T4), el Kamarkawarai Tepuy (T5) evidencian niveles rasantes mucho menores indicando que éstos se han visto menos afectados por efectos erosivos. La Figura 69, muestra el histograma que evidencia los valores de relieve para una envolvente de 0,5 Km.

*Relieve 1 Km:* aquí se muestra como el poder rasante de la erosión ha afectado a las zonas en un radio de influencia de 1 Km. A continuación, se presentan los datos resultantes del relieve en la zona de estudio.



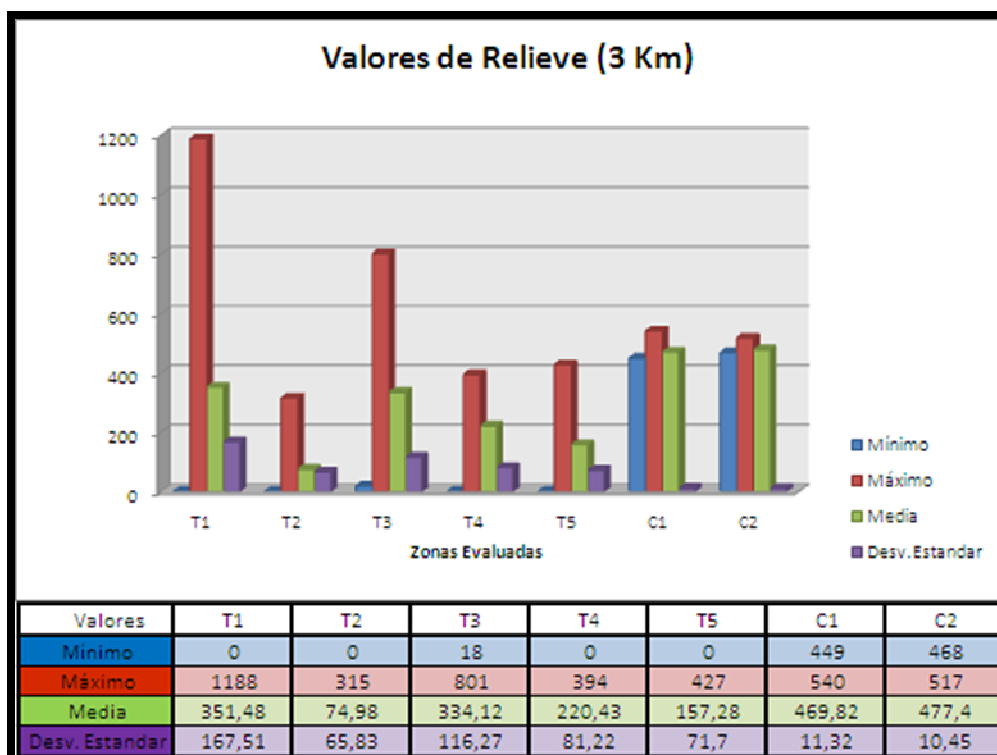
**Figura 70.** Histograma de valores de relieve a 1 Km en la zona de estudio.

De acuerdo a los datos obtenidos se pudo identificar un patrón de tendencia similar al anterior, lo que lleva a considerar que a esta escala más regional el proceso erosivo se mantiene. A continuación, se muestra como se ve afectada el relieve de la zona de estudio en una envolvente de radio 1 Km.



**Figura 71.** Relieve 1Km de la zona de Estudio, parte Superior de Oeste a Este :Amaruay (T1) ,Padapué (T2) , Aparamán (T3), Murisipán(T4) y Kamarkawarai tepuy(T5); lateral Izquierdo Superior Cuenca Akanán (C1) y Cuenca Aparamán (C2) inferior.

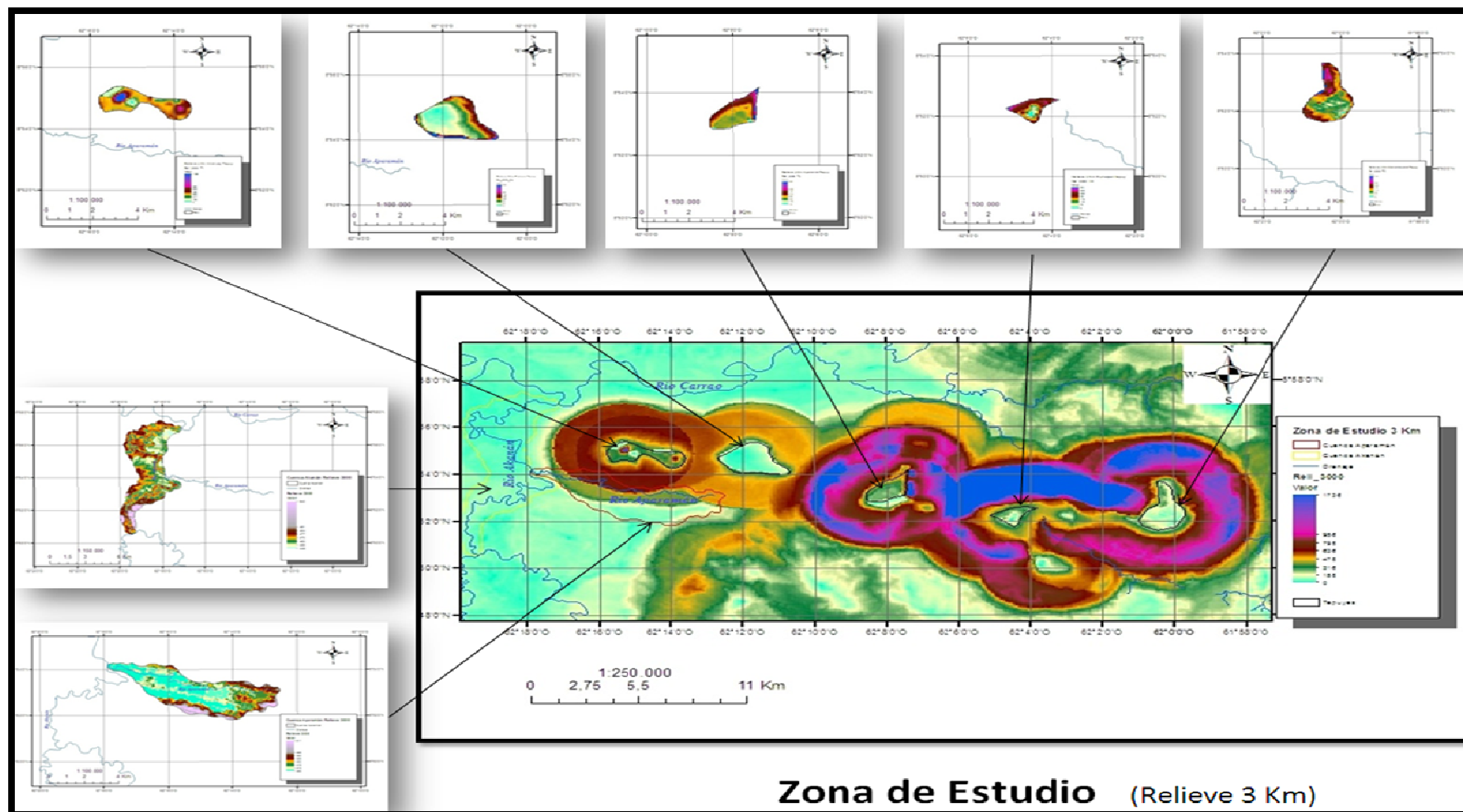
*Relieve 3 Km:* Para dicho relieve los datos arrojados fueron los siguientes:



**Figura 72.** Histograma de valores de relieve a 3 Km en la zona de estudio.

De la misma manera, a escala más regional se puede observar en la zona que el patrón de desgaste sigue siendo semejante a los anteriores, lo cual indica que a escala más regional, los procesos erosivos siguen siendo bastante notorios. En la Figura 72, se muestra de forma un poco exagerada los contrastes entre elevaciones en los diferentes tepuyes, los cuales reflejan un erosión diferencial de la zona, cabe destacar que el patrón de tendencia de mayor efecto erosivo se puede observar en la Unidad III (llanuras aluviales), la cual es el sector más afectado de la zona, para la zona T1 y T2 se observan mínimos que no presentan mayor desgaste, pero valores máximos con desgastes abruptos, lo cual pudiese ser indicio de elementos litológicos de roca dura en la zona de T1 y T2 que probablemente forme parte también del T4 y T5.



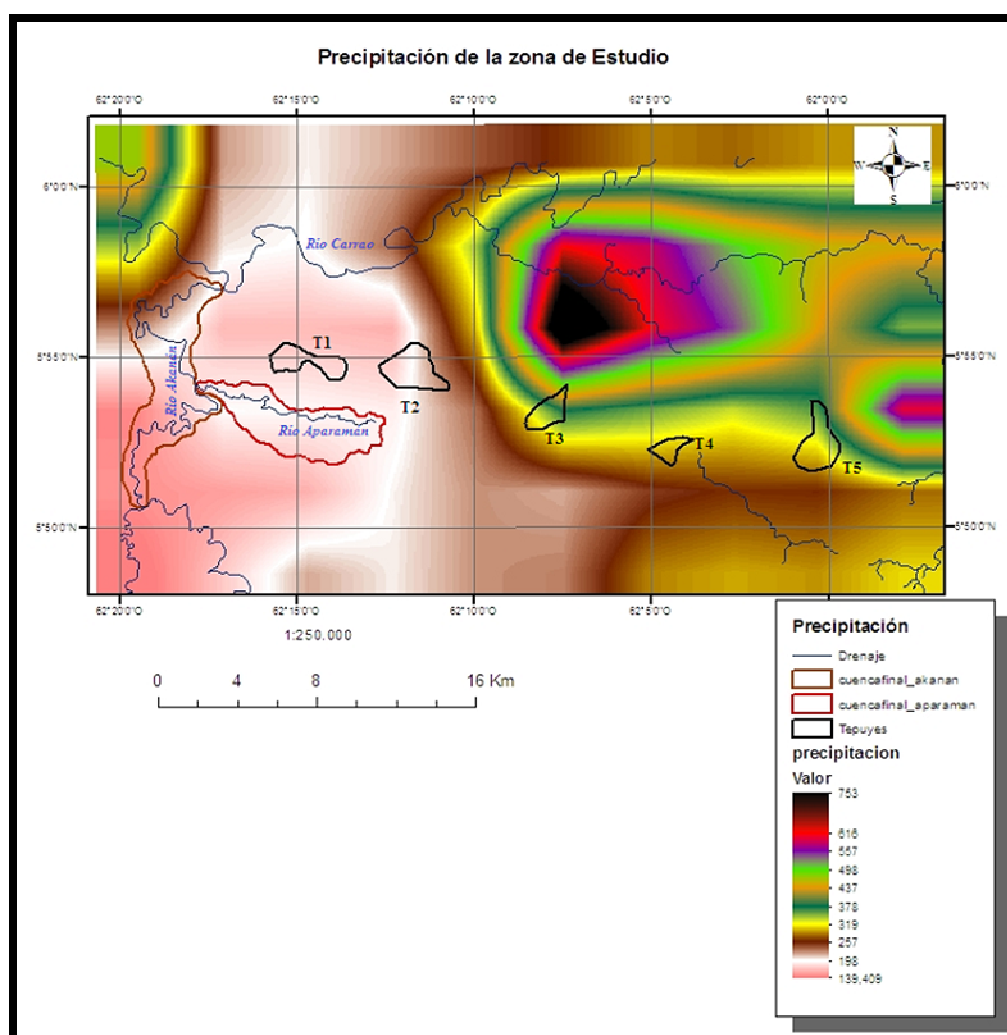


**Figura 73.** Relieve 3Km de la zona de Estudio, parte Superior de Oeste a Este :Amaruay (T1) ,Padapué (T2) , Aparamán (T3), Murisipán(T4) y Kamarkawarai tepuy(T5) ;lateral Izquierdo Superior Cuenca Akanán (C1) y Cuenca Aparamán (C2) inferior.



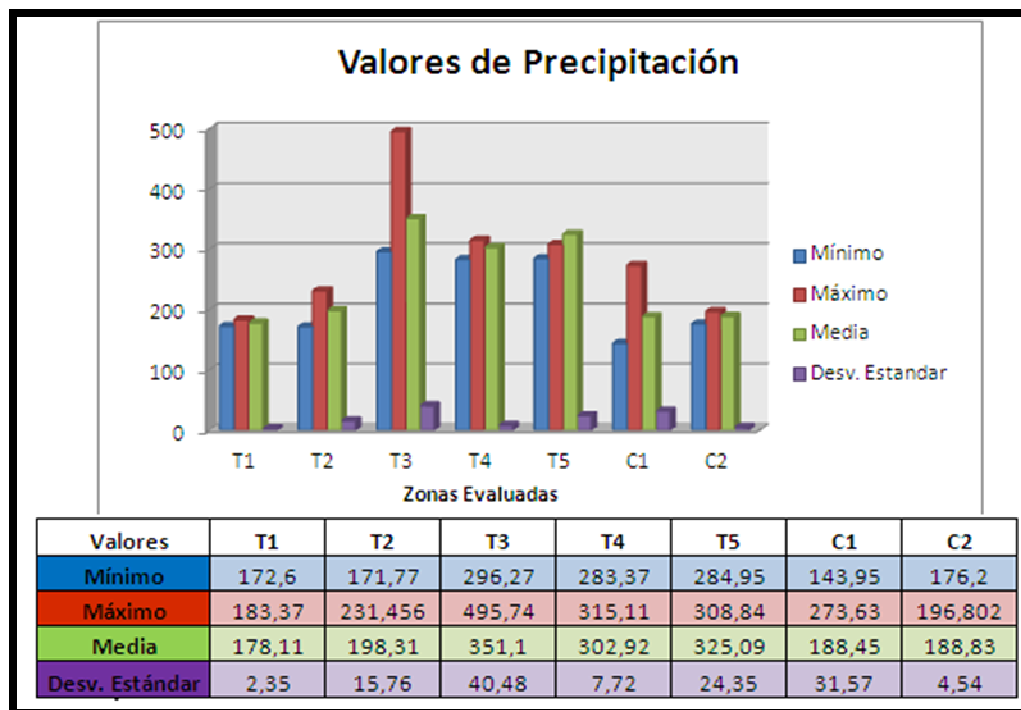
#### 4.5.6 PRECIPITACIÓN

La Figura 74 muestra la tasa de precipitación promedio anual presente en la zona de estudio, según datos obtenidos en la misión TRMM 2B31 de la NASA en donde se muestra a escala regional las mayores zonas de afectación por parte de la precipitación. Se puede observar que las zonas con mayores altitudes (zona noreste) presentan mayor índice de precipitación que las zonas con alturas menores, posiblemente se deba a efectos de barrera orográfica, en las zonas de montañas el aire asciende y se enfría y tiene menos capacidad para retener la humedad lo que produce que llueva en mayor abundancia, esta figura muestra valores que oscilan entre 131,31 a 753,13 mm/año de intensidad de precipitación promedio anual.



**Figura 74.** Valores de precipitación promedio anual en la zona de estudio.

Para cada tepuy y cuenca los valores obtenidos en cuanto a índice de precipitación son mostrados en los gráficos de barras de la Figura 75.

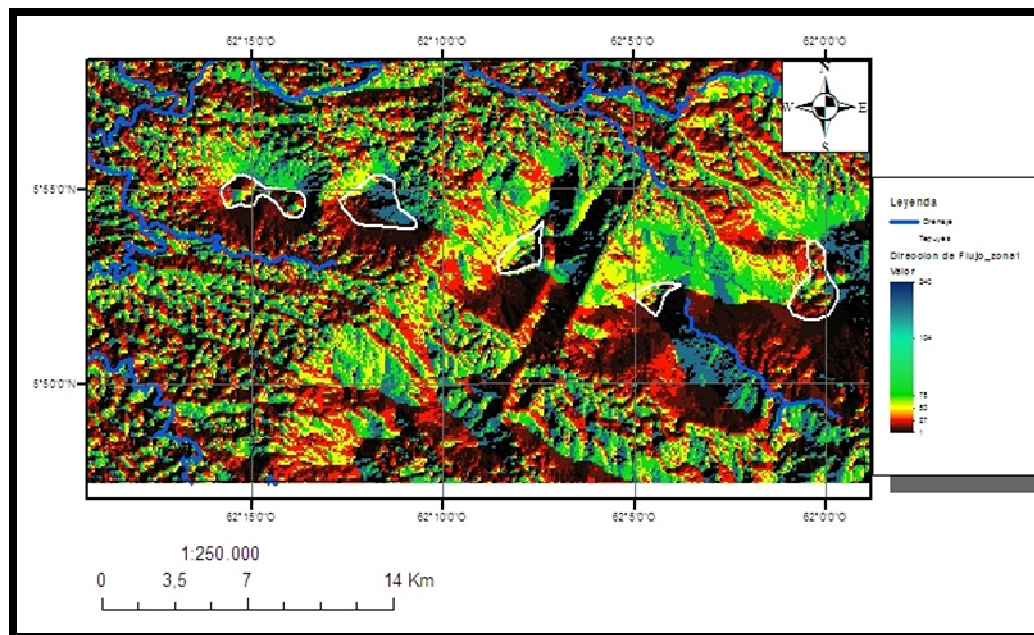


**Figura 75.** Histograma de valores de precipitación en la zona de estudio.

La tabla indica que las zonas con mayores niveles de precipitación son T3 (Aparamán Tepuy), T4 (Murisipán Tepuy) y T5 (Kamarkawarai Tepuy) los cuales se encuentran en altitudes mayores con respecto a las demás zonas que presentan menores índices de precipitación como lo son T1 (Amaruay Tepuy), T2 (Padapué Tepuy) y las cuencas de los ríos Aparamán y Akanán, respectivamente.

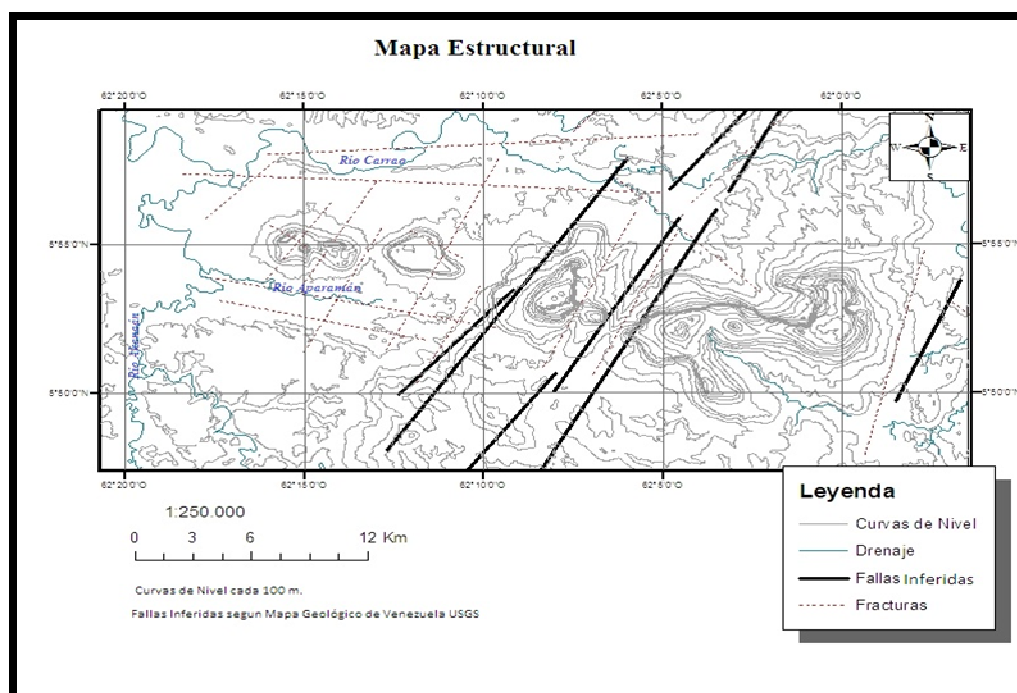
#### 4.5.7 ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Al identificar las direcciones de drenajes y valores litoestratigráficos se pudo evidenciar fallas y fracturas en el área, con direcciones preferenciales de noreste a sureste, si bien el mapa que se presenta a continuación en la Figura 76, denota las direcciones de flujos de redes de drenajes se puede observar el alto control que tienen los elementos estructurales.



**Figura 76.** Dirección de flujo de drenaje donde se muestra la alta influencia del control estructural en la zona.

En la Figura 77, se observan las fallas obtenidas del mapa geológico estructural de la USGS (*color negro*; Hackley et al., 2005), se identificaron también grandes fallas de orientación noreste y fracturas de dirección este-oeste producto de contactos litológicos.



Fig

**ura 77.** Mapa estructural de la zona de estudio.

A nivel general, la información obtenida concuerda con lo establecido con Schubert y Briceño (1986), los cuales desarrollaron estudios en la parte Sureste (Ilú, Yuruaní, Kukenán, Churí Tepuy, Chimantá Tepuy, entre otros) en el escudo de Guayana, en donde encontraron que los esfuerzos máximos a nivel estructural orientados desde en Noreste hacia el Suroeste. Estos autores determinaron diaclasamientos en varias direcciones y fracturas verticales que supuestamente fueron ocurridas en el mayor período de deformación tectónica del Grupo de Roraima.

Schubert y Briceño (1990) sugieren que la región a nivel general ha sido inclinada tectónicamente hacia el Noroeste, causando la migración de los canales de los ríos hacia el oeste, lo cual es consistente con los resultados obtenidos en la presente investigación.

#### **4.6 CLASIFICACIÓN FIOGRÁFICA DEL TERRENO MEDIANTE EL MÉTODO CIAF, Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica. (Villota, 1992)**

A continuación, se presentan los resultados de la clasificación jerárquica de las unidades fisiográficas presentes en la zona de estudio.

*La Categoría I* corresponde a la Provincia Fisiográfica denominada “Escudo de Guayana” y corresponde a una amplia unidad morfoestructural definida por antiguas montañas erosionadas que forman la base en las que se asientan las cuencas sedimentarias desarrolladas sobre plataformas de edad Precámbrica.

Por su parte la *Categoría II* corresponde a la Unidad Climática y está determinada por los siguientes aspectos:

*Altitud:* La zona presenta alturas que van desde los 460 m hasta los 2300 m aproximadamente.

*Precipitación:* Período de Lluvia durante 8 meses que va desde Abril hasta Noviembre, mientras que el período de sequía va desde Diciembre a Marzo.

Comparando estos elementos con la tabla de Thornwaite se establece una región climática media con períodos de lluvia de +60 a 160 precipitaciones prom. Anual y seca de 0 a 60 precipitaciones prom. Anual y Unidad Climática Muy Húmeda (Mh) >2400mm en toda el área.

Por su parte la Unidad Genética del relieve *Categoría III*, se divide en los siguientes en dos grandes sectores.

*Altiplanicie:* Correspondientes a las zonas tepuyanas, que se encuentran en la zona Este del área, siendo antiguas planicies estructurales en posiciones altas como son el Amaruay, Padapué, Aparamán, Murisipán y Kamarkawarai Tepuy los cuales han sido y están siendo afectadas en gran manera por efectos de erosión y meteorización, mostrando un ambiente morfogenético estructural y erosional e involucrando formaciones geológicas de diferentes edades como los son: El Grupo Roraima, diabasas y rocas intrusivas silíceas.

*Planicie o Llanura:* Estas zonas se encuentran en la parte Oeste del área de estudio, correspondiente a planicies con baja pendiente, donde se pueden observar los drenajes principales: el Akanán y el Aparamán con sus respectivas cuencas, con un ambiente morfogenético agradacional la cual se ve favorecida en gran parte por el

material erosionado de las zonas elevadas, permitiendo acumulación de sedimentos heterogéneos en toda su extensión.

Estas dos unidades genéticas se ven desglosadas en varios paisajes fisiográficos, la zona de altiplanicie se desmembra en dos (2) paisajes fisiográficos denominados: *Altiplanicie con topes Amesetados* con un área aproximada de 220,61 Km<sup>2</sup> y *Altiplanicie con topes Irregulares* con un área menor de 47,54 Km<sup>2</sup>, correspondiendo al Grupo Roraima (rocas sedimentarias, metasedimentarias y volcánicas).

Para la Unidad genética de *Planicie o Llanura* también se encuentran dos (2) paisajes fisiográficos que son: *Las Sabanas* con un área de 270,83 Km<sup>2</sup> y otro paisaje denominado *Llanura Aluvial* que abarca grandes extensiones con un área de 615,67 Km<sup>2</sup>, todos estos paisajes corresponden al Grupo Roraima (rocas sedimentarias, metasedimentarias y volcánicas), diabasas y rocas intrusivas silíceas.

El sub-paisaje está formado por variaciones en la pendiente y el grado de erosión de presente: en el caso de la Unidad Genética de la Altiplanicie tanto el área de altiplanicie de con topes amesetados y con topes irregulares comprenden variaciones de pendientes moderadas que van de 0 a 60° presentando un tipo de erosión de grado 2 a 3 siendo de moderada a severa.

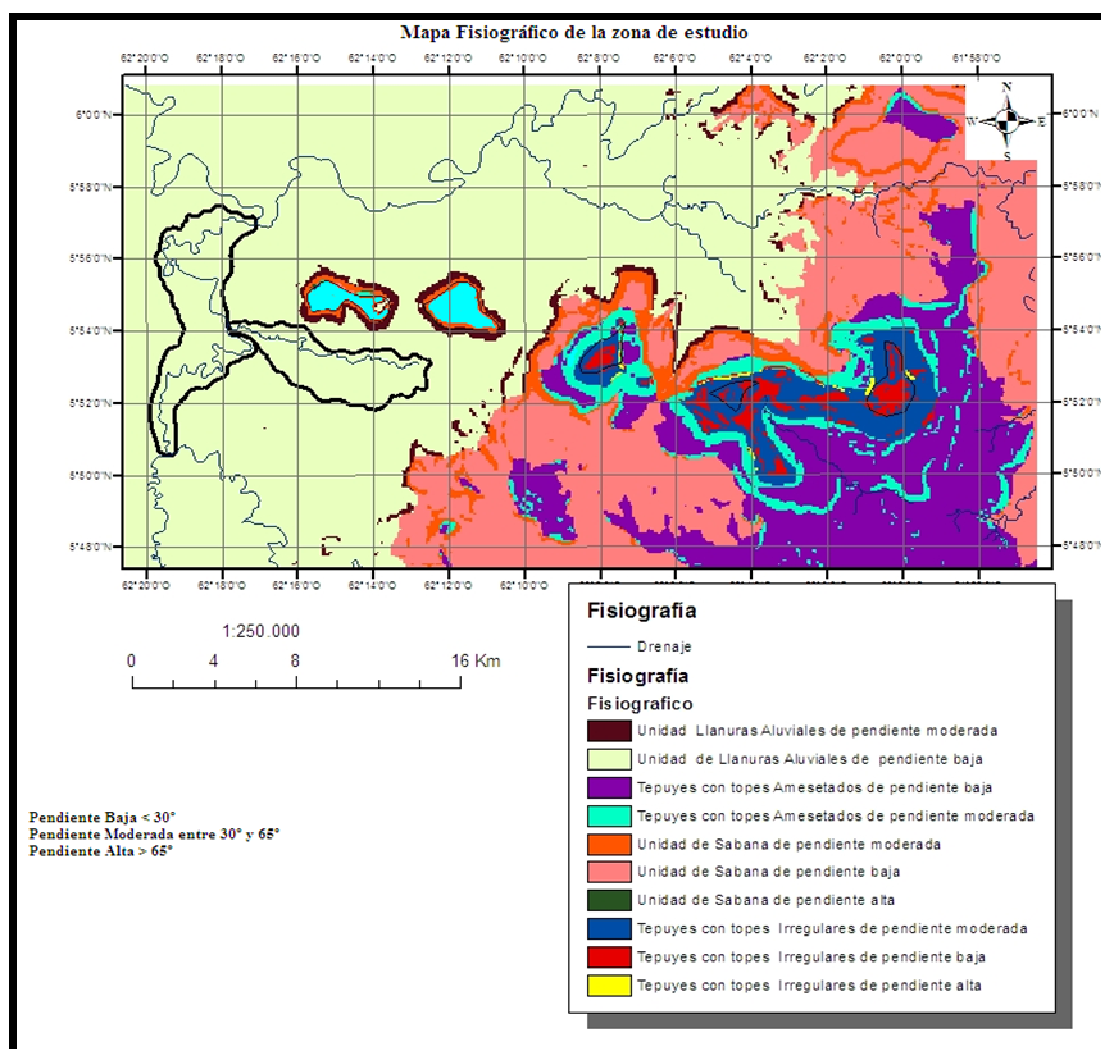
La Unidad genética de *Planicies o Llanuras* comprendido en *Sabanas y Llanuras Aluviales* que presentan bajas pendientes que van desde los 0 a 11° con poca variación en toda su extensión y grado de erosión ligera tipo 1.

Con respecto a patrones de drenajes erosional, la zona de *Altiplanicie* presenta una alta erosión hídrica mediante drenajes superficiales o epigeo productos de las agua de lluvia, el material rocoso por ser altamente impermeable se produce la escorrentía de agua que llega a las áreas de menor altitud y esta también las aguas que se infiltran por las grietas de los tepuyes socavando materiales de menor dureza por medio de disolución, formando así cavernas. Patrones altos de escorrentías son observables ampliamente en el Kamarkawarai Tepuy.

Para la zona de *Planicies y Llanuras* se observa patrones de drenajes semi-paralelos producto de los elementos estructurales y drenajes distributivos que

escurren a las zonas de menor pendiente llegando así al río Aparamán y al río Akanán y éstos a su vez, van alimentando al Orinoco.

De la zona de estudio, se realizó un mapa fisiográfico esquematizado mediante ArcGIS 10.2 que muestra las zonas correspondientes a las Unidades descriptivas del relieve y donde en cada una se discrimina variación de pendiente. El mapa indica que los elementos geomorfológicos que se encuentran en la zona este y sureste presentan altas elevaciones y pendientes mientras que los que se encuentran en el oeste y noreste presenta todo lo contrario, zonas con bajas elevaciones y pendientes ligeras.



**Figura 78.** Mapa fisiográfico de la zona de estudio.



Tabla 12. Evaluación fisiográfica de la zona de estudio mediante el método CIAF (1992).

Provincia Fisiográfica	Unidad Climática	Unidad Genética del Relieve		Paisaje Fisiográfico		Sub Paisaje				Patrón de drenaje erosional	Area	
		Gran Paisaje	Ambiente Morfogenético	Paisaje	Litología	Pendiente		Erosión			Km <sup>2</sup>	%
						Grado	Forma de Relieve	Grado	Tipo			
Escudo De Guayana	Muv Húmeda (Mh) > 2400 mm según Thornwaite	Altiplanicie	Estructural Erosional	Altiplanicie con tope Amesetado	Grupo Roraima: Sedimentarias, Meta sedimentarias y Volcánicas	0-60º	Moderada variaciones de pendiente en todo el sector	2-3	Moderada a Severa	Superficial o Epigeo. Circulación Subterránea o Hipogea.	220,61	19,10
				Altiplanicie con tope irregular		0-70º					47,54	4,11
		Planicie o Llanura	Agradacional	Sabana	Grupo Roraima: Sedimentarias, Meta sedimentarias y Volcánicas Diabasas y Rocas intrusivas	0-11º	Ligera Poca variación de pendiente	1	Ligera	Distributivo Sub paralelo	270,83	23,45
				Llanura Aluvial		0-7º					615,67	53,31



#### 4.7 CURVAS HIPSOMÉTRICAS PARA LAS CUENCAS AKANÁN Y APARAMÁN

Las curvas hipsométricas como medida de la relación entre la altitud y el área en una cuenca permiten determinar el proceso erosional, por su parte la integral hipsométrica establece los valores cuantitativos que permiten identificar el grado de madurez de una cuenca, tal como fue mencionado en el capítulo anterior.

*Cuenca Akanán:* La curva hipsométrica obtenida establece valores que reflejan el grado erosional presente en la misma, en este caso se observa que los valores más altos de erosión se encuentran en la parte central observado en el gráfico, por su parte el perfil obtenido refleja una curva continua y homogénea los que indica que el grado de erosión en la misma es aproximadamente uniforme.

**Tabla 13.** Valores obtenidos de la integral hipsométrica para la cuenca Akanán.

Valores de la Cuenca Akanán				
Elevación Máxima	Elevación Mínima	Elevación Media	Integral Hipsométrica	HSI
3886	3	2889,87	0,75	<b>Cuenca Joven</b>

El valor resultante de la integral hipsométrica indica que la cuenca Akanán actualmente se considera una cuenca joven, inestable con procesos de denudación progresivos, este valor al ser mayor a 0.5 indica además que el tipo de erosión de procesos difusivos predominantemente de laderas (Willgoose & Hancock, 1998).

*Cuenca Aparamán:* La Figura 79b representa la curva hipsométrica para la cuenca de Aparamán, ésta refleja niveles de erosión variables denotados indicando, que la erosión en toda la cuenca no es homogénea, se puede identificar esto debido a la flexura demarcada en la curva obtenidas.

**Tabla 14.** Valores obtenidos de la integral hipsométrica para la cuenca Aparamán.

Valores de la Cuenca Aparamán				
Elevación Máxima	Elevación Mínima	Elevación Media	Integral Hipsométrica	HSI
2525	689	2040,71	0,74	<b>Cuenca Joven</b>

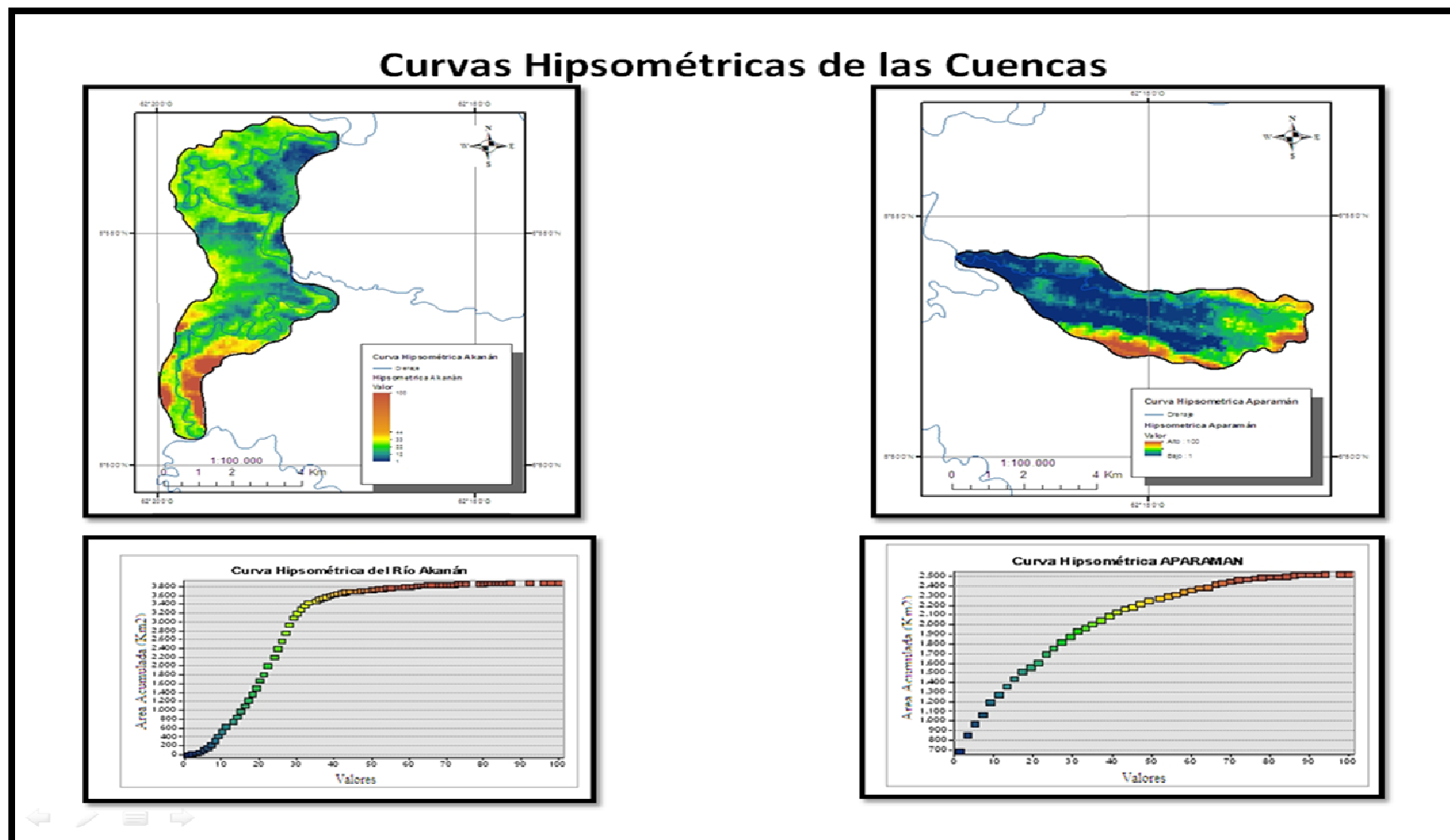


Figura 79. Curvas Hipsométricas a) Cuenca Akanán y grafico de valores, b) Cuenca Aparamán y gráfico de valores.

La integral hipsométrica indica que la cuenca es inestable, inmadura, y denudación progresiva, la misma se ha visto altamente afectada por la erosión difusivas. Se pudo observar que las dos cuencas estudiadas presentan características similares en cuanto a la madurez de la cuenca pero también diferencias como la continuidad de la tasa de erosión que resultó ser diferentes para ambas.

#### 4.7.1 ELEMENTOS MORFOLÓGICOS DE LA CUENCAS APARAMÁN Y AKANÁN

**Cuenca Akanán:** Corresponde a una microcuenca por estar entre los valores de 10 y 100 Km<sup>2</sup>.

##### Forma

- *Coefficiente de Forma:  $K_f$ : 0.04*, representa una cuenca moderadamente achatada.
- *Longitud del Cauce (L): 28,70 Km*
- *Área de Cuenca (A): 32,23 Km<sup>2</sup>*
- *Perímetro (P): 33,73 Km*
- *Índice de Gravelius:  $K_c=1,66$*

Según el índice de Gravelius se caracteriza por representar una cuenca *rectangular oblonga*.

##### Relieve

- *Pendiente: 11,53°*
- *Elevación: 473,01m = 0,473 Km*
- *Relieve para (1 Km) = 469,82m = 0,4698 Km.*
- *Coefficiente de Masividad:  $K_m: 14,67$*

Según tabla N° 15, el coeficiente de Masividad es Muy Montañoso.

- *Coefficiente Orográfico:  $C_o: 6848,61$  Indica valores muy grandes por referirse a microcuencas y zonas muy montañosas.*
- *Curva Hipsométrica:*

**Cuenca Aparamán:** Corresponde a una microcuenca por estar entre los valores de 10 y 100 Km<sup>2</sup>.

### Forma

- *Coefficiente de Forma:  $K_f$  :0.19*, representa una cuenca ligeramente achatada
- *Longitud del cauce: 10,42 Km*
- *Área de Cuenca: 21,49 Km<sup>2</sup>*
- *Perímetro: 25,28 Km*
- *Índice de Gravelius:  $K_c$ : 1,52*, Indica que es rectangular oblonga.

### Relieve

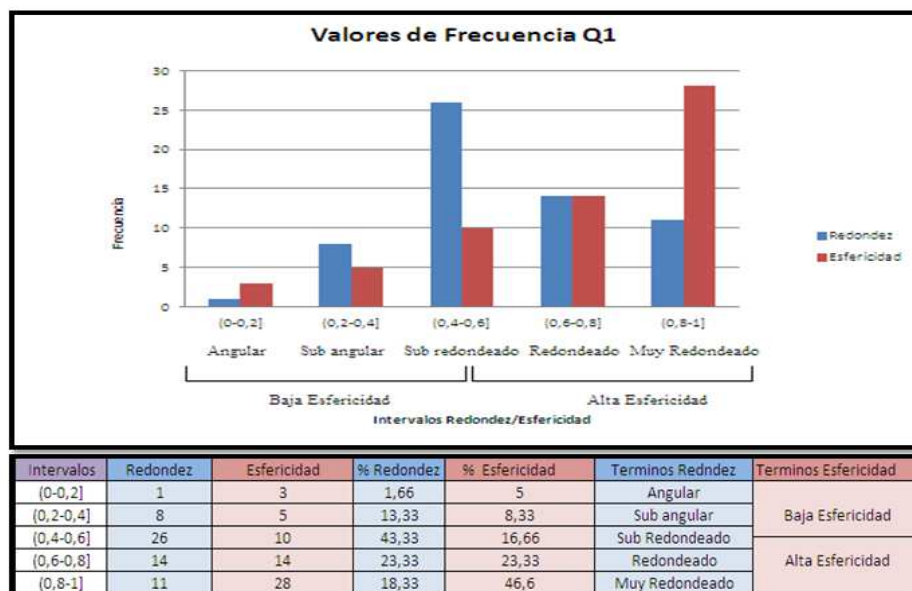
- *Pendiente: 7,32°*
- *Elevación: 477m*
- *Relieve para 1 Km: 477,3m*
- *Coefficiente de Masividad:  $K_m = 22,19$*  .Muy Montañosa.
- *Coefficiente Orográfico:  $Co: 10\ 701,12$*  Indica valores muy altos por referirse a una microcuenca.
- *Curva Hipsométrica:*

## 4.8 ANÁLISIS DE MINERALES PESADOS

**4.8.1 ANÁLISIS DE LA MUESTRA Q1 (P1: N589929 W 622978)**. Tomado a las orillas del río Akanán (cerca de un campamento llamado Iwana Merú).

Los minerales pesados son indicativos de procedencia de los materiales, en este caso se realiza un estudio de los mismo para así determinar mediante el grado de redondez y esfericidad la posible fuente original de los minerales pesados obtenidos en la muestra. Al tener las muestras preparadas se procede a la utilización del software ImageJ, se realiza una limpieza profunda de las posibles fuentes de errores (vacuolas epóxicas) que pudiesen afectar los resultados, dejando la imagen sólo con lo granos, la Figura 82 muestra el procesamiento llevado a cabo conjuntamente con la evaluación de cada uno de los minerales de la muestra, se analizaron aproximadamente 61 granos en Q1 de los cuales se obtuvieron los niveles de

redondez y esfericidad en cada uno de ellos en base a la carta de Krumbein y Sloss (1941).

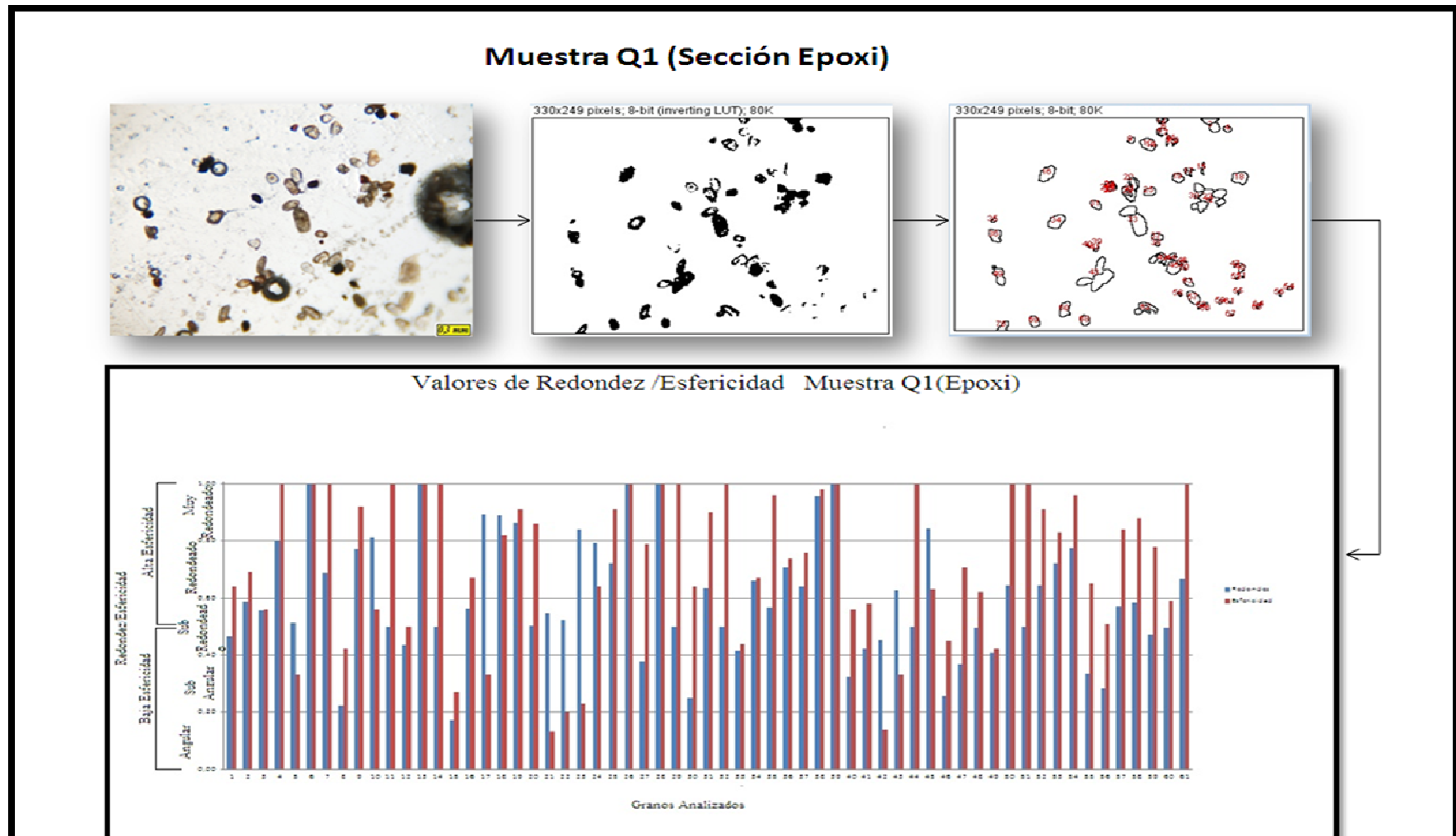


**Figura 80.** Valores de frecuencia de la muestra Q1 de la sección epóxica.

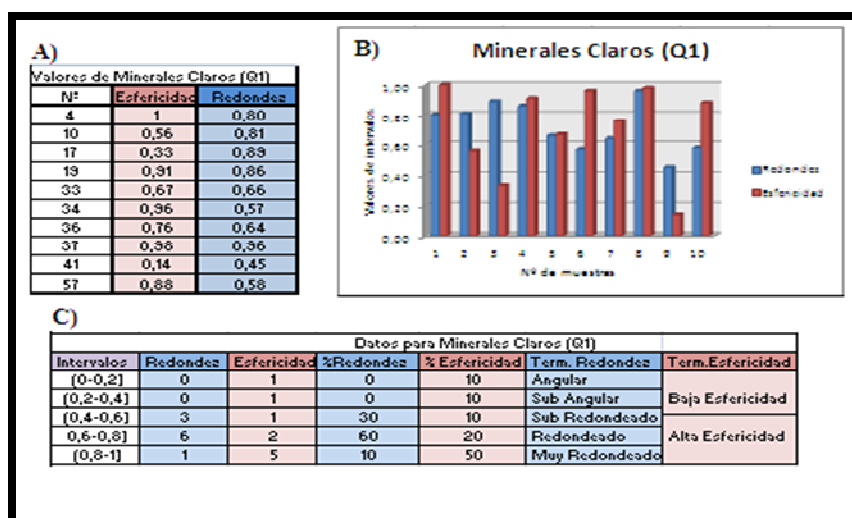
Para dicha muestra se encontró que la mayor cantidad de minerales en cuanto a redondez correspondían al intervalo (0,4-0,6] que indican Sub redondeamiento en las aristas, mientras que en la esfericidad, la cantidad mayor de granos se encuentra en el intervalo de (0,8-1] indicando una alta esfericidad, como lo muestra la Figura 80.

#### *Minerales Claros (Q1)*

Posteriormente, se realizó un muestreo más detallado de minerales claros y oscuros mediante el software *Image J* en donde se evaluó el grado de redondez y esfericidad de los mismos, se toman 10 granos de minerales claros de la muestra, (ver Figura 82), el mayor grado de redondez en los minerales claros se encuentra en intervalos que van de (0,6 -0,8] dando como resultado granos redondeados, con respecto a la esfericidad el valor mayor se observa en el intervalo (0,8-1] indicando una alta esfericidad en los mismos.



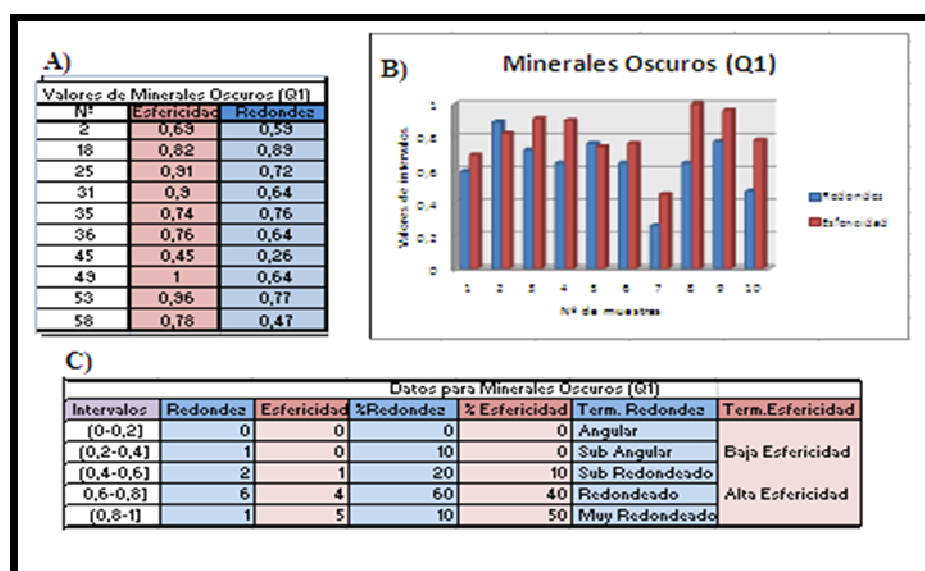
**Figura 81.** Valores de Redondez y Esfericidad tomados de cada uno de los granos de la muestra Q1 en la sección Epóxica.



**Figura 82.** A) Tabla con valores de redondez y esfericidad para minerales claros (Q1). B) Diagrama de barras con los valores obtenidos C) Datos resultantes de redondez y esfericidad para minerales claros (Q1).

#### *Minerales Oscuros (Q1)*

En cuanto al análisis de los minerales oscuros se obtuvo lo siguiente: los valores de mayor grado de redondez se encontraron en el intervalo (0,6-0,8] dando como resultado minerales sub-redondeados, mientras que el mayor grado de esfericidad se obtuvo en los intervalos (0,8-1] indicando alta esfericidad.



**Figura 83.** A) Tabla con valores de redondez y esfericidad para minerales oscuros (Q1). B) Diagrama de barras con los valores obtenidos. C) Datos resultantes de redondez y esfericidad para minerales oscuros (Q1).

En general, se pudo observar que para la muestra Q1 tanto los minerales claros y oscuros presentan alta esfericidad, mientras que el grado de redondez se encuentra entre sub-redondeado a redondeado. Tanto el análisis general y específico, arrojaron resultados similares lo que indican que los minerales han sufrido retrabajamiento en sus aristas y también que la procedencia de la roca fuente es lejana a la zona en donde se obtuvieron las muestras.

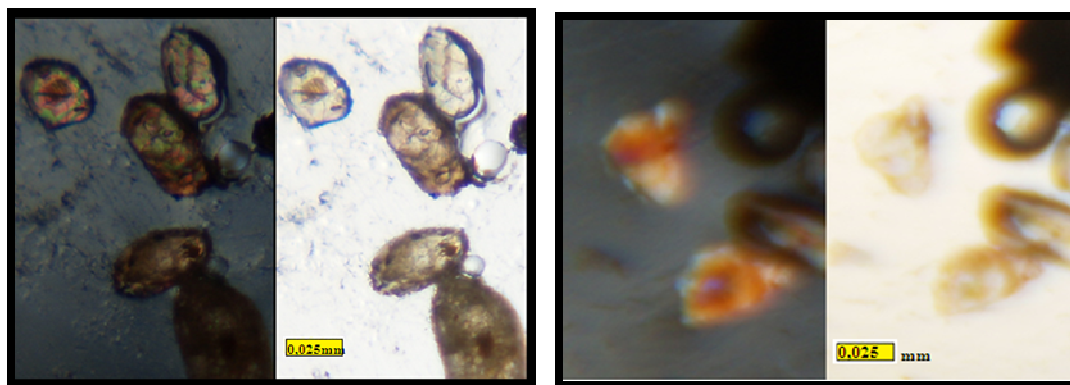
#### *Análisis Morfotextural de los Minerales Pesados presentes en la muestra Q1*

Se procesaron aproximadamente 61 muestras de granos, de los cuales se identificaron mediante las técnicas de microscopía, se distinguió un nesosilicato del grupo de los granates denominado circón, caracterizados por sus morfología (hábito prismático y corto) y diferenciados de los apatitos por su alta birrefringencia y relieve, parte de los circones se observan con caras euhedrales, (véase Figura 84.a), aunque también se ven algunas partes masivas con aristas medianamente retrabajadas lo que indica mediana cercanía a su roca fuente, este tipo de mineral accesorio es característico de diversidades de rocas fuente desde ígneas hasta sedimentarias.

Los circones que se presentan en la muestra en su mayoría presentan inclusiones rojizas aparentemente óxidos (posiblemente rutilo e ilmenita), por su parte se observó en menor cantidad el rutilo con sus caras perfectamente regulares y con su tono café-rojizo y extremo relieve y birrefringencia, la sillimanita distinguibles ampliamente por su alta birrefringencia y su hábito, aparentemente no se observaron minerales de apatitos en la muestra. Es importante destacar que en la muestra antes de ser procesada, se pudo identificar mediante el microscopio la presencia de alta cantidad de minerales de cuarzo, fragmentos de roca y moscovita. De las muestras de los minerales pesados que se pudieron distinguir fueron los siguientes: moscovita 1,6%, frag. De roca 3,2%, otros 3,2%, sillimanita 4,9%, qzo 4,9%, rutilo 6,5% otros óxidos 24,5% y circón en un 50,8%, por su parte la sillimanita surge por metamorfismo de alta presión frecuente en materiales litológicos de la zona de estudio, (véase Figura 84.b). Las muestras de microscopía se pueden observar en los anexos.



Cabe destacar que el análisis en cuanto a identificación de los minerales es visual, y siguiendo los patrones característicos de cada mineral. Se necesitarían aplicarle otros métodos cuantitativos para tener la certeza absoluta de los mismos. A continuación se muestran la figura 84 con muestras de minerales obtenidos en Q1.

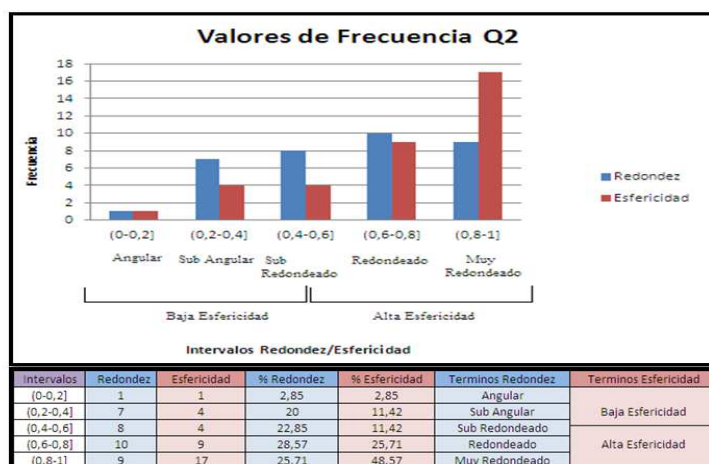


**Figura 84.** Muestra de minerales pesados a) muestra de Circones con inclusiones de material de óxido b) muestra de mineral de sillimanita alta birrefringencia nótese el hábito de la misma.

#### 4.8.2 ANÁLISIS DE LA MUESTRA Q2 (P2: N588661 W 622365). *En las orillas de un tributario de Akanán, llamado Merey.*

La muestra (Q2) presenta pequeñas cantidades de minerales pesados, en dicha sección epóxica se observaron 35 minerales entre claros y oscuros, al realizar el análisis se determinó que los mayores valores de redondez se encontraron en el intervalo (0,6-0,8] lo que indica que los mismos son mayormente redondeados, con respecto a la esfericidad se presentan en intervalos mayores (0,8-1] indicando alta esfericidad.

A continuación, se presenta en la Figura 85 los valores de frecuencia de la muestra Q2.

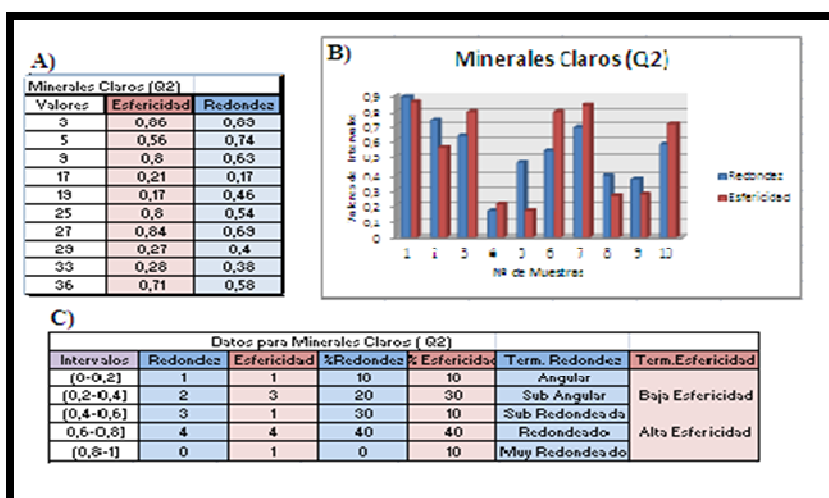


**Figura 85.** Valores de frecuencia de la muestra Q2 de la sección epóxica.

Luego de evaluar todo el compendio de minerales pesados encontrados en Q2 se hace un análisis detallado de los minerales claros y los oscuros.

#### *Minerales Claros (Q2)*

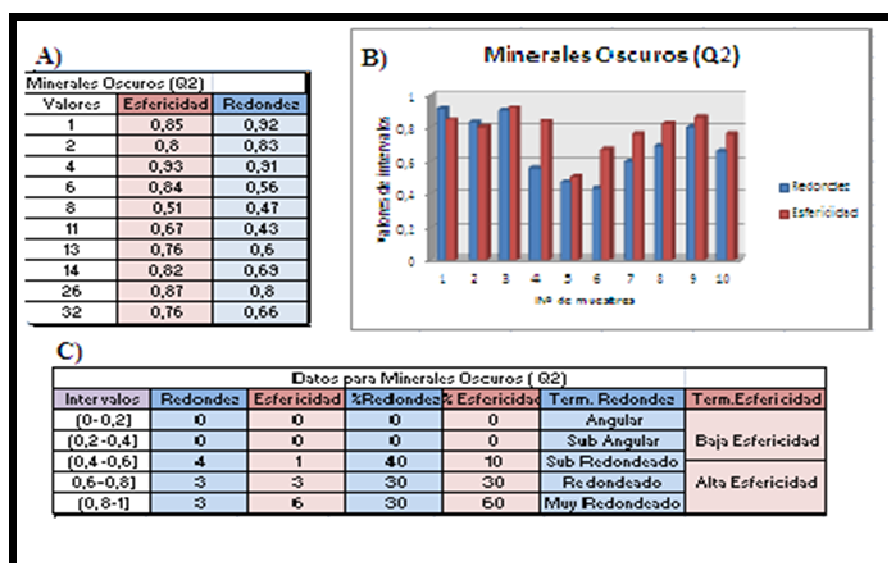
Se analizaron 10 minerales claros en la muestra Q2, en la evaluación de redondez y esfericidad se determinaron que los minerales analizados se presentan en el intervalo (0,6-0,8] lo cual indica que la mayor cantidad de minerales son sub-redondeados, y con una alta esfericidad. En la figura 86, se muestran los valores de redondez y esfericidad obtenidos de Q2.



**Figura 86.**A) Tabla con valores de redondez y esfericidad para minerales claros (Q2),B)Diagrama de barras con los valores obtenidos C) Datos resultantes de redondez y esfericidad para minerales claros (Q2).

*Minerales Oscuros (Q2)*

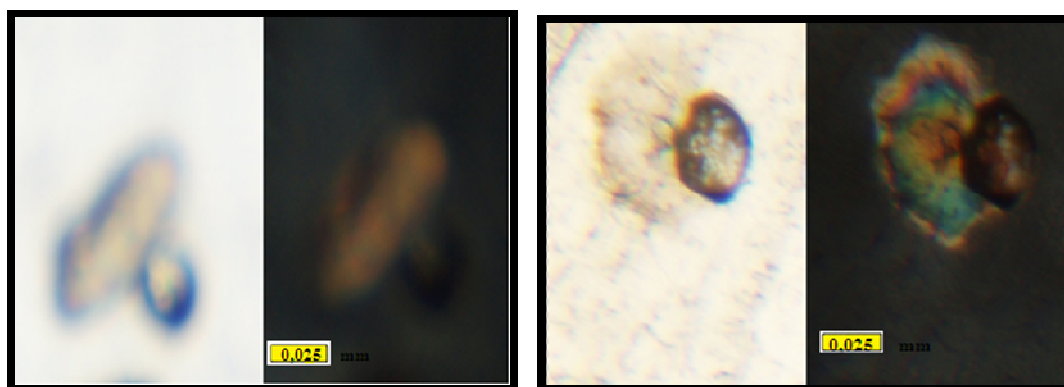
Para los minerales oscuros se tomaron 10 muestras de Q2, en donde se determinaron mediante el software ImageJ los índices de redondez y esfericidad, los intervalos (0,4-0,6] indican que dichos minerales son sub redondeados mientras que los intervalos (0,8-1] indica alta esfericidad indicando que el terreno de procedencia es lejano.



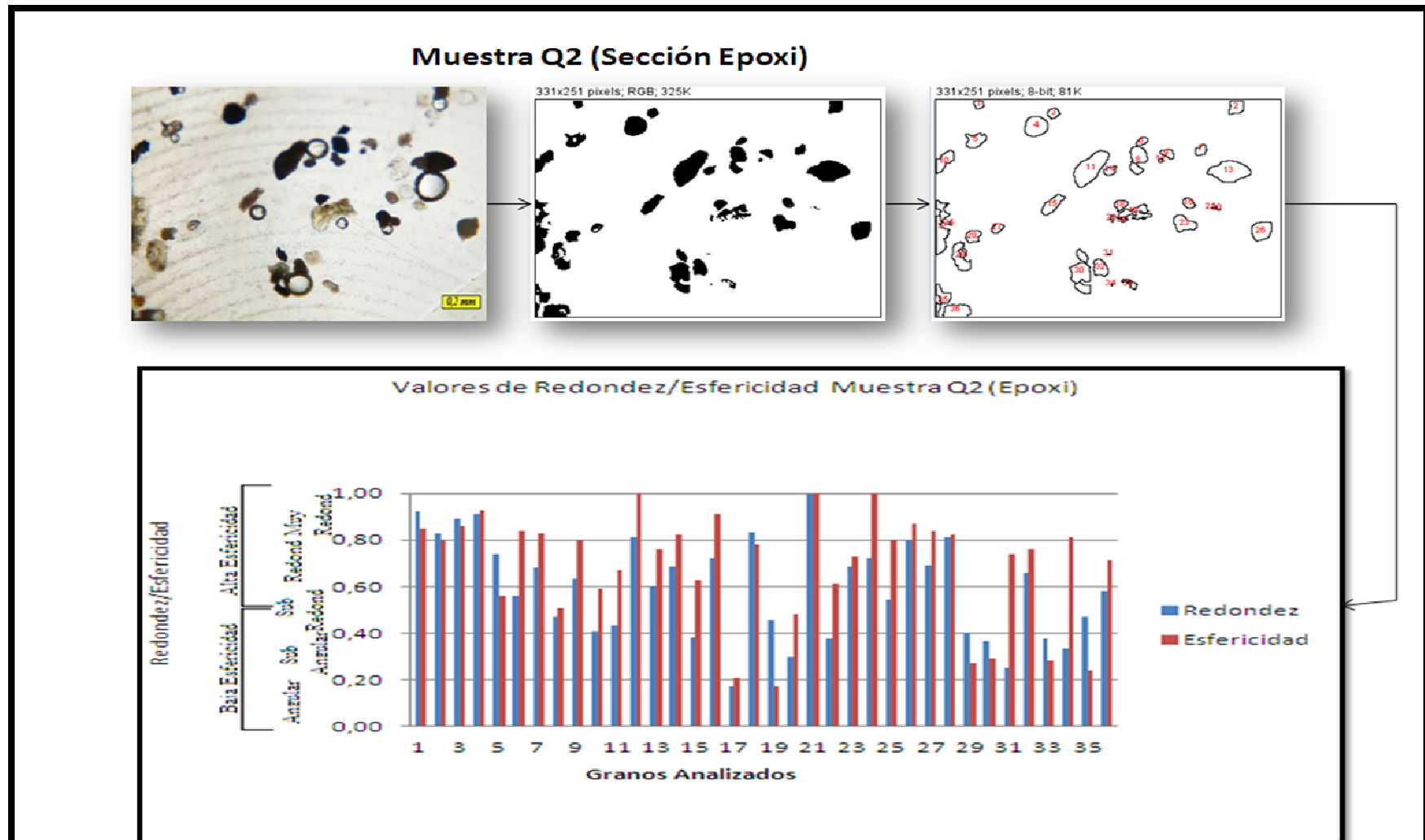
**Figura 87.**A) Tabla con valores de redondez y esfericidad para minerales oscuros (Q2),B) Diagrama de barras con los valores obtenidos C) Datos resultantes de redondez y esfericidad para minerales oscuros (Q2).

*Análisis Morfotextural de los Minerales Pesados presentes en la muestra Q2*

Se procesaron 35 muestras de granos de los cuales se identificaron un número amplio de circones como ocurrió en la muestra anterior, a diferencia de la misma también se observa ampliamente una cantidad de minerales oscuros amorfos. Se pudo observar: frag de roca 2,8%, sillimanita 5,7%, rutilo 8,5%, qzo 8,5%, otros 17,5%, otros óxidos 28,5% y circón 28,5%. De aquí se pudo identificar que la abundancia del mineral accesorio circón es plena pero esos minerales oscuros que no presentan ninguna característica distinguible podrían ser muestras de minerales con alta cantidad de material férrico.



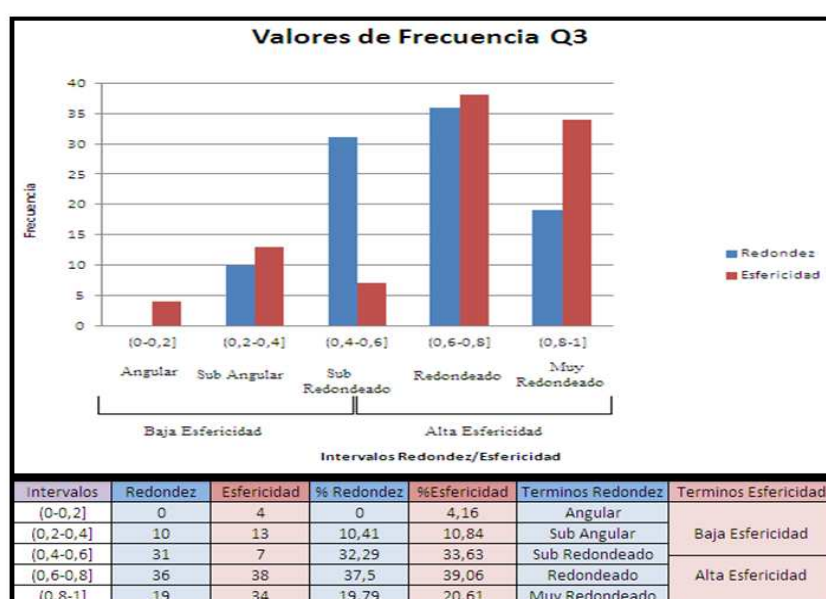
**Figura 88.** Sección fina de muestras de minerales a) muestra Q2-a, b) muestra Q2-b



**Figura 89.** Valores de Redondez y Esféricidad tomados de cada uno de los granos de la muestra Q2 en la sección Epóxica.

**4.8.3 ANÁLISIS DE LA MUESTRA Q3 (P3: N590312 W 622107)** . En una quebrada cercana a la base de la pared del Tepuy Padapué.

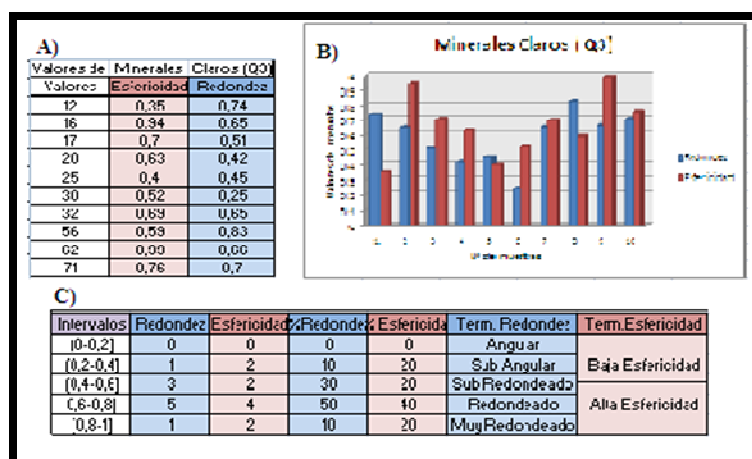
La muestra Q3 fue la que presentó mayor cantidad de minerales pesados, en la sección epóxica se realizó un muestreo general aproximado de 95 minerales en donde se destacó que la mayoría son minerales sub redondeados a redondeados y con alta esfericidad, mostrándose en mayor cantidad entre los intervalos (0,6-0,8], como se observa en la Figura 90.



**Figura 90.** Valores de frecuencia de la muestra Q3 de la sección epóxica.

#### *Minerales Claros (Q3)*

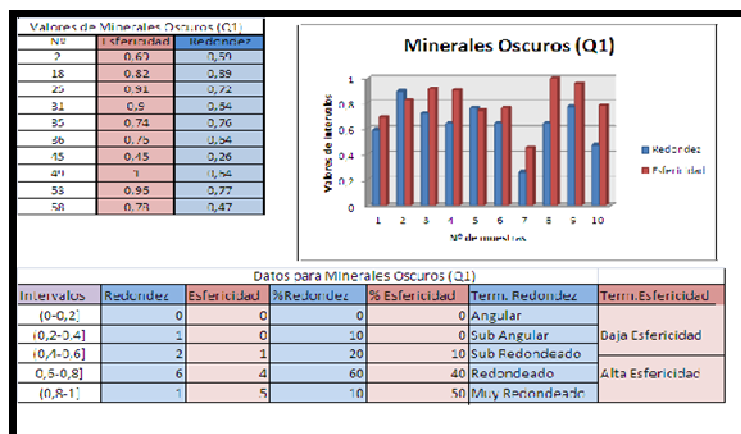
De la muestra Q3 se analizaron 10 minerales claros los cuales indican que los mismos presentan redondeamiento en sus aristas, encontrándose en el intervalo (0,6-0,8] y una alta esfericidad, en la figura 91 se muestran los resultados obtenidos, lo cual permite corroborar el resultado del muestreo total.



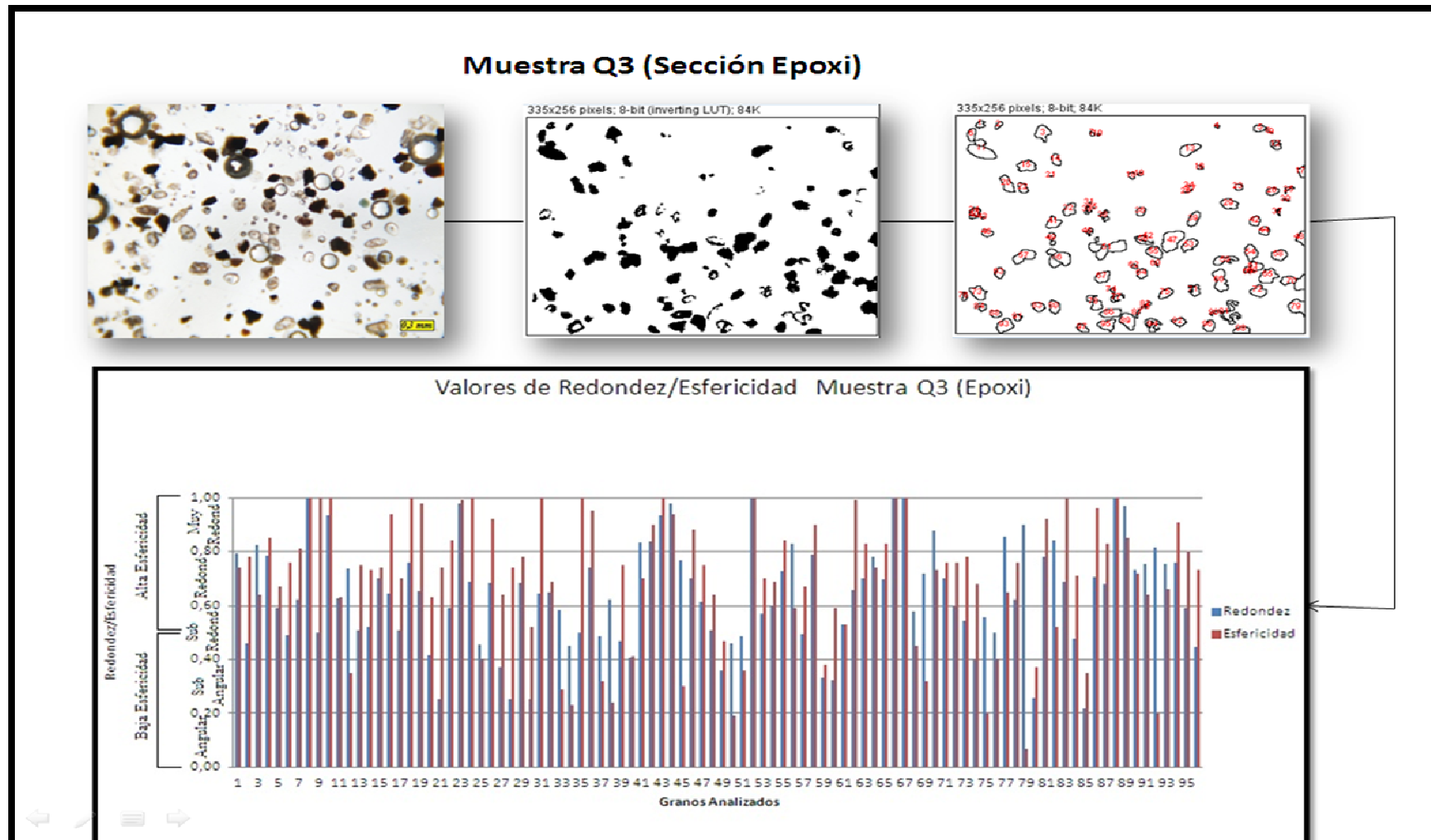
**Figura 91.** A) Tabla con valores de redondez y esfericidad para minerales claros(Q3),B) Diagrama de barras con los valores obtenidos C) Datos resultantes de redondez y esfericidad para minerales claros (Q3).

*Minerales Oscuros (Q3)*

Para estos minerales se pudo observar que los mismos presentan como Q2 una amplia cantidad de minerales oscuros, En Q3 se pueden observar como dichos minerales en su mayoría presentan caras planas, existiendo una concentración importante de los mismos, según el análisis evaluado para un conteo de 10 minerales oscuros se pudo observar que los mismos son redondeados encontrándose en el intervalo (0,6-0,8].



**Figura 92.** A) Tabla con valores de redondez y esfericidad para minerales oscuros(Q3),B)Diagrama de barras con los valores obtenidos C) Datos resultantes de redondez y esfericidad para minerales oscuros.

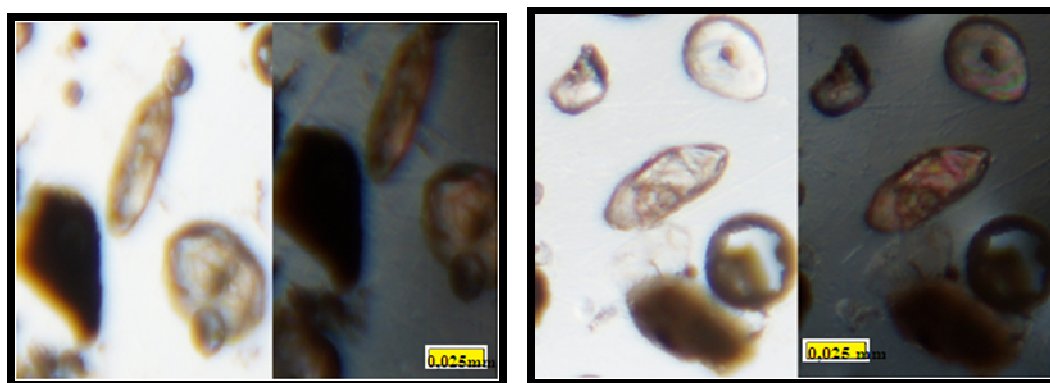


**Figura 93.** Valores de Redondez y Esfericidad tomados de cada uno de los granos de la muestra Q3 en la sección epóxica.



*Análisis Morfotextural de los Minerales presentes en la muestra Q3*

Se procesaron aproximadamente 95 partículas, de los cuales se identificaron mayormente circones también se observaron cantidades de minerales oscuros. Del muestreo se determinó que: frag de roca 1,05%, qzo 2,10%, sillimanita, 21%, rutilo 4,21%, otros 7,21%, otros 7,21% y circones en un 42,1%. Los análisis realizados permitieron identificar que de las muestras Q1 a Q3 ha habido una continuidad de los granos de circones y mayor incremento de minerales oscuros lo que puede indicar que se tenga un terreno de procedencia distinta y variaciones de material parental en Q2 y Q3 de Q1, se tendrán que realizar estudios más a fondo como dataciones para llegar a obtener datos precisos de procedencia.



**Figura 94.** Sección fina de minerales pesados a) muestra Q3-a, b) muestra Q3-b.

**Tabla 15** Minerales que componen las muestras Q1, Q2 y Q3.

Muestra	Cantidad granos	Circón % granos	Rutilo % granos	Sillimanita % granos	Cuarzo % granos	Frag.Roca % granos	Moscovita % granos	Otros Óxidos % granos	Otros % granos
Q1	61	31 50,8%	4 6,5%	3 4,9%	3 4,9%	2 3,2%	1 1,6%	15 24,5%	2 3,2%
Q2	35	10 28,5%	3 8,5%	2 5,7%	3 8,5%	1 2,8%	-	10 28,5%	6 17,5%
Q3	95	40 42,1%	4 4,21%	4 4,21%	2 2,10%	1 1,05%	-	37 38,94%	7 7,21%

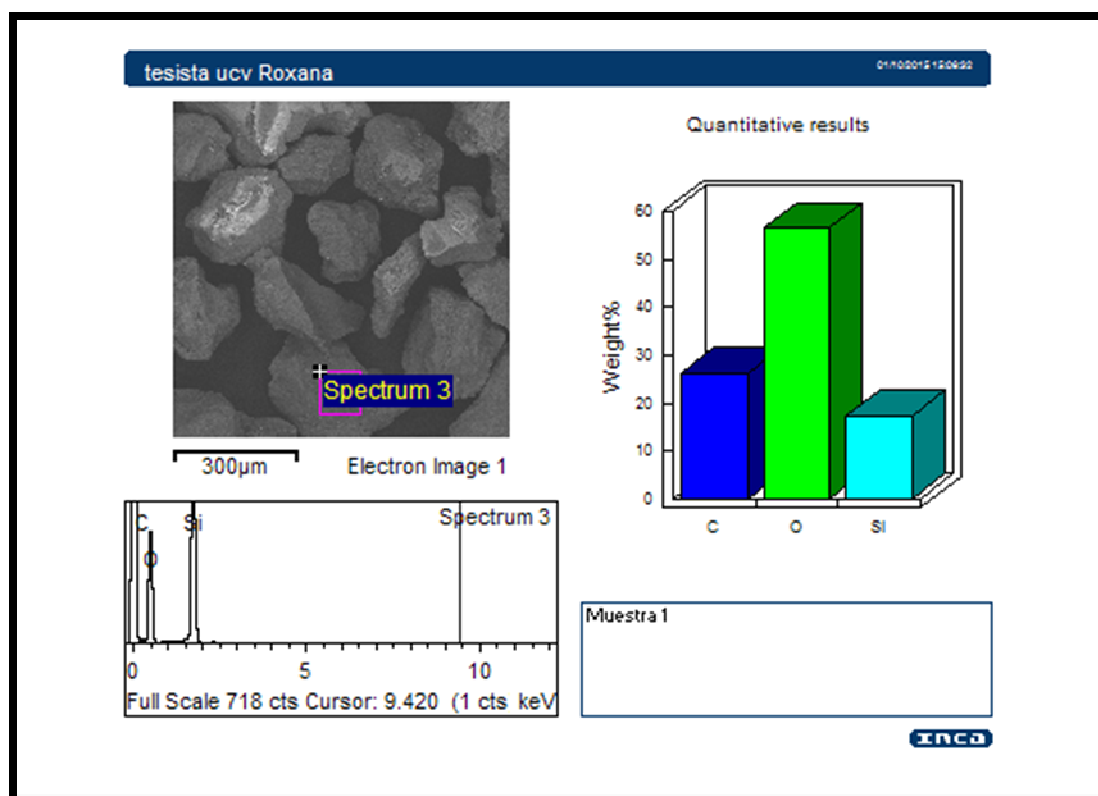
#### 4.9 CARACTERIZACIÓN TEXTURAL DE MINERALES PESADOS MEDIANTE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)

Se realizó un análisis representativo de 6 minerales, 2 para cada zona con el propósito de identificar y corroborar los resultados obtenidos del análisis visual de granos mediante microscopía.

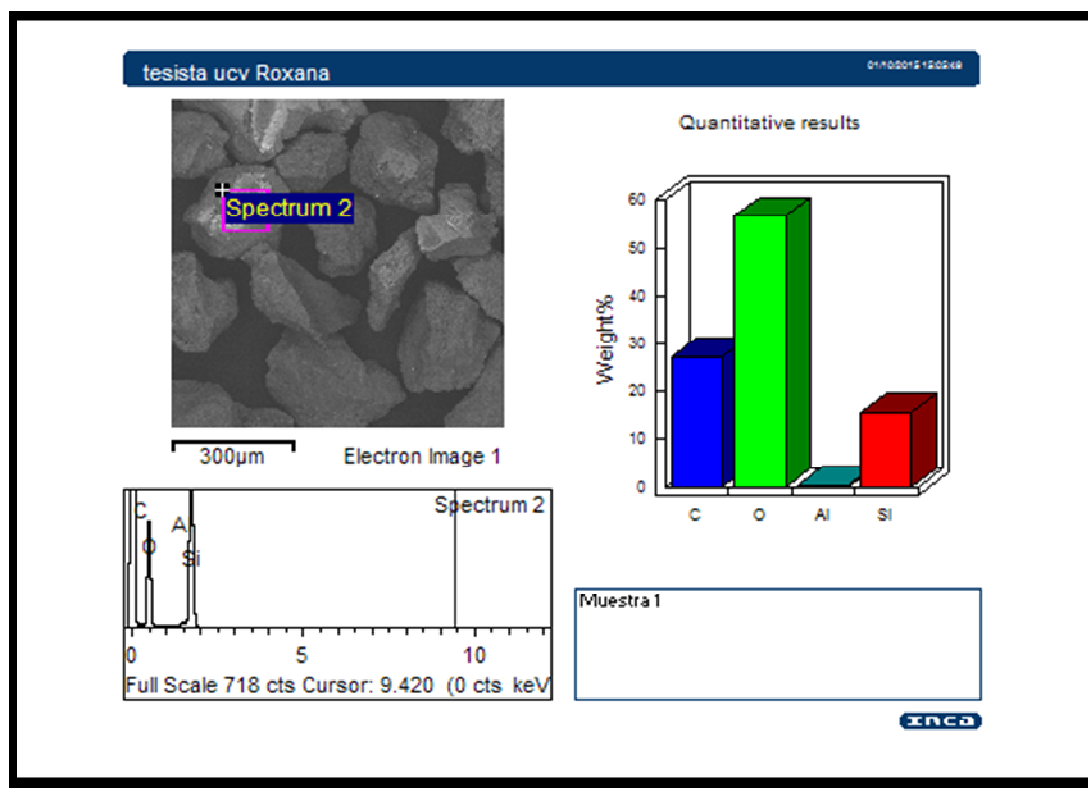
La microscopía electrónica de barrido permite discriminar los elementos químicos que componen un mineral para así identificarlo con la mayor exactitud posible.

Las dos muestras analizadas mediante microscopía corresponde a la zona Q1, en la figura Q1-a se pueden identificar granos sub angulosos a sub redondeados, con aristas retrabajadas, en cuanto a los elementos químicos encontrados en el grano Q1-a se encuentra: el oxígeno con una concentración de un 55%, el Sílice aproximadamente un 25% y C un 20%, el elemento de carbono posiblemente puede ser resultado del material grafitoso utilizado para sujetar las secciones montadas, lo cual indica que el grano observado es un mineral de Sílice.

Q1-a)



Q1-b)



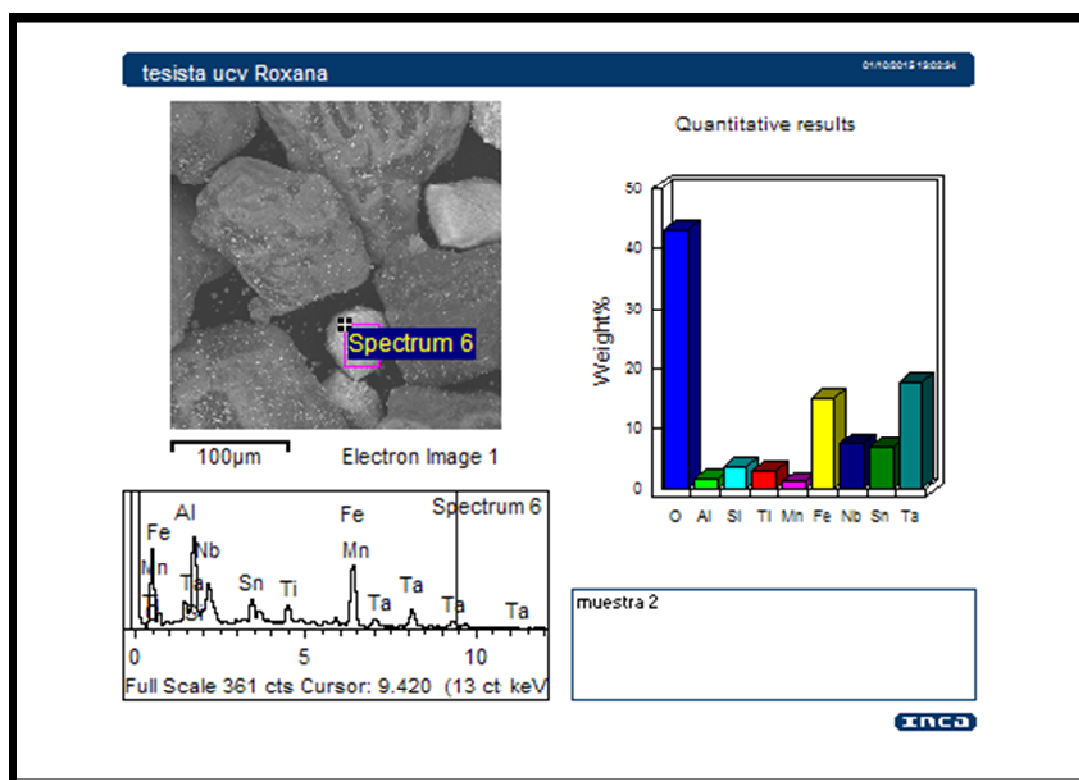
**Figura 95.** Muestras Q1a y Q1b, representan granos analizados mediante MEB.

Para la muestra Q1-b se puede observar una composición química de un 60% de O, un 15% de Si (sílice), un 23% de C y un porcentaje muy bajo de Aluminio, representando aproximadamente un 2%, correspondiendo a un aluminosilicato, el aluminio junto con el sílice es el componente más importante para la constitución de las arcillas, sin embargo la proporción de aluminio que se presenta en la muestra es muy poca.

La muestra Q2-a se pueden observar granos sub angulosos a sub redondeados, pero a diferencia de las muestras anteriores esta presenta mayor cantidades disgregadas de pequeños granos, el grano procesado presenta alta concentración de O con un 43% aproximadamente, un Ta de 18% que corresponde a un elemento raro grisáceo denominado Tantalio, Sn de 6%, Al de 2%, Si de 4%, Ti un 3%, Mn en un 1%, Fe de 15% y un 8% de Nb. De acuerdo a la composición química mostrada y la abundancia de el elemento químico Tantalio que representa un alto porcentaje en la

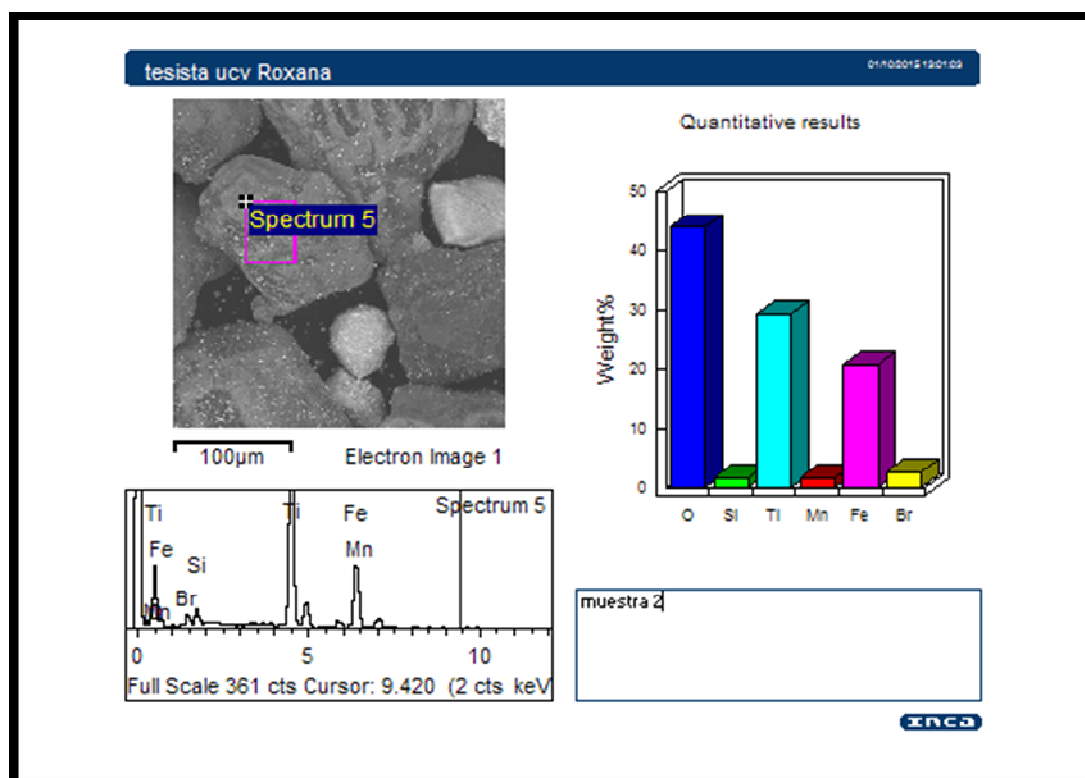
composición química del mineral, el tantalio forma parte de 7 minerales denominados (Betafita, Coltán, Euxenita, Samarskita, Simpsonita, Tantalita y Wodginita) de todos estos la Betafita, la Euxenita y Samarskita se excluyen puesto que en su composición se encuentran el U, Ca y Th no presentes en las muestras, la Simpsonita también se excluye por presentarse como Hidroxilado de Tantanio, entre los minerales posibles pueden ser el Coltan, La Tantalita y la Wodginita se necesitan hacer más pruebas para corroborar con exactitud el mineral presente.

Q2-a)



Para Q2-b se observa minerales sub-angulosos a sub redondeados con composición química predominante de Oxígeno con un 43%, el segundo más representativo corresponde el Ti con un 30%, el Si con 2%, el Mn con 2%, el Fe con un 20% y el Nb con un 3%, según la proporción química obtenida se puede considerar que el mineral puede ser illmenita o pseudobrookita, se necesitarían hacer más estudios a detalle para corroborar este resultado.

Q2-b)

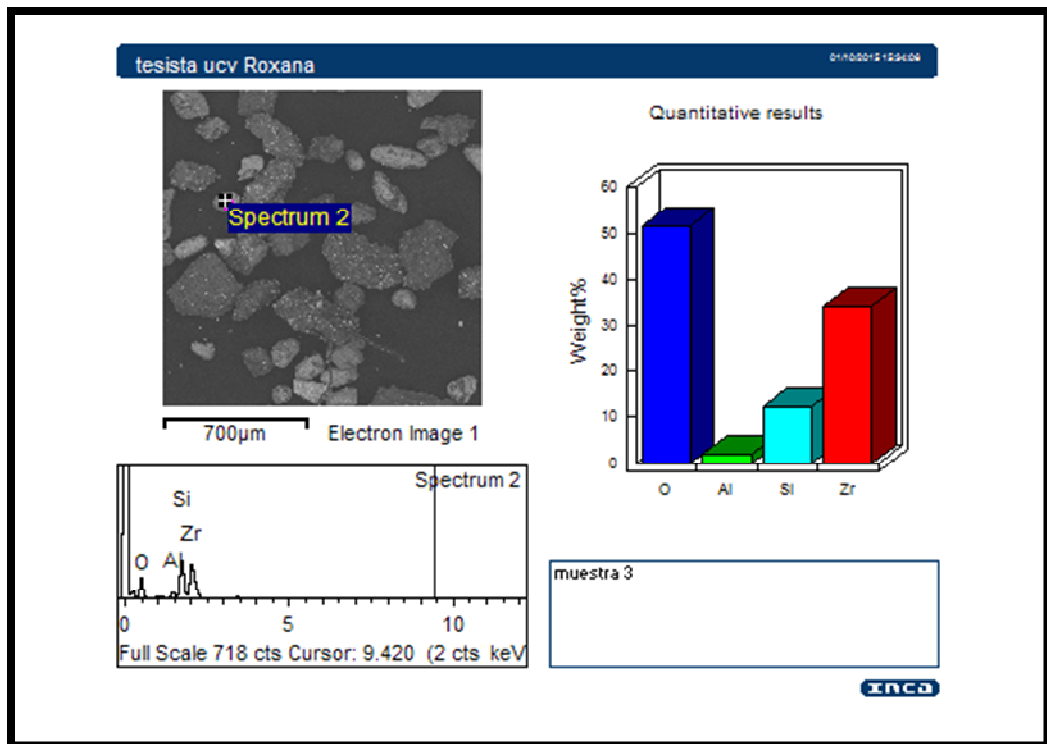


**Figura 96.** Muestras Q2a y Q2b, representan análisis de la composición mineralógica de granos mediante MEB.

Para Q3-a se pueden observar un composición química de un 52% de Oxígeno, de Al un 2%, de Sílice un 13% y de Zr un 33%, correspondiendo a un mineral de Circón.

En cuanto a la muestra Q3-b el grano observado presenta composición química de Oxígeno en un 55%, de Na en un 1%, de Al un 10%, de Si un 29%, para K a un 2% y un Fe en un porcentaje de 3%, se necesitan hacer mas estudios y análisis petrográficos en muestras en la zona para identificar con veracidad el nombre del mineral.

Q3-a)



Q3-b)

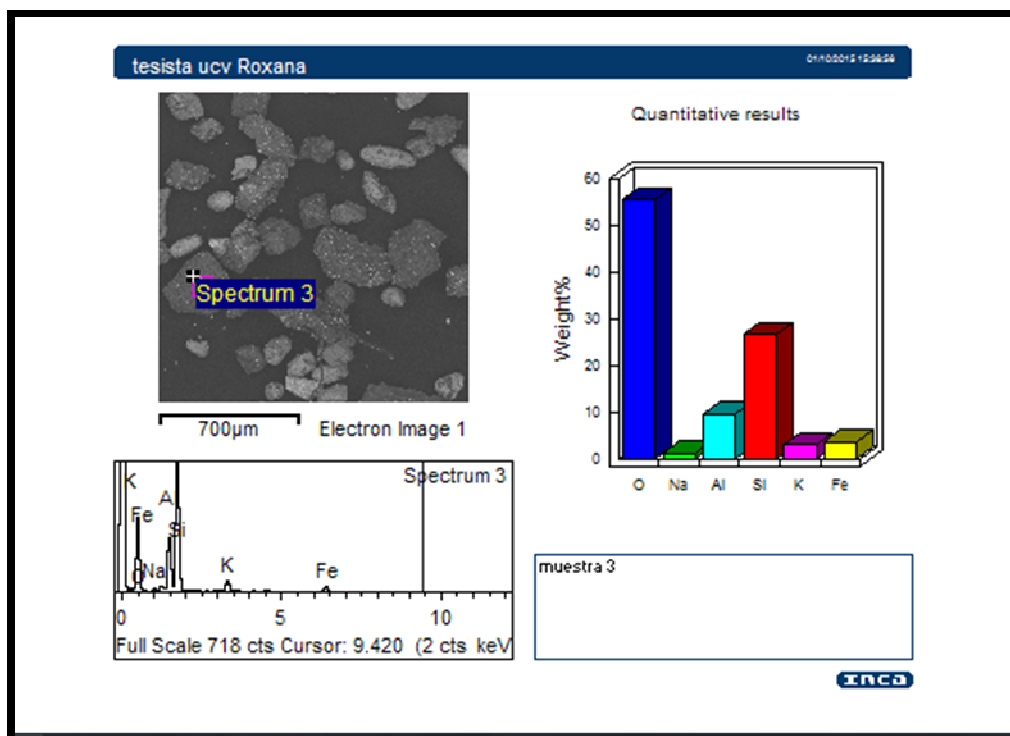


Figura 97. Muestras Q3a y Q3b de la composición mineralógica de granos mediante MEB.

## 4.10 ATRIBUTOS SECUNDARIOS

### 4.10.1 ÍNDICE DE HUMEDAD (WI) E ÍNDICE DE HUMEDAD CON PRECIPITACIÓN (WIP)

El índice de humedad denota todos aquellos sectores en donde el factor humedad se acumula en la zona, este valor es adimensional y se obtiene al evaluar el logaritmo Neperiano del valor del área del drenaje ( $A_s$ ) entre la tangente de los valores de pendiente en grados (S) y con ellos obtener la expresión  $WI = \ln(A/\tan(S))$ , estos resultados se determinan directamente como índice de humedad e índice de humedad con precipitación, cuando los valores del área de drenaje van evaluados en función de la precipitación. A continuación en la Figura 100a y 100b, se puede observar que el sector con mayor índice de humedad se mantiene en la zona de tepuyes (zonas altas) que van entre 800 a 1650, a diferencia de las cuencas en donde los índices de humedad exhiben menores resultados, sin embargo, es importante destacar que la cuenca Akanán presenta mínimos muy por debajo del rango de los índices de humedad de las zonas tepuyanas evaluadas, lo cual se presume que esto puede ser producto de la litología allí presente, o posiblemente al basculamiento general que presenta esa zona.

El Índice de Humedad con Precipitación (WIP) presenta valores un poco más altos en toda la zona, con resultados que oscilan entre 1290 a 2600 e igualmente se puede observar la misma tendencia anterior en donde las zonas elevadas presentan mayor índice de humedad (véase Figura 100b).

Es interesante observar como en los tepuyes T2 y T4 los índices de humedad se hace mayores lo cual puede ser indicativo de litología o zonas que se han visto poco afectadas estructuralmente, sin embargo se necesitan investigaciones con mayor detalle para esta área. A continuación, se presentan las figuras 98 y 99 con los diagramas de barras de de índice de humedad con precipitación y sin precipitación en la zona de estudio.

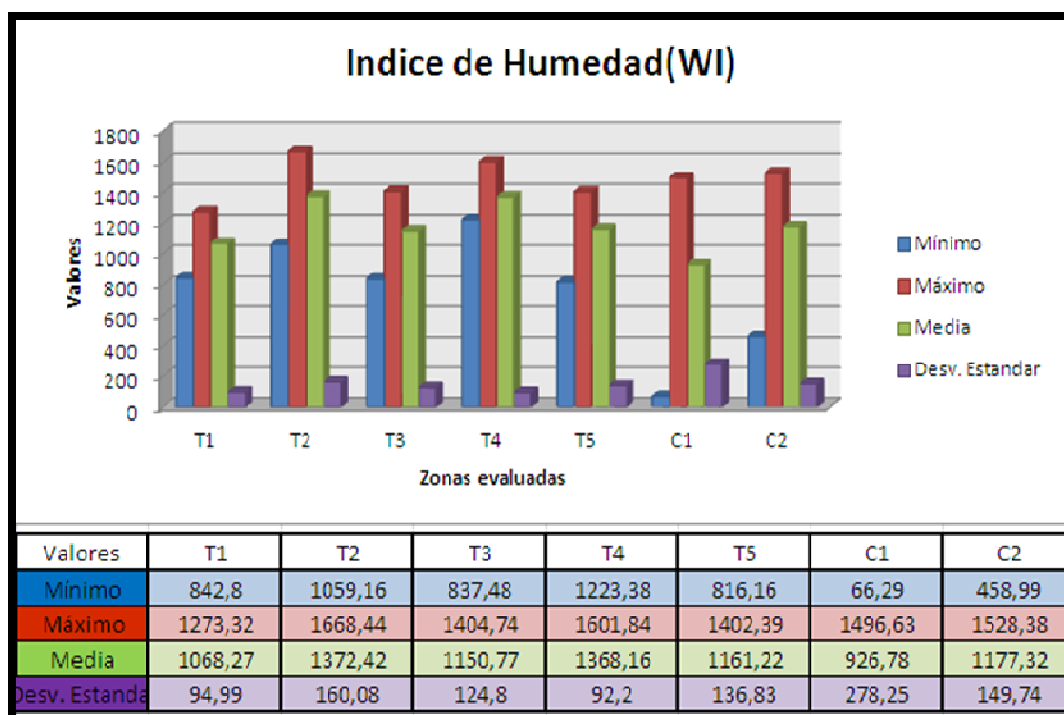


Figura 98. Valores de índice de humedad de la zona de estudio.

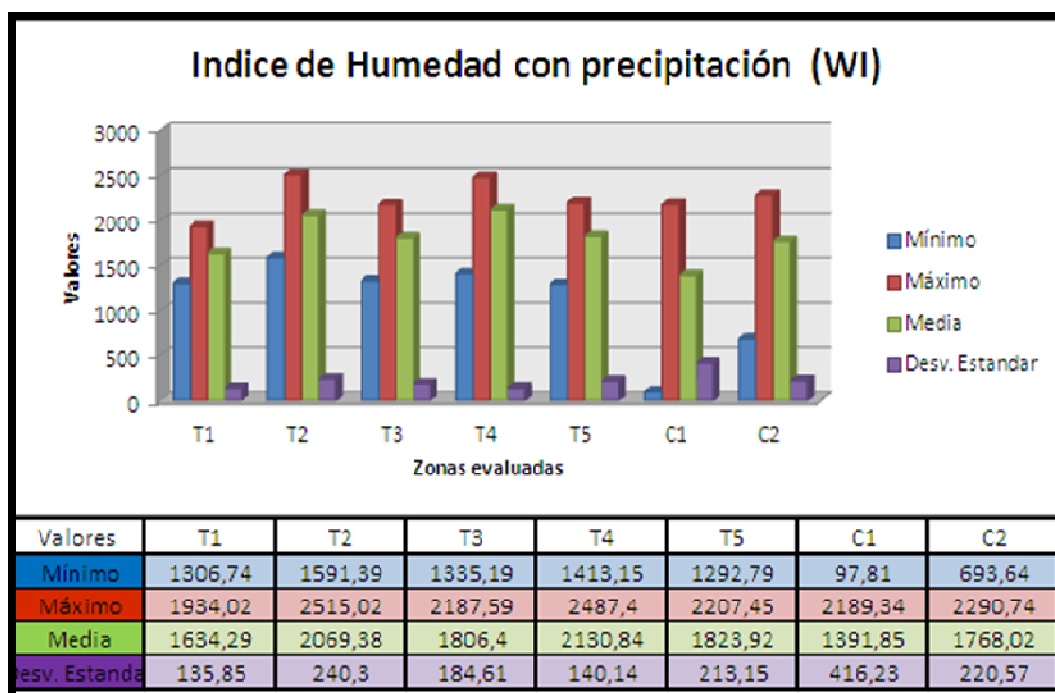
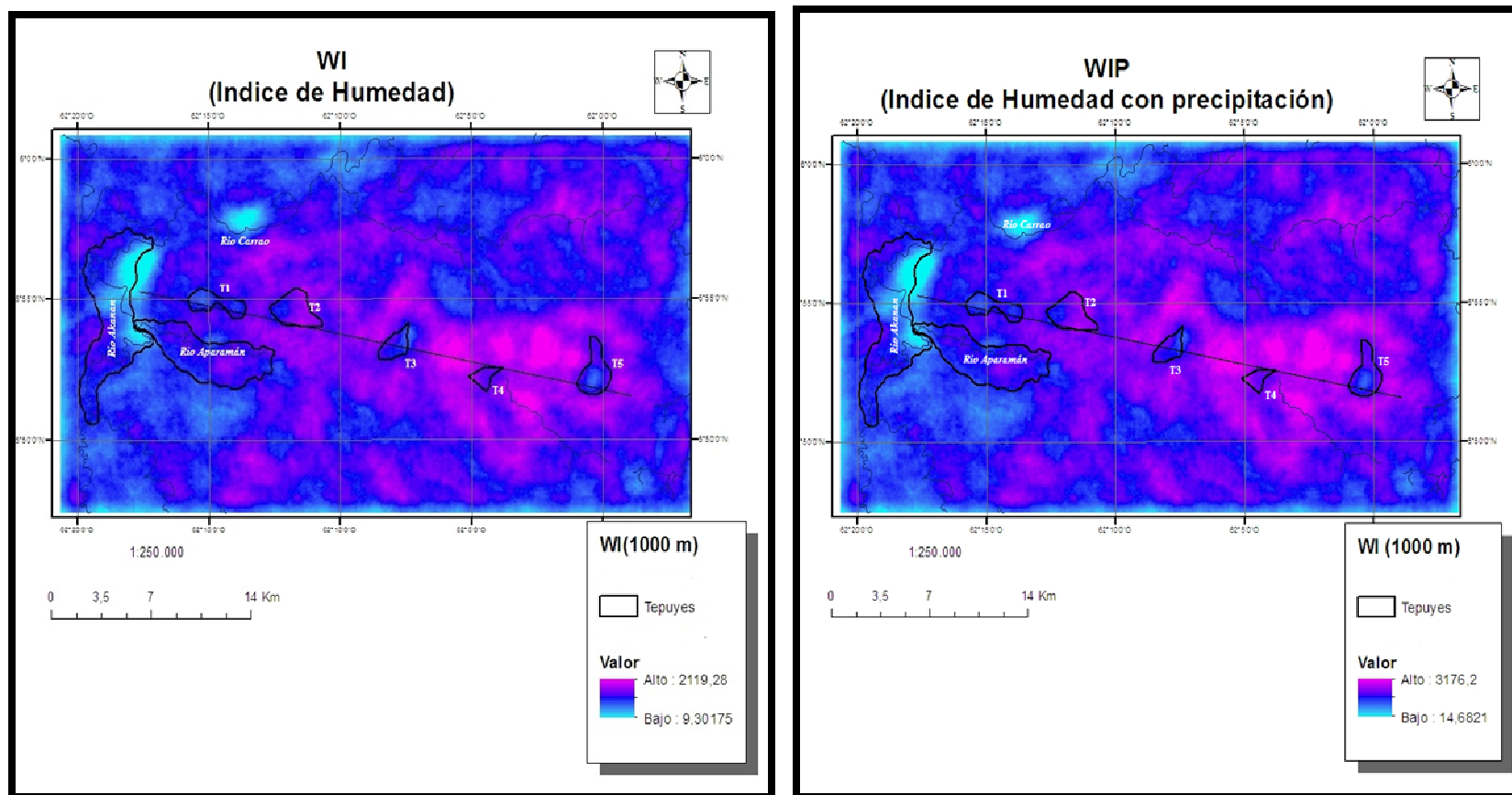


Figura 99. Valores de índice de humedad de precipitación de la zona de estudio.





**Figura 100.** a) Índice de Humedad (WI) en la zona de estudio, b) Índice de Humedad con precipitación en la zona de estudio.

#### 4.10.2 CAPACIDAD DE TRASPORTE DE SEDIMENTOS (STI) Y CAPACIDAD DE TRASPORTE DE SEDIMENTOS CON PRECIPITACIÓN (STIP)

La capacidad de transporte de sedimentos permite determinar cuanta cantidad de material suelto puede ser transportado, es adimensional y al igual que los casos anteriores fueron determinadas con precipitación y sin precipitación.

Es dada mediante la siguiente expresión:

$$STI= 2(A/22,13)*(\text{sen}(S)/0,0896)$$

Donde A corresponde al área del drenaje y S corresponde a la pendiente en grados, los valores obtenidos de capacidad de transporte de sedimento con precipitación son mayores que los de capacidad de transporte de sedimentos, lo que indica que los efectos de la precipitación influyen de gran manera en el flujo de todo este material desde las zonas más elevadas a las zonas más bajas. Los valores de STI determinan que las cuencas presentan mayor capacidad de transporte de sedimentos, esto puede ser producto de la abundancia de tributarios en la cuenca, cabe destacar que la cuenca Aparamán presenta indudablemente la mayor capacidad de transporte de sedimentos, por su parte las zonas de los tepuyes presentan una tendencia similar de transporte de material suelto.

En cuanto a la capacidad de flujo de sedimentos con precipitación variable (STIP) se observa la incidencia de valores de precipitación en la zona, los resultados numéricos obtenidos de las cuencas presentan gran capacidad de transporte del material y se observa que la cuenca Aparamán exhibe también la mayor capacidad de flujo de sedimento con precipitación, cabe destacar que las zonas de tepuyes presentan similitud pero el T5 indica un mayor STIP, lo cual puede ser producto de los elementos estructurales como fallas y fracturas que afectan gran parte de esta zona. A continuación en la Figura 102, se muestran los valores obtenidos para cada una de las zonas evaluadas conjuntamente con sus respectivos mapas.

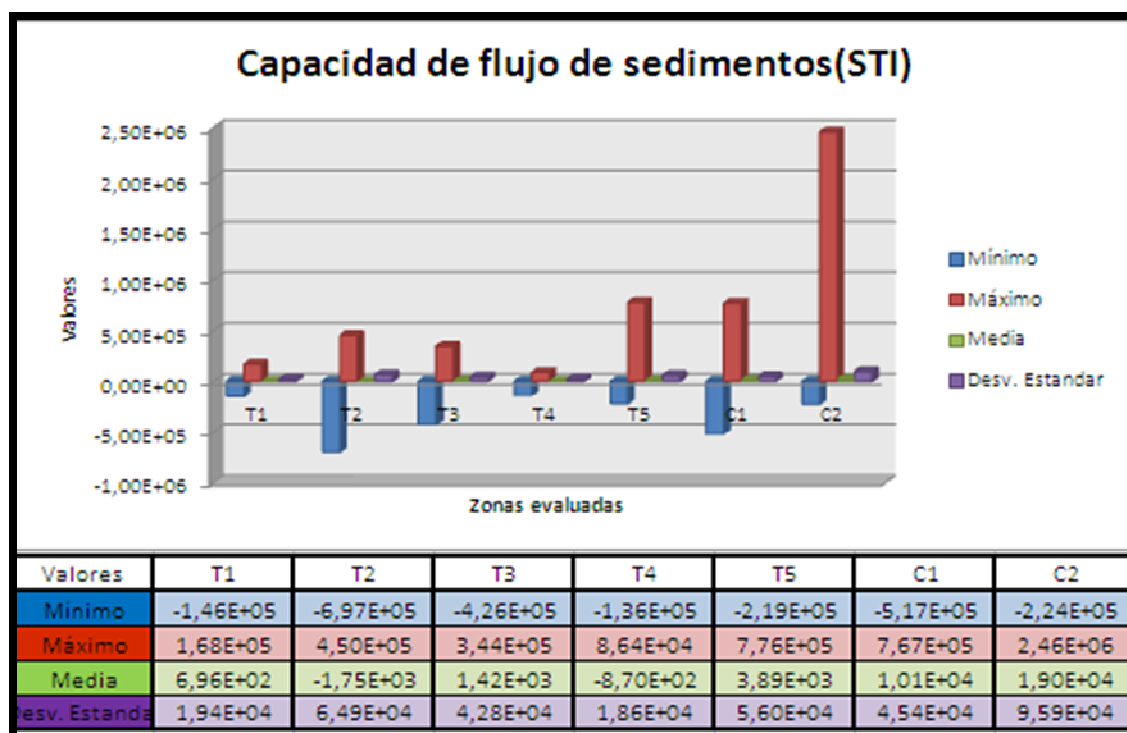


Figura 101. Valores de Capacidad de transporte de sedimento de la zona de estudio.

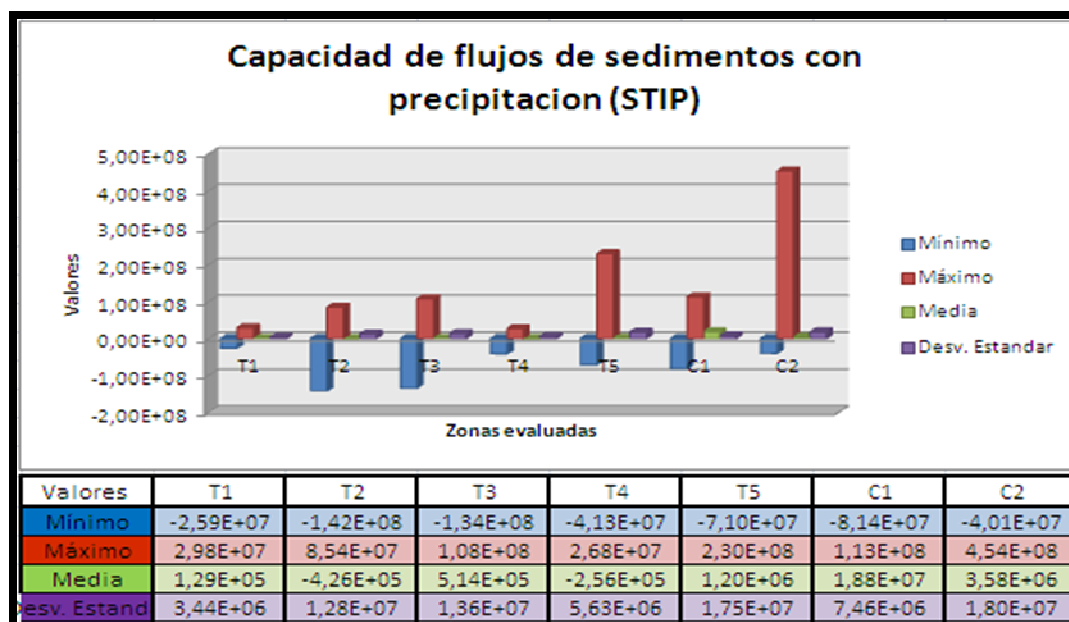
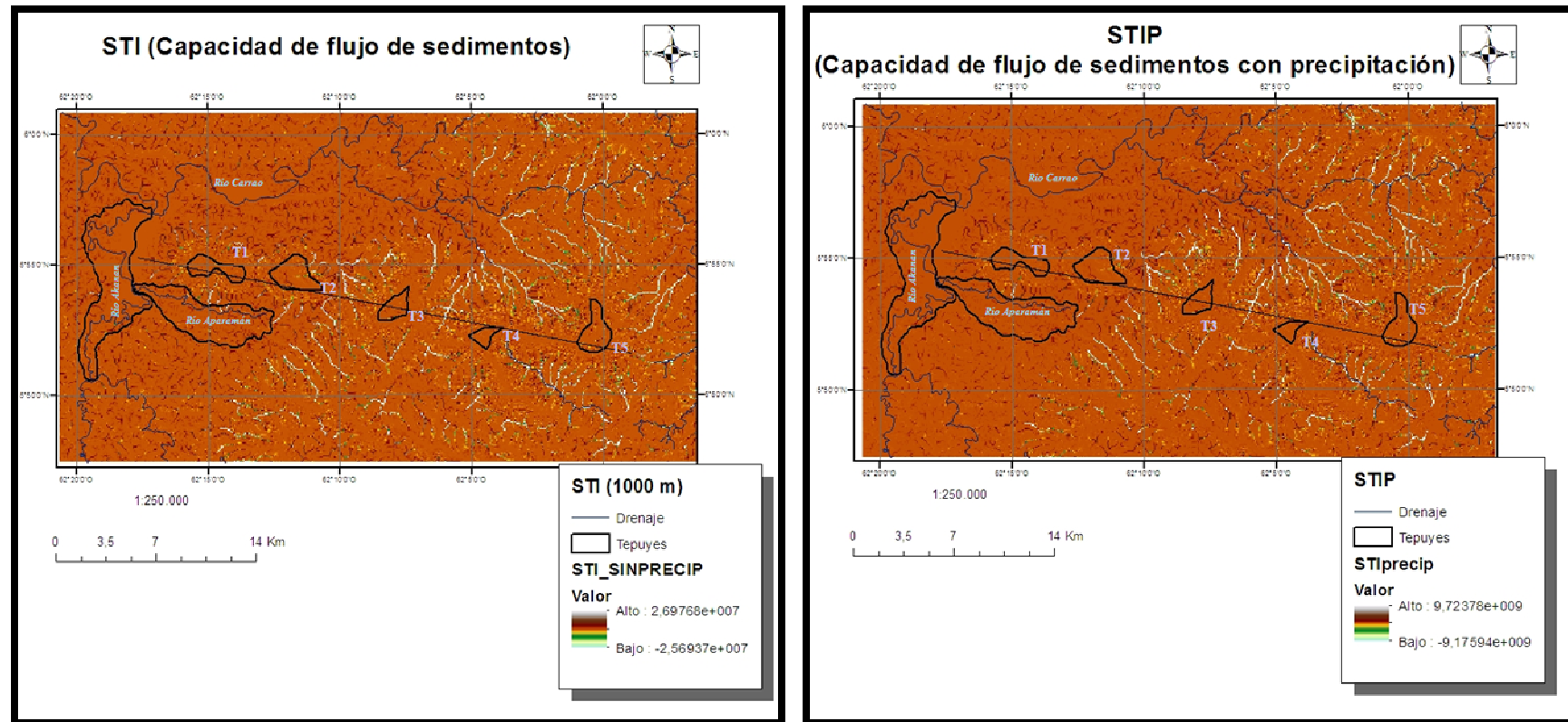


Figura 102. Valores de Capacidad de transporte de sedimentos de precipitación de la zona de estudio.

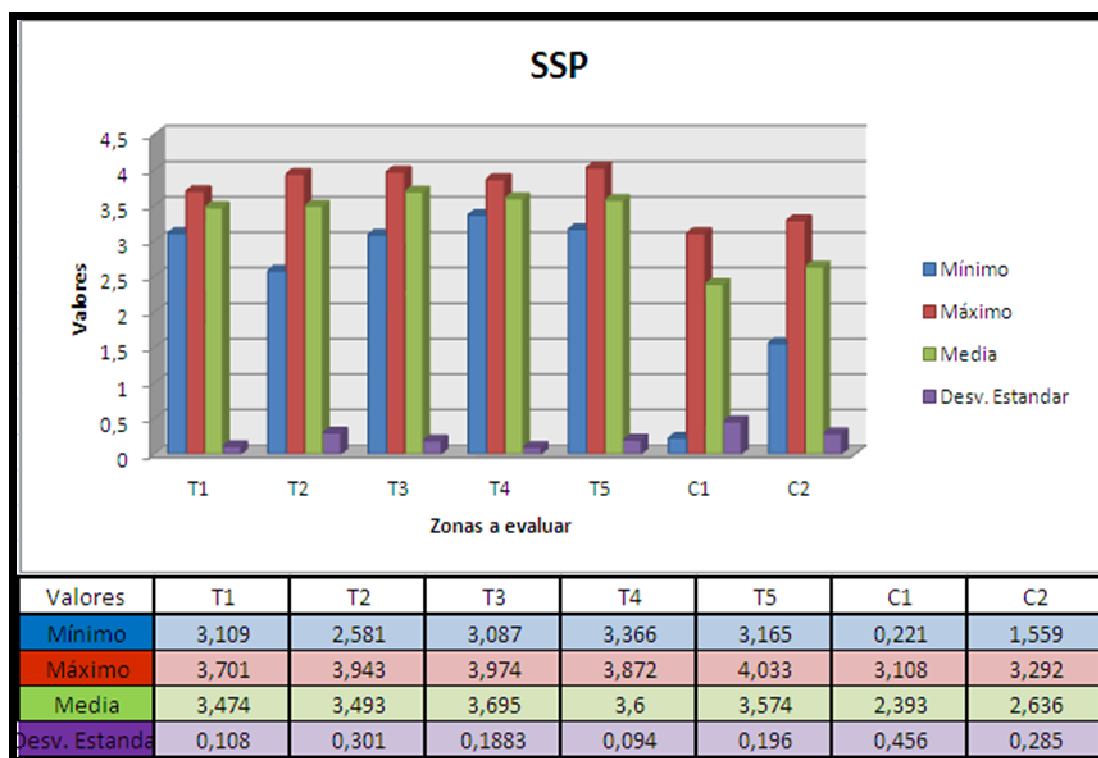


**Figura 103.a)** Capacidad de flujo de sedimento (STI) en la zona de estudio, b) Capacidad de flujo de sedimentos con precipitación (STIP) en la zona de estudio.

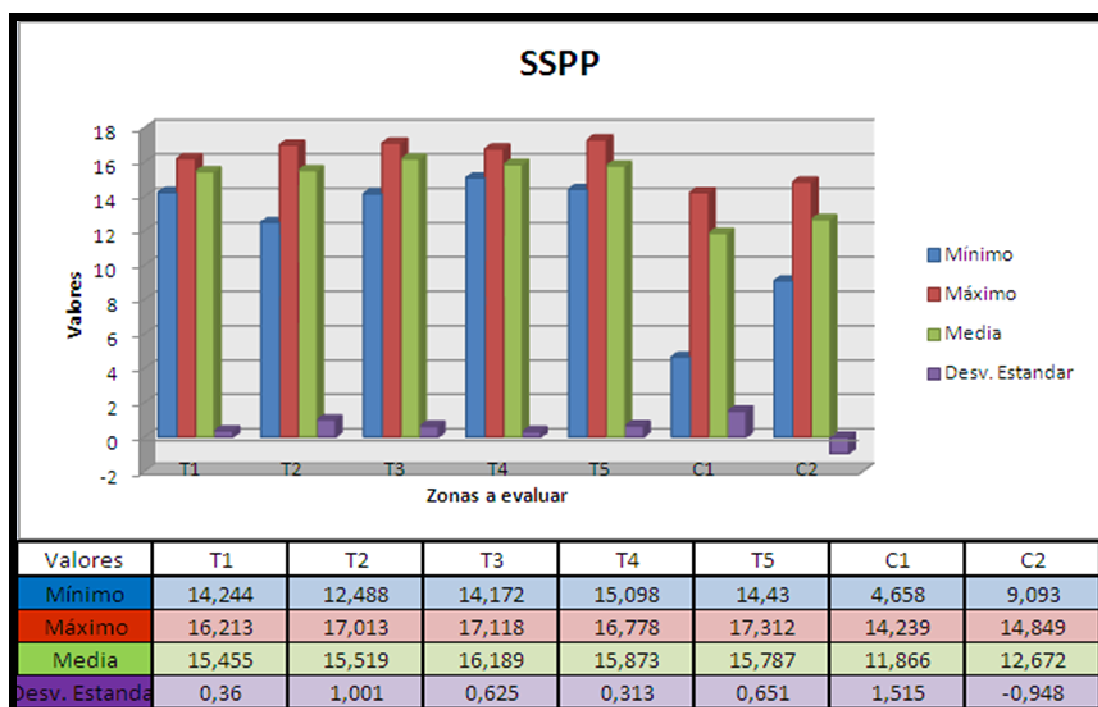
#### **4.10.3 PODER DEL FLUJO DE CIZALLA (SSP) Y PODER DEL FLUJO DE CIZALLA CON PRECIPITACIÓN (SSPP)**

Representa uno de los índices de erosión y que indican la potencia de los efectos de cizalla mediante cortes fluviales que forman parte de los procesos erosivos en el área, cabe destacar que la zona por tener grandes aportes hídricos (redes de drenajes, precipitación, escorrentía entre otros) se ve altamente influenciada por los efectos rasantes que produce la cizalla, en el diagrama de barras presentado en la figura 105 se puede ver que los efectos de SSP son semejantes en toda la zona de tepuyes y con una media que oscila entre un rango aproximado de 3,4 a 3,6 por su parte las zonas de menor altitud como las cuencas presentan menores efectos de cizallamiento con medias que van de 2,3 a 2,7. En la figura 106a se muestra el mapa con los valores de flujo de cizalla normalizados, se puede distinguir 4 zonas de erosión en donde los mayores efectos del SSP se encuentran en los tepuyes con mayores altitudes en el cuadrante sureste del sector, en el noroeste se observa menor SSP siendo las zonas de menor efecto de cizallas aquella en donde se distinguen visiblemente rocas grandes extensiones de rocas intrusivas expuestas.

Para los valores obtenidos por efectos de cizalla con precipitación variable SSPP, se puede observar que éstos son considerablemente mayores con respecto a los resultados anteriores de SSP, los valores de SSPP oscilan en una media de 15,45 a 16,20 en el mapa se pueden observar como las zonas de tepuyes presentan similitudes con respecto a los efectos de cizalla con precipitación, por su parte las cuencas arrojan datos indicativos de menor efecto de cizalla en esas zonas. La figura 106b muestra 4 superficies de erosión pero a diferencia de la figura 106a, se observa como incide la precipitación para lograr áreas con mayor erosión.

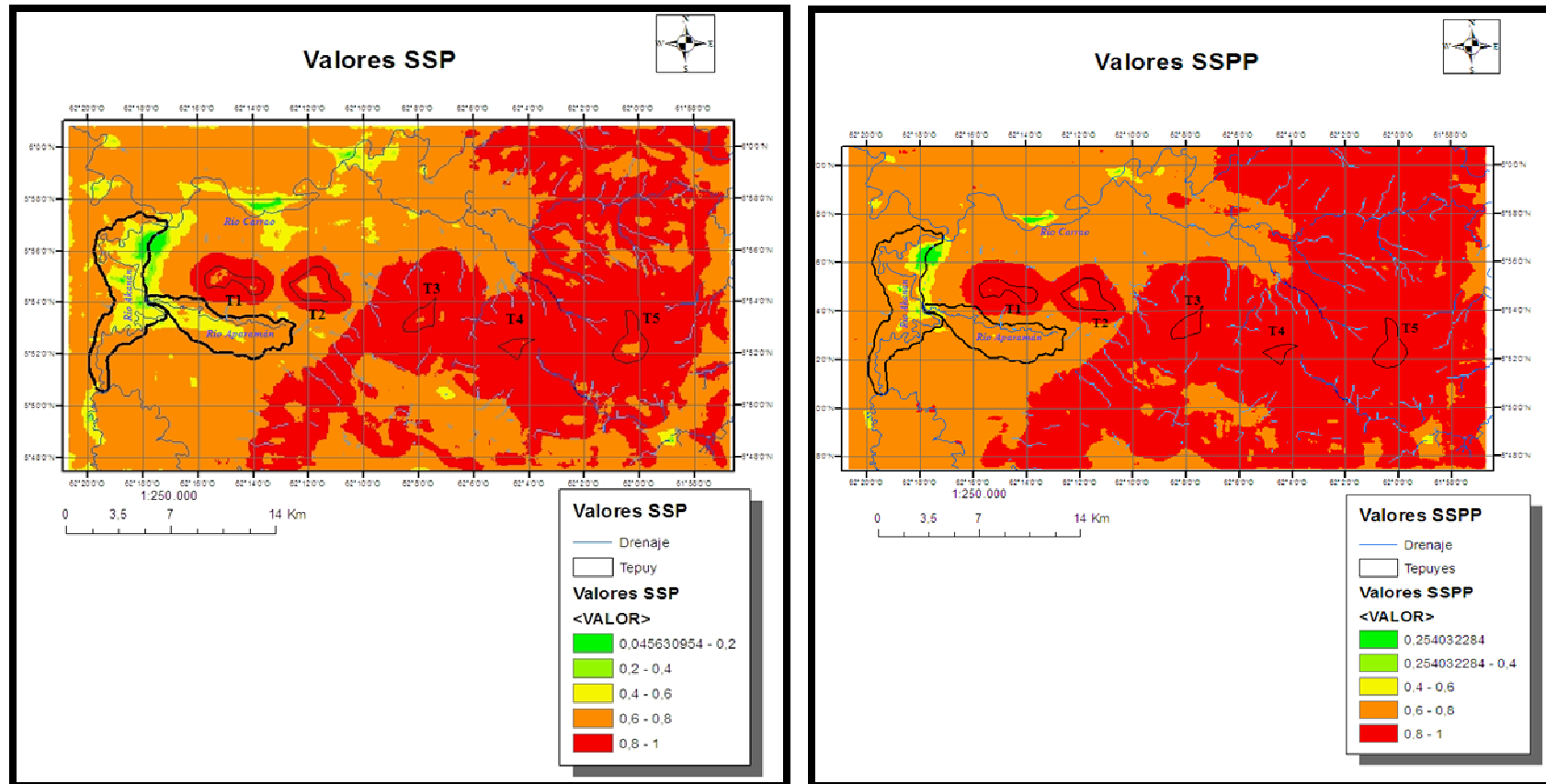


**Figura 104.**Valores de poder de flujo de cizalla (SSP) de la zona de estudio.



**Figura 105.**Valores de poder de flujo de cizalla con precipitación (SSPP) de la zona de estudio.

## Valores SSP y SSPP



**Figura 106.a)** Valores de Poder de flujo de cizalla (SSP) en la zona de estudio, b) Poder de flujo de cizalla con precipitación (SSPP) en la zona de estudio.



#### **4.10.4 PODER DEL FLUJO UNITARIO (USP) Y PODER DEL FLUJO UNITARIO CON PRECIPITACIÓN (USPP)**

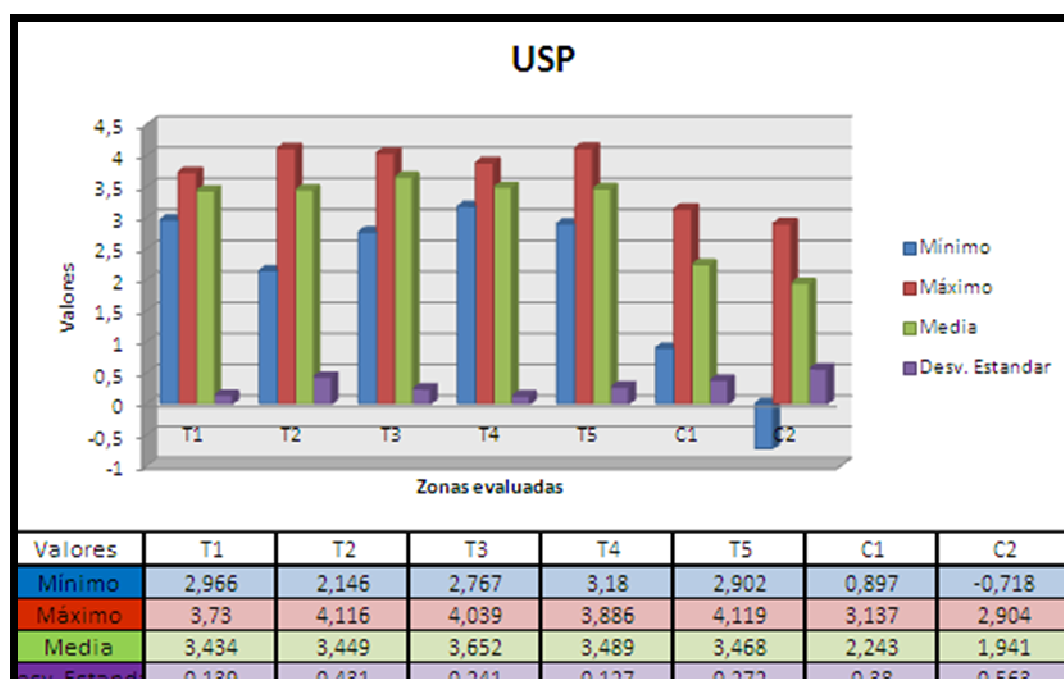
El poder de flujo unitario corresponde a la tasa temporal de gasto de energía potencial por el peso de la unidad del agua mostrando así los factores dominantes en la determinación de la concentración total de sedimento. Es dado en unidades de energía (vatios) por metro (W/m).

En la Figura 107 se muestra la incidencia del USP en la zona de estudio indicando que los sectores tepuyanos presentan una tendencia similar entre ellos con valores que oscilan entre 3,45 a 3,65, por su parte las zonas de cuencas presentan valores menores, pero en particular el valor mínimo se obtiene en la cuenca Aparamán, la cual registra valores negativos, indicando poca afectación del poder de flujo unitario. En la figura 109a se observan 5 superficies de erosión indicando los valores mayores de erosión en la zona sureste, la zona noroeste presenta valores con efectos de USP menores.

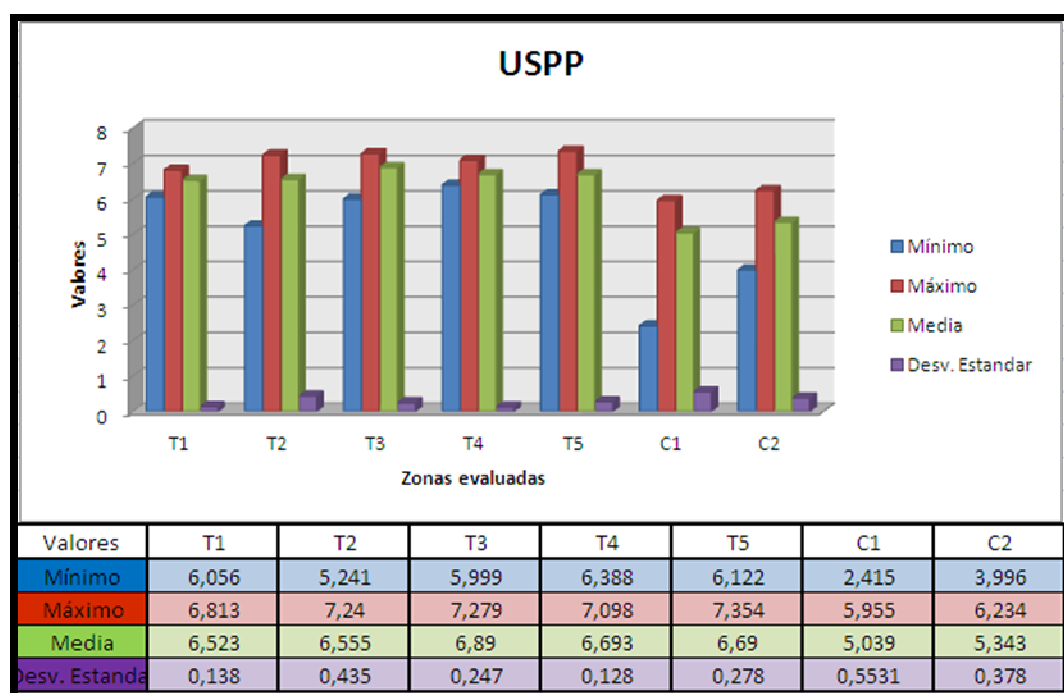
Para el USPP se observa la similitud en cuanto a los efectos de desgaste pero con valores mayores. El mapa obtenido registra valores normalizados en 3 superficies de erosión a diferencia de los valores USP, la precipitación ha permitido que los efectos del poder de flujo unitario incidan en mayor proporción en toda la zona de estudio.

A continuación, se muestra las figuras 109a y 109b los valores obtenidos para el USP y USPP para el área de estudio.



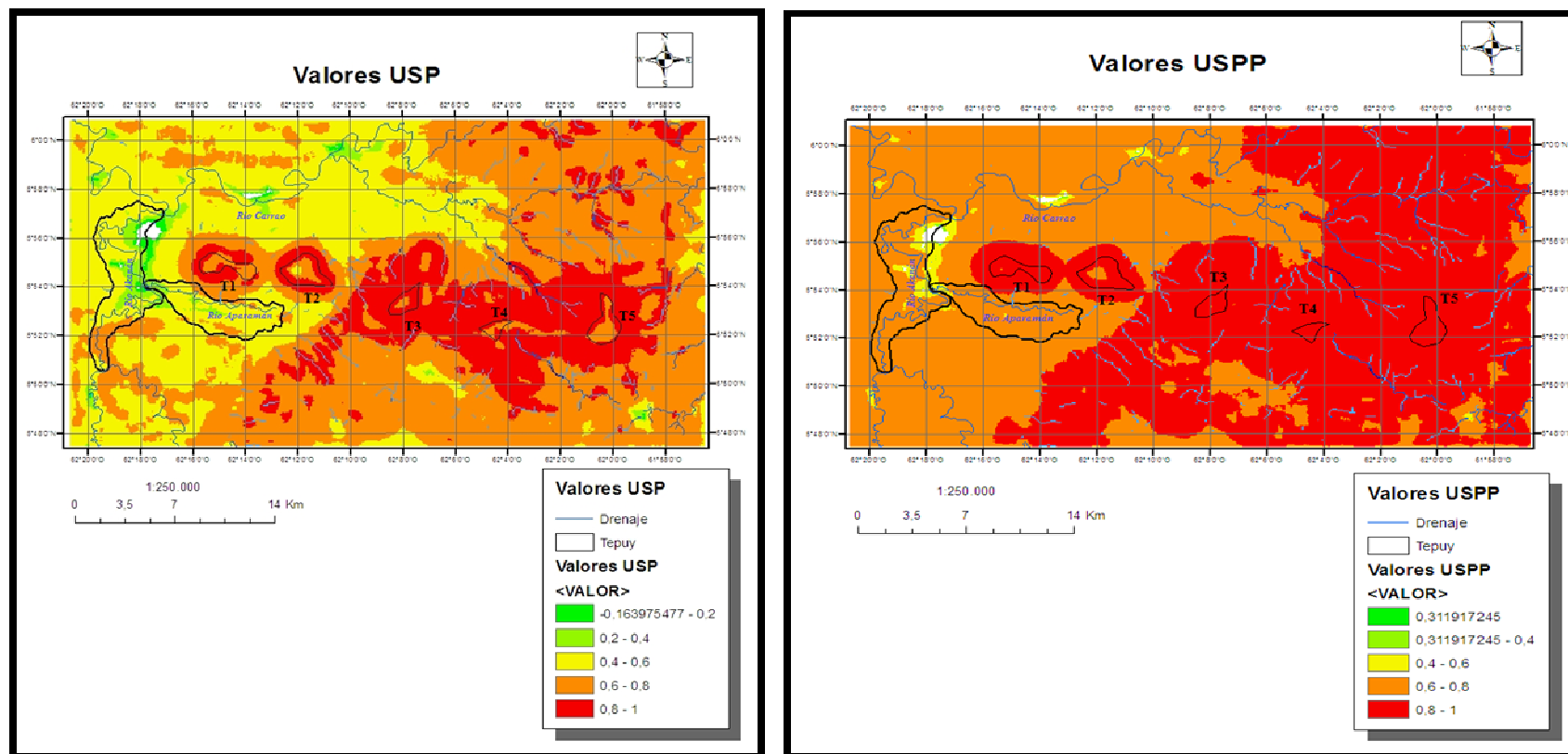


**Figura 107.** Valores de poder de flujo Unitario (USP) de la zona de estudio.



**Figura 108.** Valores de poder de flujo Unitario con precipitación (USPP) de la zona de estudio.

## Valores USP y USPP



**Figura 109.** a) Valores de Poder de flujo Unitario (USP) en la zona de estudio, b) Poder de flujo Unitario con precipitación (USPP) en la zona de estudio.

#### **4.10.5 PODER DEL FLUJO TOTAL (TSP) Y PODER DEL FLUJO TOTAL CON PRECIPITACIÓN (TSPP)**

El poder total de flujo permite determinar la incidencia del poder total y es dada por unidades de vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). De igual manera la tasa de TSP es prácticamente similar a las zonas de tepuyes pero varía en las zonas de cuencas en donde los valores son menores, para la cuenca Akanán el mínimo arroja valores negativos indicando menor tasa de incidencia por parte de los efectos producidos por el TSP, la figura 112a muestra las zonas que se han visto más afectadas por este efecto, se encuentran 5 superficies de desgaste indicando que la zona más alta (zonas de tepuyes) presenta mayor efecto de erosión y contrario a esto la zonas más cercana a las masas rocosas expuestas son las menos afectadas.

Por su parte el poder de flujo total con precipitación arroja valores más altos de 9,80 a 10,5  $W/m^2$  indicando también la influencia que tiene el poder de desgaste de la precipitación en la zona en donde se exponen 3 zonas de erosión (Véase figuras 112 a y b)

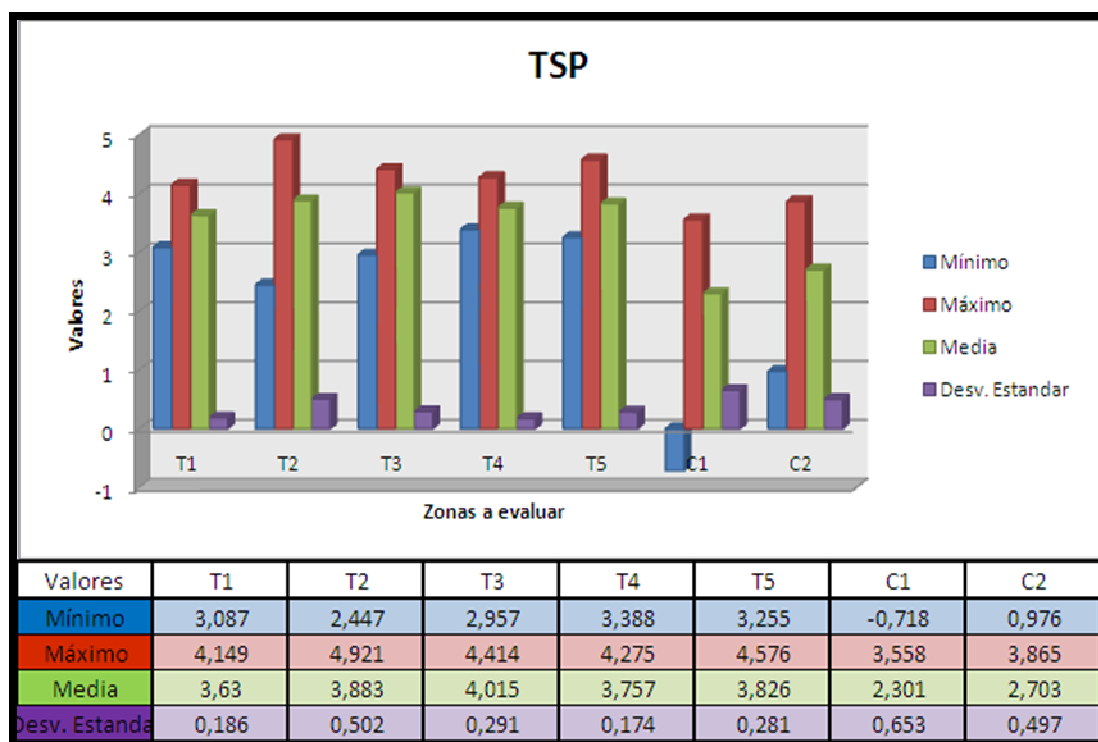


Figura 110. Valores de poder de flujo Total (TSP) de la zona de estudio.

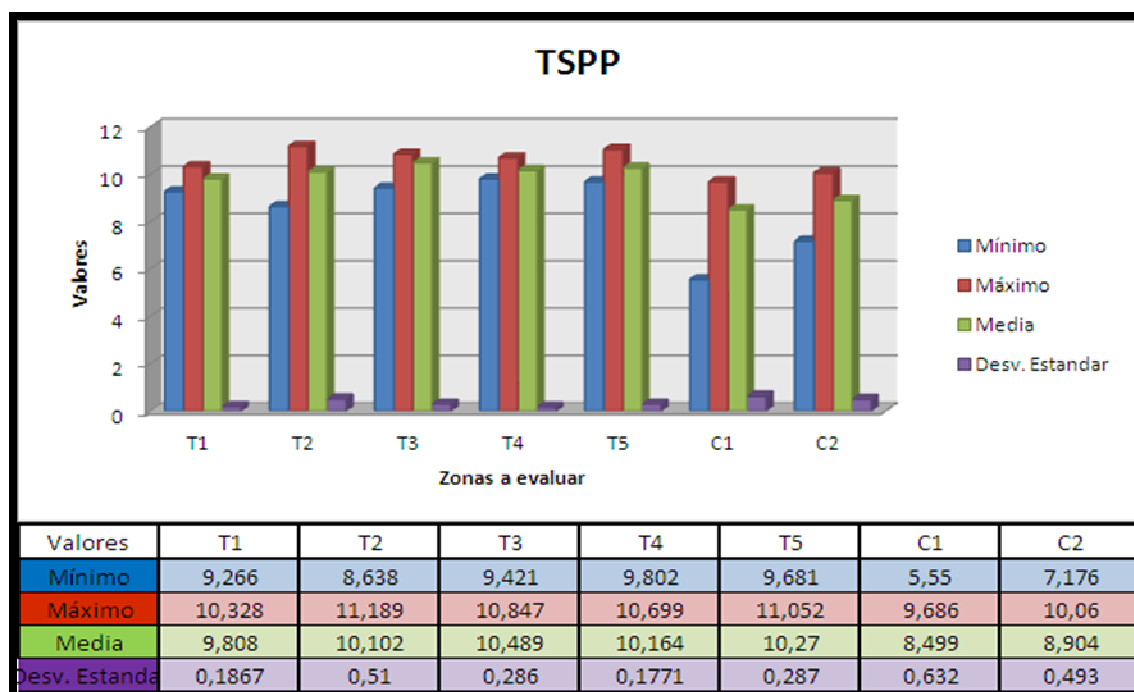
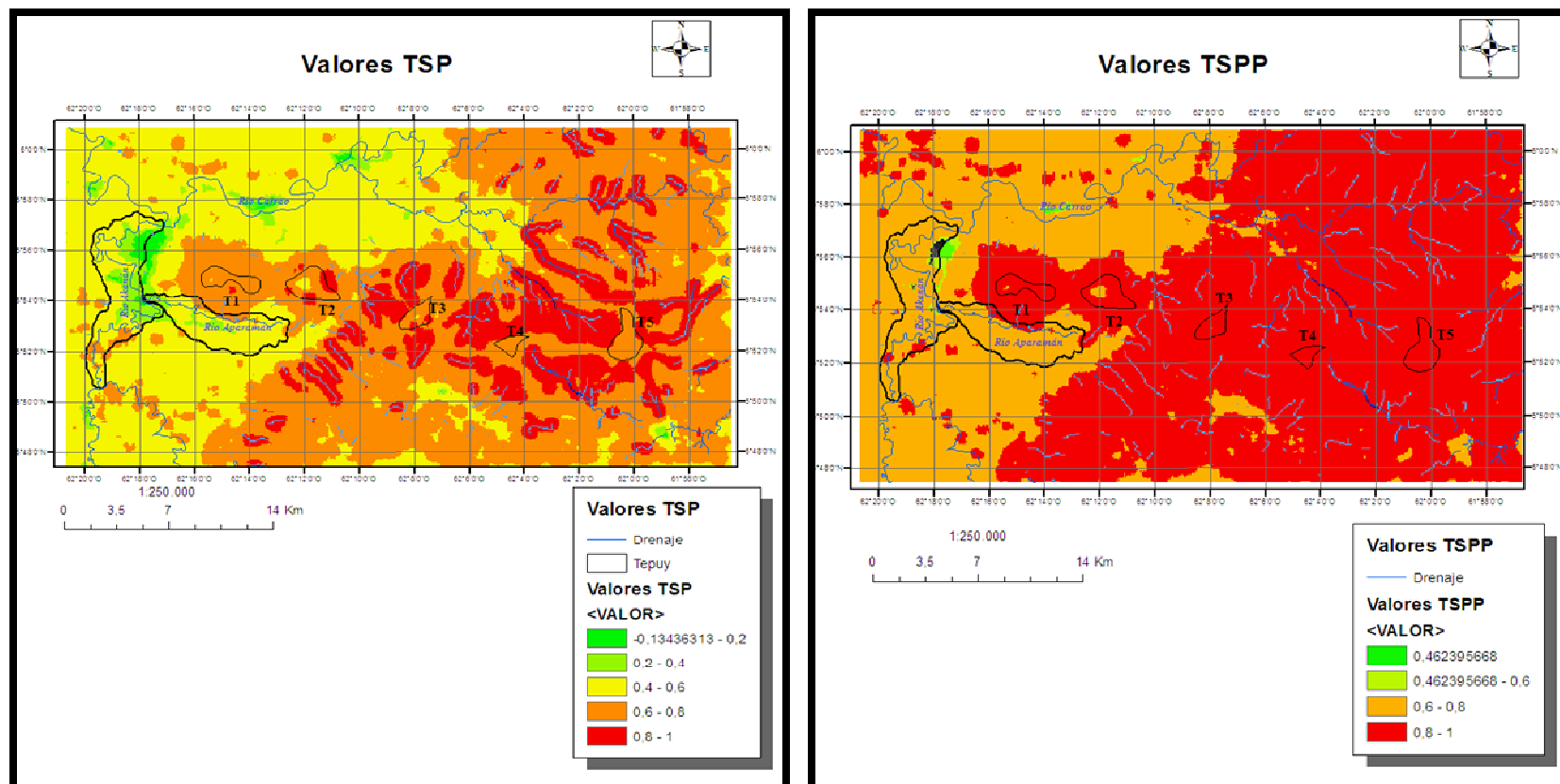


Figura 111. Valores de poder de flujo total con precipitación (TSPP) de la zona de estudio.

## Valores TSP y TSPP

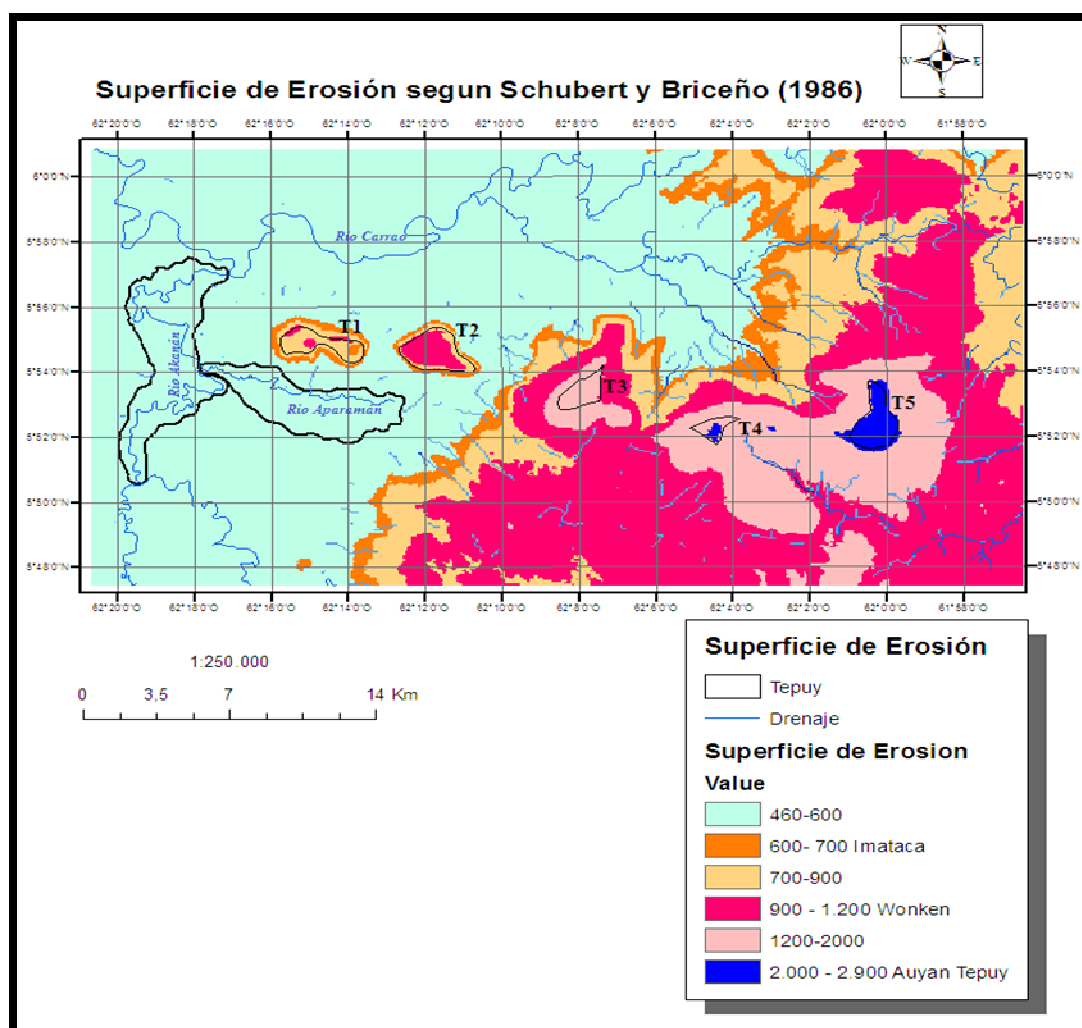


**Figura 112.** a) Valores de Poder de flujo Total (TSP) en la zona de estudio, b) Poder de flujo Total con precipitación (TSPP) en la zona de estudio.

#### 4.11 COMPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES DE EROSION ESTABLECIDAS POR SHUBERT Y BRICEÑO (1986) EN ZONAS DE TEPUYES Y LA ZONA DE ESTUDIO

Schubert y Briceño (1986) establecieron 6 superficies de erosión alrededor de todo el sector de tepuyes con rangos de altitud que van desde 0 a 2900 m.s.n.m, en la zona de estudio se destacan 3 de las superficies de erosión propuesta por estos investigadores.

A continuación, se muestra la figura 113, donde se exhibe la zona de estudio evaluada en función de las superficies de erosión distinguibles en la zona y las superficies de erosión características establecidas: 600-900 m (Imataca), 900-1200 m (Wonken) y la superficie de erosión de 2000-2900 m (Auyán Tepuy).



**Figura 113.** a) Valores de Poder de flujo de cizalla (SSP) en la zona de estudio, b) Poder de flujo de cizalla con precipitación (SSPP) en la zona de estudio.

#### 4.12 ANÁLISIS FLEXURAL DE LA LITOSFERA EN LA ZONA DE ESTUDIO

La flexura es el grado de compensación regional de la corteza rígida según Tassara (2005).

Por su parte el modelado flexural permite dar a conocer el grado de hundimiento que sufre el basamento cuando sobre él se encuentra estructuras de cargas sedimentarias. En la zona de estudio se delimitan aproximadamente 5 tepuyes y se pretende conocer si estos pueden generar áreas flexuradas en la zona.

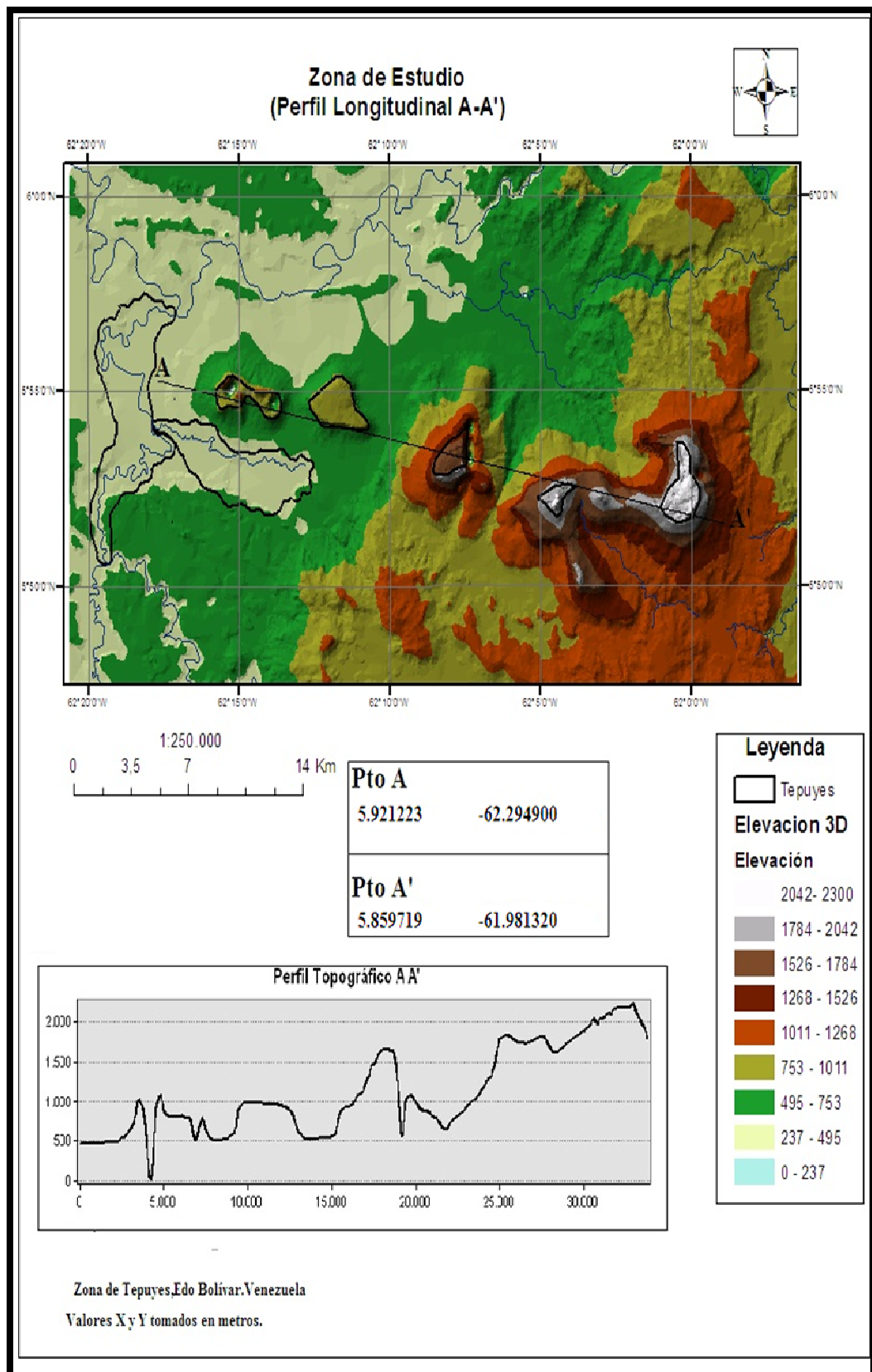
Se realizó un perfil longitudinal en el área de estudio aproximadamente de 35 Km, cabe destacar que autores como Pérez Gussinyé et al., (2007) mencionan el *te* (espesor elástico) en zonas cratónicas como es el escudo de Guayana debe ser mayor de 30 Km.

Los valores obtenidos para evaluar el modelado flexural en la zona de estudio se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 16.** Parámetros elásticos y geométricos para el modelado flexural en la zona de estudio (Tomado de Jiménez, 2015).

<b>Parámetro Elástico</b>	<b>Valor</b>	<b>Parámetro Geométrico</b>	<b>Valor</b>
Módulo de Young E	$7 \times 10^{10}$ Pa	Extensión de carga	35 Km
Radio de Poisson $\nu$	0.25	Máxima altura de carga	1835,09 m
Espesor Elástico	30Km	Nro. de Intervalos para discretizar la carga	25
Densidad del basamento	3.3 g/cm <sup>3</sup>		

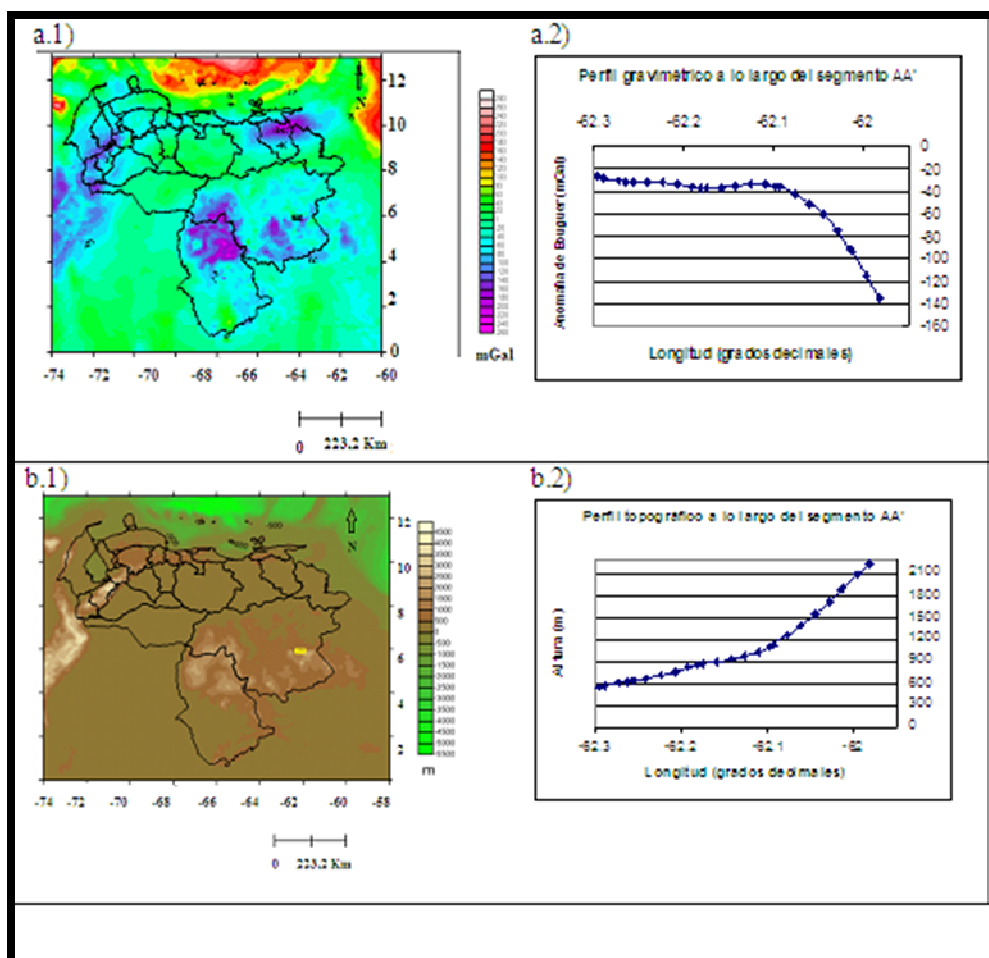
A continuación se muestra la figura 114 en donde se observa el perfil longitudinal evaluado en la zona de estudio.



**Figura 114.** Perfil Longitudinal AA' de la zona de estudio.



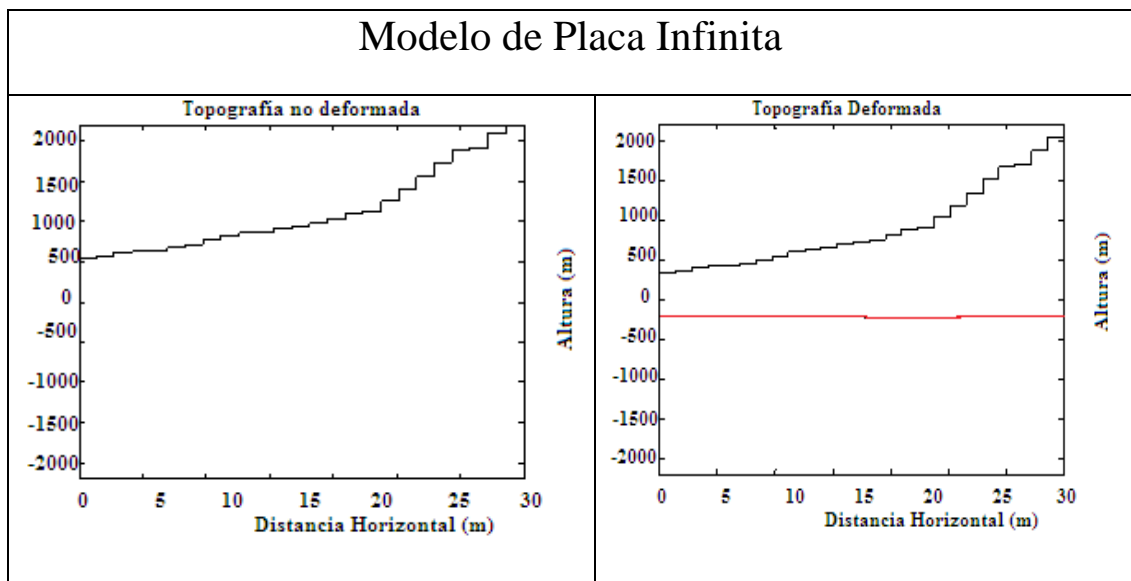
Posteriormente se muestra el mapa gravimétrico (a.1) y su perfil respectivo y el mapa topográfico (b.1) conjuntamente con su perfil (b.2) en la figura 115.



**Figura 115.** Perfil longitudinal AA' de 35 Km aproximadamente entre las longitudes de  $62.29^{\circ}$  W y  $61,9^{\circ}$  W y latitud entre  $5.92^{\circ}$ N y  $5.85^{\circ}$ N, contenido en el recuadro pequeño el mapa gravimétrico (a.1), su perfil (a.2), el mapa topográfico (b.1) y su perfil (b.2).

En el mapa de gravimetría la zona de estudio presenta valores que van desde 0 a -120 mGal aproximadamente, indicando una tendencia total de anomalías negativas.

Con los valores obtenidos en los mapas anteriores se extraen datos para generar mediante el software flex2d el modelado flexural que se presenta a continuación en la figura 116.



**Figura 116.** Resultados obtenidos con El software Flex2d a los datos del perfil longitudinal.

El modelado resultante para placa infinita que supone un área que no se encuentra entre límites de placas como es el caso de la zona de estudio, se muestra en los gráficos obtenidos no se produjo ninguna flexura litosférica, en el caso de la topografía deformada el segmento rojo muestra una continuidad sin ninguna curvatura eso quiere decir que la flexura no representa una variable interviniente para discriminar variabilidad de elevaciones de ciertos tepuyes.

## CAPÍTULO V

### 5. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta el compendio de los resultados obtenidos en la zona de estudio, en el que se busca integrar los resultados en cuanto a los elementos geológicos, la interacción de los procesos erosivos así como de los elementos flexurales litosféricos que influyen en la zona.

En toda el área a nivel visual mediante las imágenes satelitales se pudo observar que la zona presenta una vegetación sana, sin embargo el área sureste se pueden distinguir zonas con mayor escasez de vegetación lo que indica litologías características, como pueden ser diques de diabasa y rocas intrusivas.

Por su parte las firmas espectrales emitieron una sola longitud de onda igual en todos los tepuyes lo que es indicativo de un mismo tipo de vegetación en el área, en las cuencas no se observó esta misma longitud de onda, en cuanto a los parámetros morfoestructurales se pudo identificar que las zonas con mayor altitud se encuentran hacia el sureste, con alturas de hasta 2300 m.s.n.m, las pendientes en los tepuyes del sector noroeste se encuentran más definidas mientras que en la parte sureste se observa cierto escalamiento, lo que permite observar zonas intermitentes de escarpes, en cuanto a la litología se pudo identificar mediante el mapa geológico expuesto por Urbani et al., (2005) que toda el área de los tepuyes corresponde al Grupo Roraima Medio Superior con litologías de rocas sedimentarias, metasedimentarias y volcánicas y algunas extensiones de rocas intrusivas y diques de diabasas.

En cuanto a la redes hidrográficas en la zona se observan 3 drenajes que mantienen una tendencia semi rectilíneas a semi paralelas a los tepuyes, abundantes drenajes secundarios y tributarios que emanan de las zonas más altas de tepuyes, mucho de los drenajes que se encuentran en la zona específicamente al área sureste se encuentran altamente direccionados lo que es indicativo de la influencia tectónica en esa área a diferencia del sector noroeste.

Con respecto al análisis descriptivo del relieve se puede observar una unidad de tepuyes hacia el sureste y contrariamente a ello hacia la zona noroeste una unidad de

llanuras aluviales, en cuanto a la precipitación se puede observar que las zonas con mayor altitud son las áreas donde la misma es mas predominante como es en el caso la zona sureste, el agua al caer, parte de ella es infiltrada en la roca mediante fisuras que puede presentar las misma y otra parte drenan formando los denominados saltos o caídas de agua, con respecto al análisis estructural se pudo observar una alta tendencia de fallas de dirección noreste hacia la zona este y otro conjunto de fallas que van semi paralela a conjunto de tepuyes estudiados.

Al realizar la evaluación fisiográfica en la zona se encontró que la provincia fisiográfica del escudo de Guayana presenta una unidad climática muy húmeda con un ambiente morfogenético en las zona sureste, estructural erosional, en la zona noroeste el ambiente morfogenético es agradacional.

En cuanto a análisis de las tres muestras presentes obtenidas en la zona se evidenció que la mayoría de los granos representan una redondez de sub angulosa a sub redondeada y una alta esfericidad lo que indica un retrabajamiento medio que permite suponer cercanía a la roca fuente.

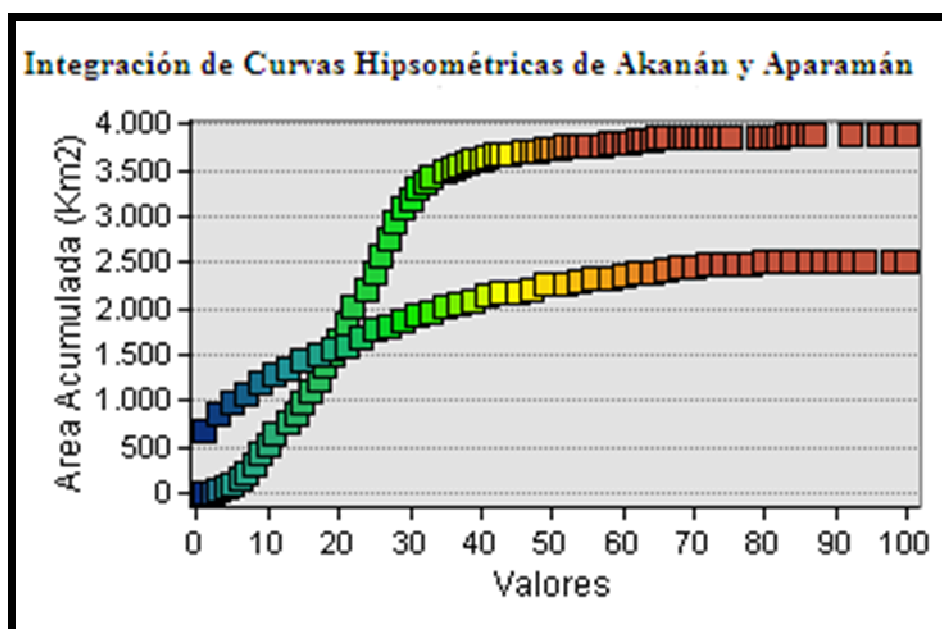
Los minerales visualizados mediante muestras de granos vistas en el microscópio óptico y siguiendo los parámetros visuales de caracterización de minerales permitieron distinguir algunos, los cuales fueron: circones, fragmentos de rocas, cuarzo, sillimanita, rutilo, minerales magnéticos y otros óxidos, en cuanto al análisis mediante microscopía electrónica de barrido se pudo identificar minerales según su composición química, se puede destacar: el cuarzo, la sillimanita, el circón, y una muestra de mineral con un porcentaje considerable de tantalio lo que se presume que puede ser coltan, tantanita o wodginita, es importante destacar que se necesitan muchos más pruebas y análisis petrográficos para identificar con exactitud los minerales presentes.

### **Integración de Curvas Hipsométricas**

En las curvas hipsométricas obtenidas en las cuencas se puede observar que se presentan variaciones con respecto a la curvas de tendencia indicando que la cuenca

Akanán presenta una curva continua con valores continuos, en cuanto a niveles de erosión se refiere, por su parte la cuenca Aparamán presenta una tendencia un nivel de flexura indicando que en la misma los niveles de erosión varían, sin embargo cabe destacar que según los resultados numéricos obtenidos mediante la integral hipsométrica presentan que las mismas son cuencas tectónicamente jóvenes e inestables.

A continuación se presenta la figura 117 donde se puede observar las curvas Hipsométricas de las dos cuencas evaluadas en la zona de estudio.



**Figura 117.** Integración de Curvas Hipsométricas de Akanán y Aparamán.

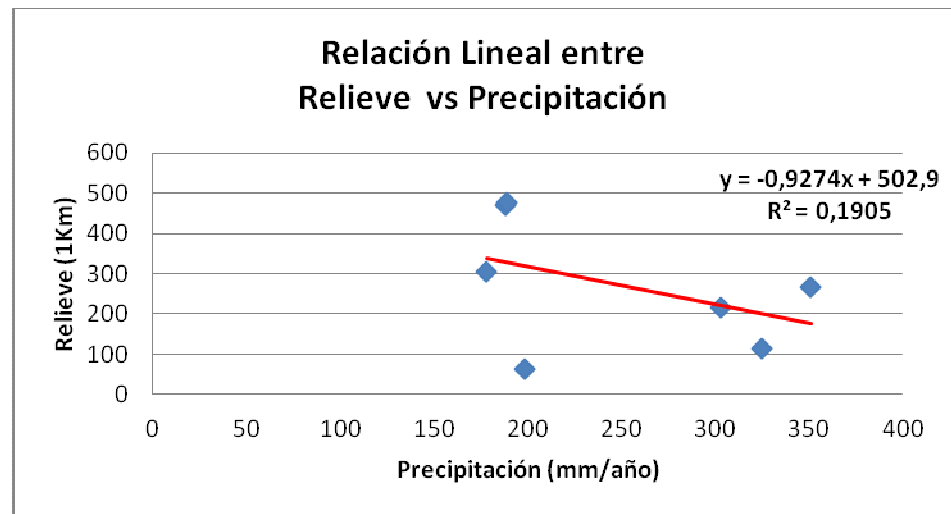
Con respecto al análisis erosional en la zona se genera una tabla correlativa mediante un estudio de coeficientes de correlación de Pearson (Conover,1980) que permite establecer las correspondencias existentes entre los parámetros evaluados en la zona de estudio como son: El relieve a diferentes radios focales, los índices de erosión,el índice de humedad y la precipitación.

Estos datos de comparación correlativa son obtenidos mediante los valores promedios de las diversas variables evaluadas. A continuación se presenta la tabla 17 que muestra los datos de los valores promedios en cada uno de los tepuyes y cuencas.

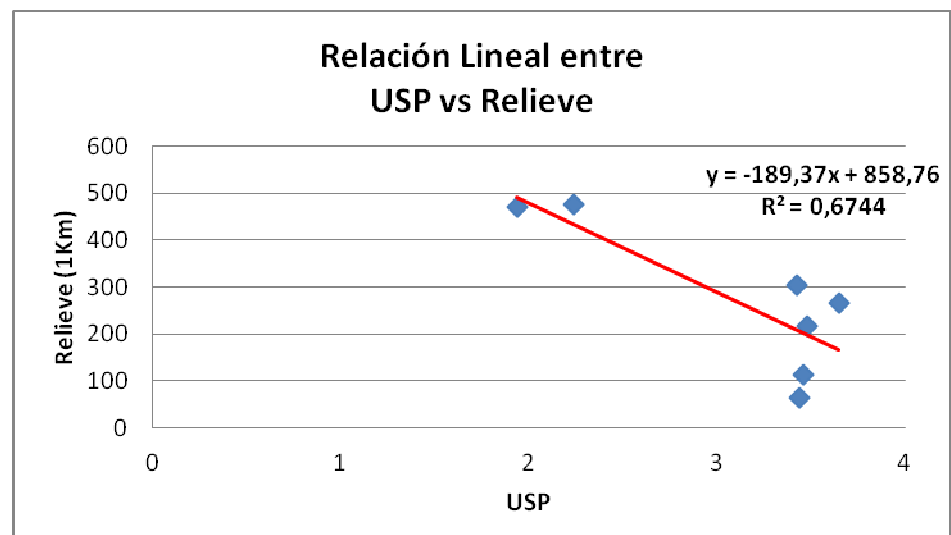
**Tabla 17.** Valores promedios de los diferentes parámetros analizados en la zona de estudio.

Valores promedios														
	Val Veget	Prec (mm/año)	R(5Km)	R (1Km)	R(3Km)	USP	USPP	SSP	SSPP	TSP	TSPP	IW	IWP	STI
T1 (Amaruay Tepuy)	0,35	178,11	222,87	303,71	351,48	3,43	6,52	3,47	15,45	3,63	9,8	1068,27	1634,29	696,328
T2 (Padapué Tepuy)	0,24	198,31	48,29	64,465	74,98	3,44	6,55	3,49	15,51	3,883	10,1	1372,42	2069,38	-1745,825
T3 (Aparamán Tepuy)	0,16	351,1	162,73	267,51	334,12	3,65	6,89	3,69	16,18	4,015	10,48	1150,77	1806,4	1422,999
T4 (Murisipán Tepuy)	0,15	302,92	154,9	216,72	220,43	3,48	6,69	3,6	15,87	3,757	10,16	1368,16	2130,84	-869,604
T5 (Kmarkawarai Tepuy)	0,15	325,09	80,59	113,83	157,28	3,46	6,69	3,57	15,87	3,826	10,27	1161,22	1823,92	3889,467
C1 (Cuenca Akanán)	0,32	188,45	469,82	469,82	469,82	1,94	5,03	2,39	11,86	2,301	8,49	926,78	1391,85	10079,597
C2( Cuenca Aparamán)	0,31	188,83	477,2	477,3	477,4	2,24	5,34	2,63	12,67	2,703	8,9	1177,32	1768,02	18999,156

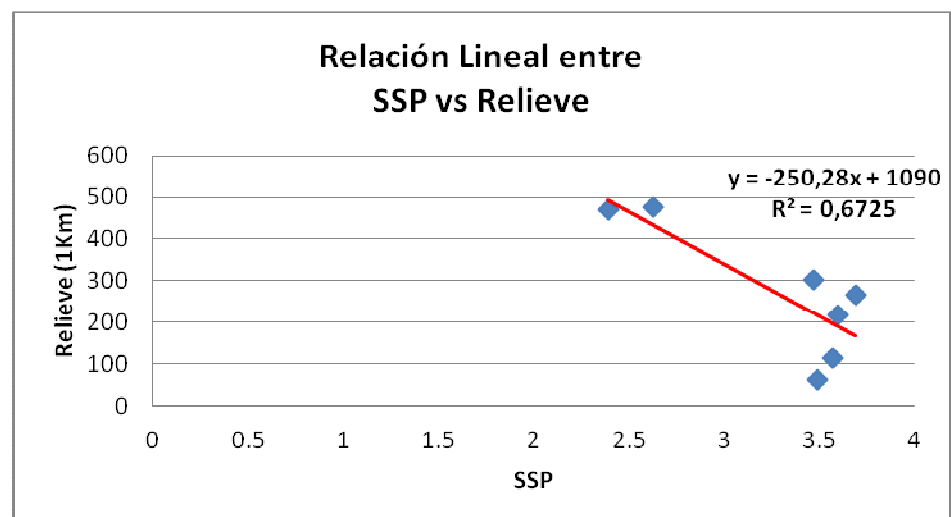
A)

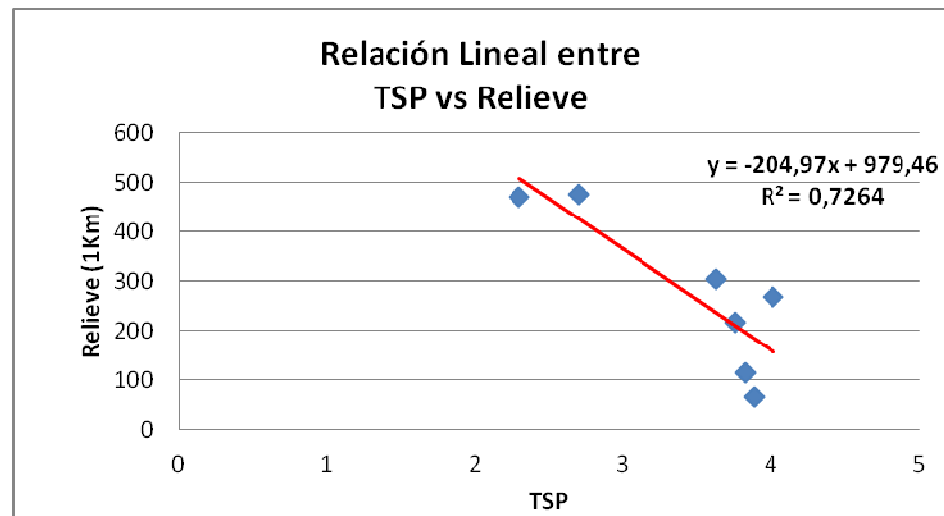


B)

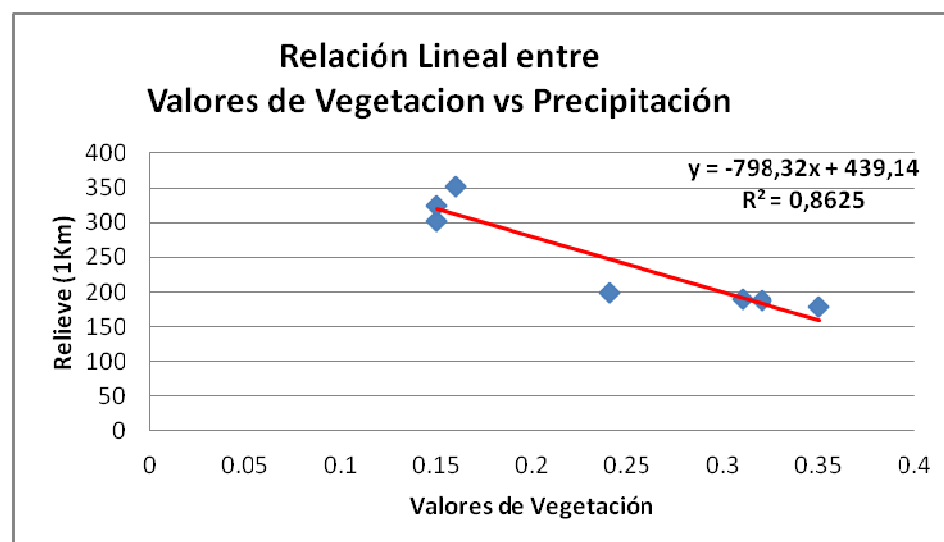


C)

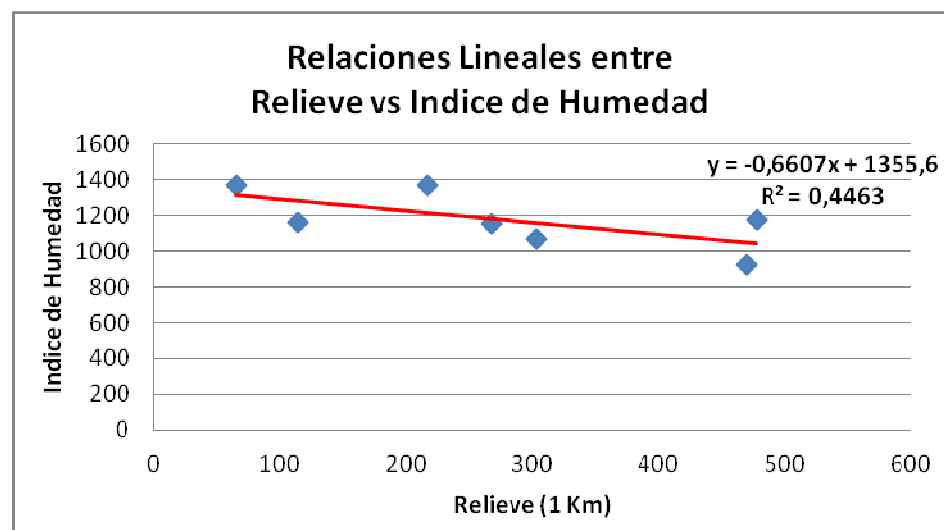




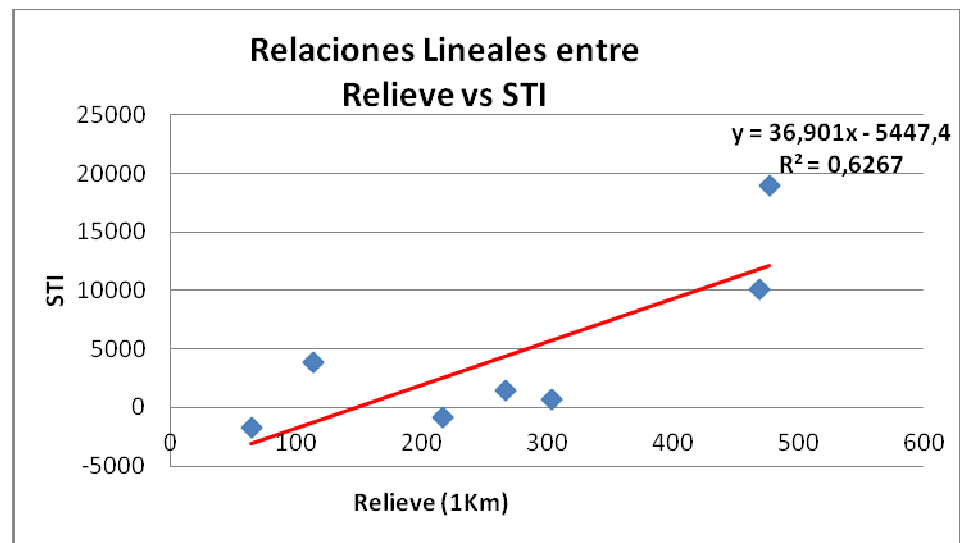
E)



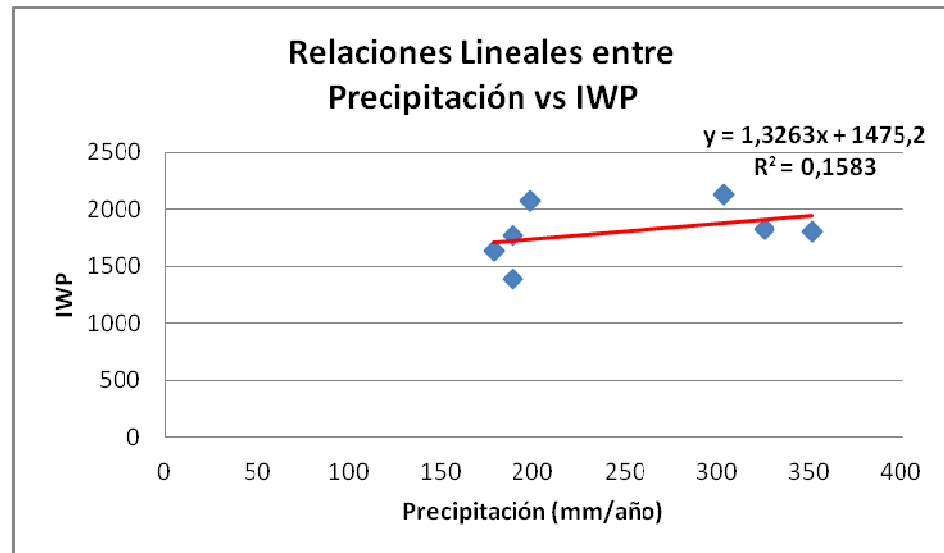
F)



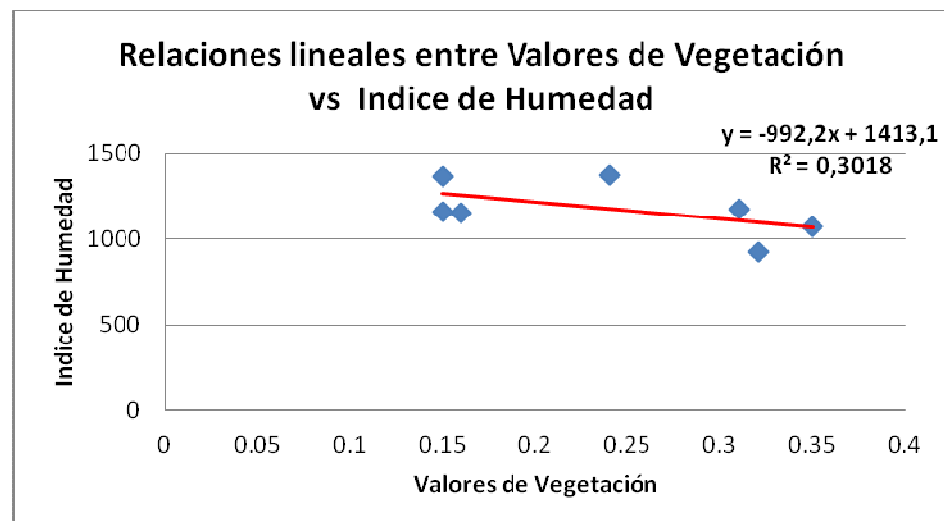




H)



I)



**Figura 118.** Gráficas de Relaciones Lineales entre: *A)* Precipitación (mm/año) vs Relieve (1 Km), *B)* USP vs Relieve (1 Km), *C)* SSP vs Relieve (1 Km), *D)* TSP vs Relieve (1 Km), *E)* Valores de Vegetación vs Relieve (1 Km), *F)* Relieve (1 Km) vs Índice de Humedad, *G)* Relieve (1 Km) vs Índice de transporte de sedimentos *H)* Precipitación vs Índice de Humedad con Precipitación, *I)* Valores de Vegetación vs Índice de Humedad.

Para los valores obtenidos en las relaciones lineales dadas entre los parámetros de las gráficas anteriores a nivel general se puede observar que la relación lineal entre los parámetros de índice de erosión y el relieve es negativa, mientras que el coeficiente de determinación de los mismos es positiva y con valores mayores de 0.50, esto relacionado con los datos obtenidos mediante la tabla de coeficiente de correlación indican que los mismos se están viendo influenciados, existiendo pérdida de material rasante afectados por el clima.

Por su parte los valores obtenidos en cuanto al coeficiente de correlación de la tabla siguiente, de la vegetación indica que hay pérdida de vegetación por efectos climáticos.

Los valores de índices de erosión con respecto a la precipitación están indicando una dependencia media entre los mismos. Existe una correlación fuerte lo que indica una alta tasa de transporte de sedimento, el relieve se ve influenciado.

**Tabla 18.** Valores de correlacion para los diferentes parametros analizados en la zona de estudio.

	Val	Prec	Rel	Rel	Rel									
	Veg	mm/año	5Km	1Km	3Km	USP	USPP	SSP	SSPP	TSP	TSPP	IW	IWP	STI
Val Veg	1													
Prec(mm/año)	-0,93	1												
Rel(5Km)	0,67	-0,53	1											
Rel (1Km)	0,63	-0,44	0,97	1										
Rel(3Km)	0,61	-0,35	0,93	0,99	1									
USP	-0,62	0,59	-0,92	-0,82	-0,74	1								
USPP	-0,67	0,65	-0,92	-0,82	-0,73	0,99	1							
SSP	-0,67	0,63	-0,92	-0,82	-0,74	0,99	0,99	1						
SSPP	-0,67	0,64	-0,93	-0,82	-0,74	0,99	0,99	1	1					
TSP	-0,66	0,60	-0,94	-0,85	-0,77	0,99	0,99	0,99	0,99	1				
TSPP	-0,75	0,71	-0,93	-0,83	-0,75	0,98	0,99	0,98	0,99	0,99	1			
IW	-0,55	0,27	-0,63	-0,67	-0,73	0,57	0,56	0,58	0,58	0,62	0,6	1		
IWP	-0,65	0,40	-0,69	-0,71	-0,75	0,65	0,65	0,67	0,66	0,69	0,69	0,99	1	
STI	0,47	-0,38	0,87	0,79	0,75	-0,85	-0,83	-0,83	-0,83	-0,82	-0,79	-0,44	-0,5	1

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al evaluar las interacciones que surgen en la dinámica terrestre se pueden ver como la influencia de mecanismos externos afecta directa e indirectamente a estas zonas que siendo unas de las más antiguas de las tierras han podido preservarse a través del tiempo. Por lo tanto el análisis de los procesos erosivos mediante técnicas de geomorfología cuantitativa permite tener elementos tangibles que indiquen las tasas de influencia de los factores de erosión en la zona.

Los cálculos obtenidos para los parámetros morfoestructurales permiten discriminar elementos litológicos, estructurales, tectónicos y geomorfológicos, en la zona se pudo distinguir a nivel general dos grandes patrones característicos, el sector sureste y el sector noroeste, en la zona sureste se observó un área más competente (Unidad de Tepuyes), con zonas de la mayor elevación, mayor afectación a nivel tectónico y estructural y mayor cantidad de drenajes direccionados, por su parte el otro extremo presentó zonas de menor altitud,(Unidad de Llanuras aluviales), menor afectación de tectónica y drenajes menos alineados.

Al procesar las muestras de sedimentos obtenidos en la zona se pudo extraer grandes cantidades minerales magnéticos, específicamente en la zona Q2 (illmenita, hematita), y minerales no magnéticos como (circones, cuarzo, fragmentos de rocas, sillimanita, óxidos como el rutilo), cabe destacar que los mismos fueron identificados mediante análisis visual, al realizar el estudio de granos mediante MEB se pudo identificar minerales de (cuarzo, circón, rutilo y otros óxidos, en Q2 se encontró granos con alto contenido de Ta (tantalio) lo que indica la presencia de coltan, tantanita o wodginita, probablemente material resultante de roca fuente. Consideramos que se necesitan hacer mayores evaluaciones de MEB, utilizar otras técnicas (difracción de rayos X) para identificar con mayor detalle los minerales de las muestras de sedimento.

Los minerales no magnéticos permitieron dar a conocer los valores de redondez y esfericidad mediante los modelos comparativos de Krumbein y Sloss con los datos

resultantes del análisis mediante el software *Image J*, se determinó que las muestras de granos presentaban alta esfericidad y valores de redondez van de sub angulares a sub redondeadas lo que es indicativo de que los mismos provienen de diferentes rocas fuentes, algunas más alejadas que han sido retrabajadas por el transporte y otras que han sufrido poco transporte.

Los cálculos arrojados por la integral y las curvas hipsométricas de las cuencas Akanán y Aparamán permitieron identificar las mismas como cuencas jóvenes, inmaduras en pleno proceso de desequilibrio reflejando como el relieve está siendo influenciado por procesos tectónicos, erosionales y climáticos.

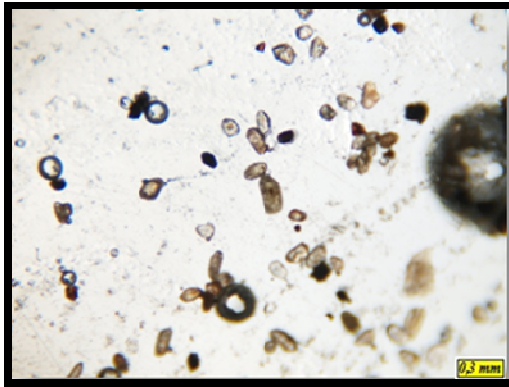
En cuanto a la interacción existente entre parámetros como :los índices de erosión, el relieve, la vegetación, la humedad, el índice de transporte de sedimentos se pudo identificar que los mismos se encuentran interconectados, los resultados que arroja dicha correlación para la vegetación indica que la misma se está viendo altamente afectada por los procesos erosivos y climáticos, por su parte los resultados de la correlación indican que el relieve actual presenta pérdida continua de material producto de agentes erosivos y climáticos por su parte el índice de humedad está afectando intensamente a toda la zona ,las partes bajas por la amplia cantidad de afluentes y partes altas por las constantes precipitaciones que ocurren en la zona.

Cabe destacar que según los datos obtenidos a nivel general, el área potencialmente con mayor afectación, es la zona sureste producto de procesos climáticos (mayor abundancia de precipitaciones en zonas altas), procesos tectónicos, estructurales y procesos de erosión. Los resultados de niveles erosionales son comparados con los obtenidos por Schubert indicando evidencias tangibles en los mismos.

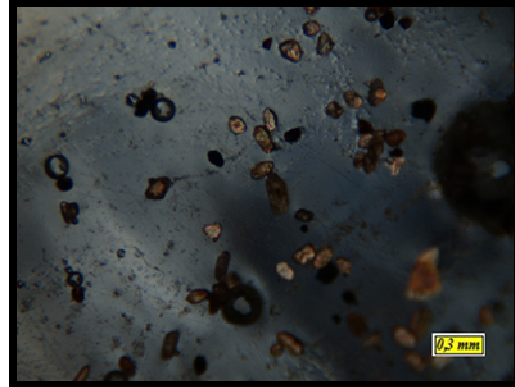
Todos estos resultados obtenidos y distinguibles para los dos sectores permitieron a evaluar si existe o no alguna afectación flexural en la zona, la misma no se encuentra afectada por efectos visibles de flexura litosférica o la flexura existente no es notable se recomienda hacer estudios pero tomando en cuenta longitudes mucho mayores. Finalmente todo este estudio es un abreboca de los sinfines investigaciones que se necesitan realizar en el escudo Guayanés puesto que a nivel estratégico, geológico, económico es un área sumamente rica para nuestra nación y de la cual no se tiene prácticamente información.

**ANEXOS**  
**Muestras Q1**

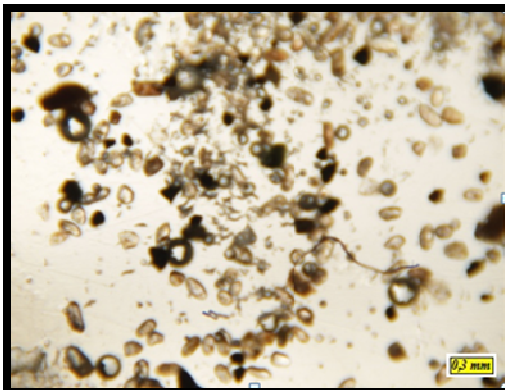
a)



b)



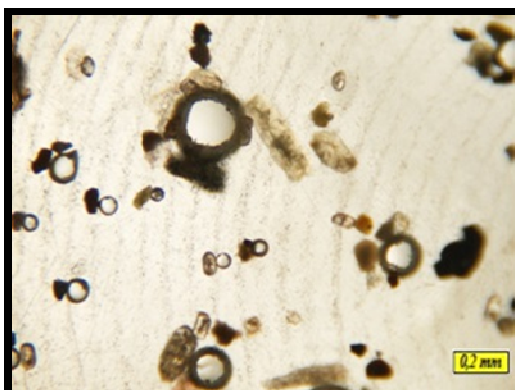
c)



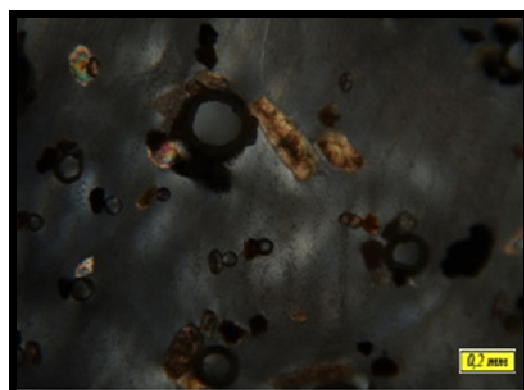
d)

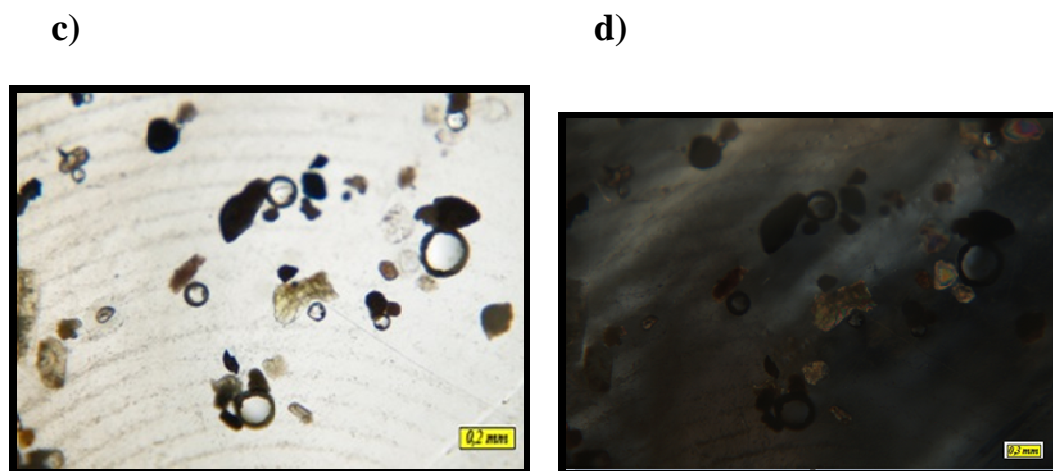
**Muestras Q2**

a)

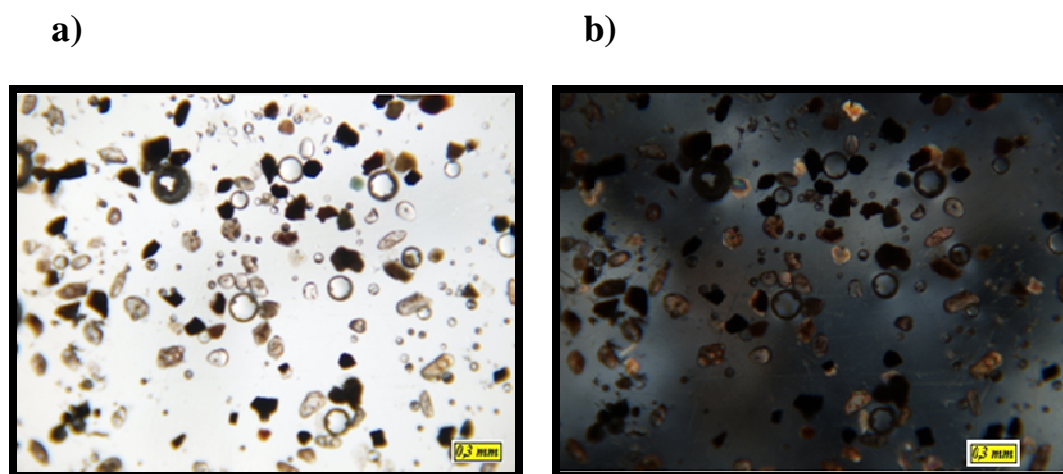


b)





### Muestras Q3



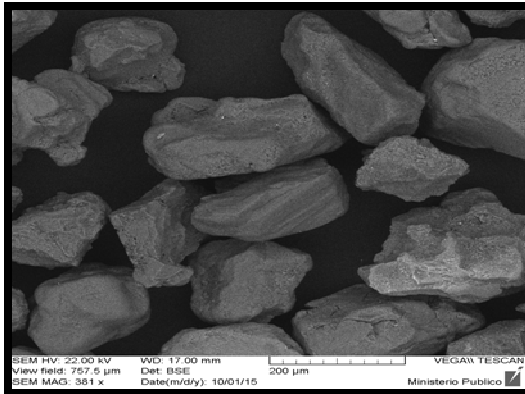
**Figura 119.** Muestreo de granos, en Q1 se encuentran minerales de circón, rutilo, óxidos entre otro, los granos muestran relieves, birrefringencias que permiten distinguir de manera visual los granos, se puede observar granos sub angulosos a sub redondeados, Q2 presenta mayor cantidad de minerales de magnéticos y alta cantidad de óxidos, se pueden observar circones, muestras de rutilo, sillimanita entre otros, Q3 presenta minerales de circones, rutilo, óxidos entre otros.



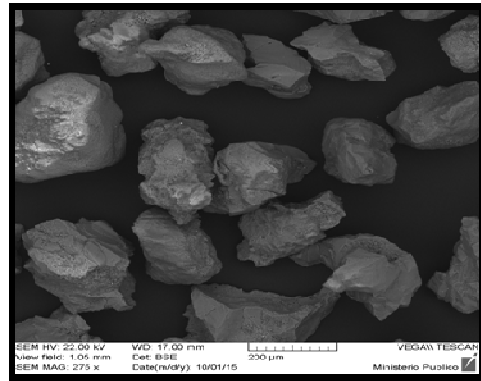
## MEB (Microscopía Electrónica de Barrido)

### Minerales Muestra Q1

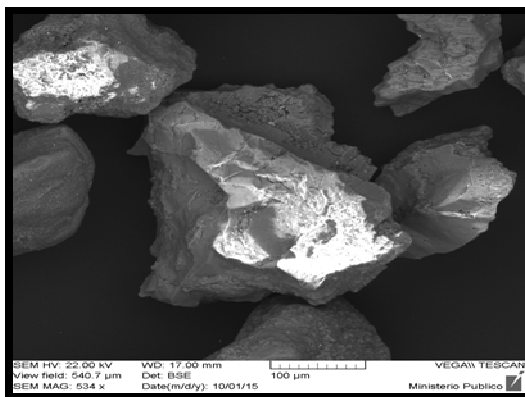
a)



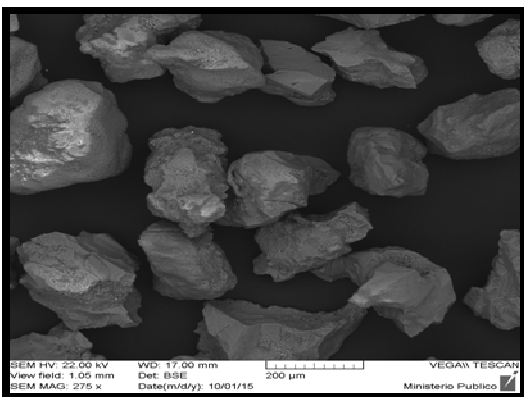
b)



c)

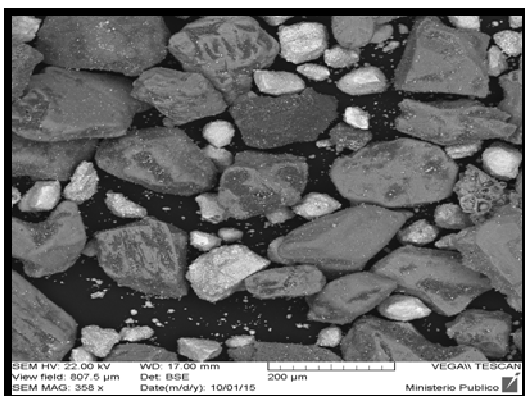


d)

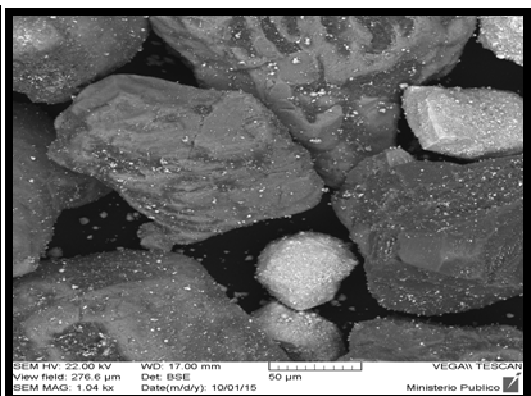


### Minerales Muestra Q2

a)

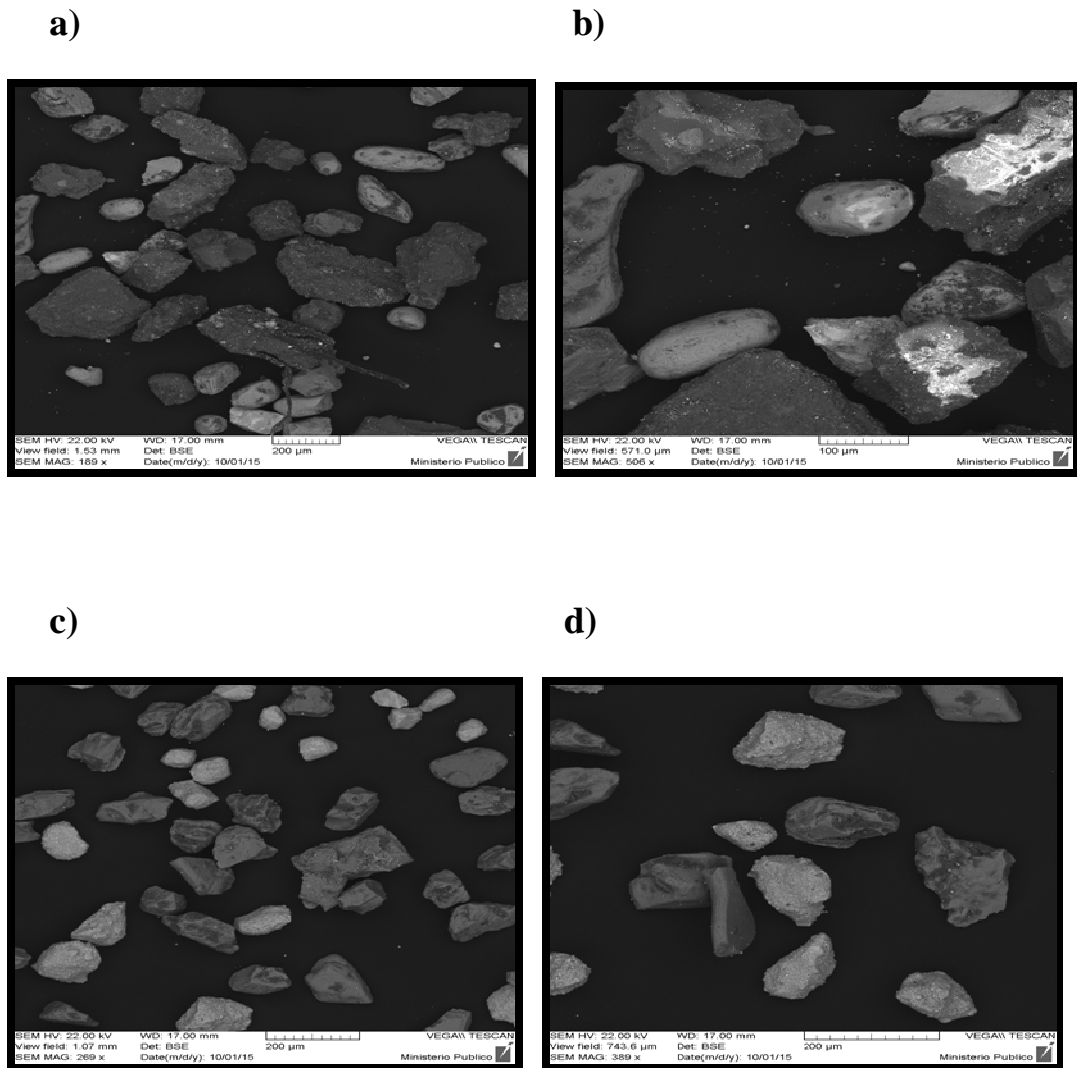


b)





## Minerales Muestra Q3



**Figura 120.** Muestreo de granos mediante microscopia electrónica de barrido, la muestra Q1 presenta granos elongados con aristas sub angulares los mismos presenta similitud de tamaño, la muestra Q2 presenta granos sub angulares a sub redondeados y en esta muestra específicamente se encuentra una gran cantidad de minúsculas granos, no presenta regularidad en los tamaños de granos, en la Q3 se pueden observar una muestra más limpia y el tamaño de granos mas regulares los mismos son alargados y sub angulares

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AGUEVERRE, S.** (1939). *Exploración de la Gran Sabana*. Revista de Fomento (Venezuela)3(19) p.
- ALATORRE, L. C. y BEGUERÍA, S.** (2009). *Los Modelos de Erosión: Una Revisión*, Cuaternario y Geomorfología,23(1-2),p.43-62.
- ALBERDI, M., y CONTRERAS, G.** (1995). *Estratigrafía del Grupo Roraima, Interpretación Petrológica en la Región Noreste del Parque Nacional Canaima. Edo Bolívar. Venezuela* .In *Geology and Mineral Deposits of the Venezuelan Guayana Shield, U.S. Geological Sur.Bull.Nº 2124*,p. 11-119.
- ALBORNOZ, M y LEZAMA, A.** (2014). *Comparación de la relación toposforma-clima-tectónica en el sector suroeste de la cuenca del río Orinoco mediante análisis de índices de erosión y minerales pesados*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo.
- ALZATE A., BEATRIZ E.** (2005). *Imágenes Espaciales de la Superficie Terrestre.Procesamiento digital, análisis y extracción de información temática*. Universidad Nacional de Colombia, facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Geografía.Santa Fe de Bogotá.
- ArcGIS.**, (2015), ArcGIS desktop 10.2.
- ARCÍA Y VIANA.** (2014). *Estudio de la interacción clima, tectónica y procesos superficiales como agentes controladores del relieve actual en terrenos adyacentes a los ríos Nirgua, Boconó y Apure mediante caracterización mineralógica, análisis digital del terreno y estudio de minerales pesados*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo.253 p.
- ARNAIZ, RODRIGUEZ, y AUDEMARD,** .(2011). *Análisis gravimétricos y flexural del occidente de Venezuela*:Revista Mexicana de Ciencias Geológicas,V28,M3,P.420-438.
- ASCANIO, T.** (1975). *El Complejo de Imataca en los alrededores de Cerro Bolivar.Venezuela*.En:Conf.Geol.Interguiana.10th.Belbrasil.Mem.p.181-197.
- ASCANIO, T.** (1985). *Sección Geológica La Escalera-Santa Elena, Edo Bolívar .Venezuela*. VI. Congreso Geológico. Venezolano, T3, P.1409-1431.
- AYALA, M** (2005), 'Tepuy', Altholito C.A., Caracas, Venezuela.p.336.
- BELLIZIA, A.** (1957). *Consideraciones petrogenéticas de la provincia magmática de Roraima, (Guayana Venezolana)*, Bol. Geol., Caracas, v.4,Nº9,p.53-81.

- BENAIM, N** (1974). *Geología de la región El Dorado-Anacoco-Botanamo, Estado Bolívar*, Conf. Geol. Interguayananas, 1972, MEM.Pub.Esp.p.198-206.
- BERMÚDEZ, M.** (2006). *Procedimientos del Laboratorio de Termocronología de la UCV para la datación de eventos tectotérmicos recientes mediante el método de huellas de fisión en apatitos detríticos*. Trabajo de Ascenso a Profesor Agregado, 156 p. EGMG-UCV.
- BERMÚDEZ, M y ANAYA, R.** (2007). *Calibración del separador magnético de alta intensidad Magnet-Lift mlh (13) 111-5 para su uso en el Laboratorio de Termocronología de la UCV*. Rev. Fac. Ing UCV. Vol. 22, N°3, P. 73-83.
- BERMÚDEZ, M ET.AL.,** (2009). *Exhumación Diacrónica durante el Mioceno – Plioceno de Los Andes de Mérida. Laboratorios de Termocronología y Geomatemáticas*, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas
- BERMÚDEZ, M y VAN DER BEEK, P., B.** (2012). *Strong tectonic and weak climatic control on exhumation rates in the Venezuelan Andes*, doi:10.1130/L212.1.
- BOLONGARO-CREVENNA A., TORRES-RODRÍGUEZ V.,** (2005), *Geomorphometric analysis for characterizing landforms in Morelos State, Mexico*, *Geomorphology* 67, p 407-422.
- BUSTOS. X, BERMÚDEZ, M et.al.**, (2013 ). *Caracterización de superficies de erosión mediante Geomorfología cuantitativa, Altiplano Antioqueño, Cordillera Central de Colombia*. TERRA XXIX. N° 46, 2013, pp 43 – 67.
- BLANCONEAUX, P. Y POUYLLAU, M.** (1977). *Formes d'altération pseudokarstiques en relation avec la géomorphologie des granites précambriens du type Rapakivi Dans le territoire fédéral de l' Amazone*. ORSTOM, vol. XV, n° 2, p. 131 – 142.
- BRICEÑO, H. O, LEE, KEENAN .,** (1982). *Análisis de lineamientos en ambiente de la selva tropical a partir de imágenes de LANDSAT y SLAR :Cuenca media del río Caroní Venezuela :Primer Congreso Geofísico Venezolano*, Caracas.
- BRICEÑO, H.,** (1983). *Cartografía Geológica en ambiente de Selva Utilizando Técnicas de Sensores Remotos: Río Caroní: Venezuela*. Trabajo de Ascenso. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- BRICEÑO, H.,** (1985). *Mapa Fotogeológico de la Cuenca Media del río Caroní, Edo Bolívar Venezuela*, IV Congreso Geológico Venezolano., Caracas 8,5628-5654p.

- BRICEÑO, H.**, (1986). *Mapa geológico de la cuenca media del Río Caroní, Edo. Bolívar, Venezuela*. Memorias VI Congreso Geológico Venezolano, p 5628-5653.
- BRICEÑO, H. y SCHUBERT, C.** (1986). *Fracturamiento en rocas de Tepuy, Edo. Bolívar, Venezuela*. " Memorias VI Congreso Geológico Venezolano. p 5504-5621.
- BRICEÑO, H.; SUSACH, F. y FERNANDEZ, G.** (1986). *Clasificación espectral del macizo del Chimantá, Edo. Bolívar, Venezuela*. Memorias VI Congreso Geológico Venezolano. p 5622-5627.
- BRICEÑO, H, TAPIA, J.,** (1989). *Formación Ichúm, volcanismo acido del Grupo de Roraima*. VII Cong. Geol Venezolano T V., P 52-81.
- BRICEÑO, H .O., SCHUBERT,C.,**(1990). *Geomorphology of the Gran Sabana, Guayana Shield, southeastern Venezuela*. *Geomorphology*,3,125-141p.
- BRICEÑO, H. y SCHUBERT, C. (1993)** "Geomorfología del Macizo del Chimantá": en "El Macizo del Chimantá" : Un Ensayo Ecológico", Huber, O. (Ed.), Editorial Todman, Caracas
- BRICEÑO, H.; SCHUBERT, C. y PAOLINI, J. (1993)**. *Aspectos Geoquímicos del Macizo del Chimantá"; en "El Macizo del Chimantá; Un Ensayo Ecológico; Huber, O. (Ed.), Editorial Todman, Caracas.*
- BRICEÑO, H. y LEE, K. (1985)**. *Application of LANDSAT images to geological mapping in tropical jungle environment: Caroni River, Venezuela*, en P. Teleki & C. Weber (Edit.), Remote Sensing for geologic mapping. BRGM - UNESCO, Norway.
- CARDOZO,N.**(2009).OSXFlex2D (Versión,2.8), *Software de Cómputo*, de <http://homepage.mac.com/nfcd/work/programs.html>.
- CARMONA, S y GONZALEZ, Z.**(2014). *Discriminación de agentes controladores del relieve actual sobre el flanco surandino a partir del estudio de sedimentos modernos de los ríos Canaguá, Caparo, Michay, Uribante y cálculos de índices de erosión*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo.
- CVG GERENCIA Y PLANIFICACION.** (1993). *La Guayana de hoy y mañana*. Mapas en dos láminas (1:1 300 000).Ediciones Armis, Caracas.
- CVG TÉCNICA Y MINERA, C.A.**(1994). *Informe de avance de la hoja de radar NB-20-13:Clima,Geología,Geomorfología,Vegetación y suelos* .Tomo I y II. Proyecto inventario de los recursos naturales de la región de Guayana. Ciudad Bolívar.
- COELLO, V,** (2012). *Significado tectónico y procedencia de la Fm. Guárico a través de análisis petrográfico y minerales pesados, Venezuela Norcentral*. UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de

*Geología, Minas y Geofísica*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo; inédito, p.264.

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

**CONTANZO, VICENZO.**(1982).*Geocronología isotópica y paleomagnetismo en diabasas de Roraima*:Ump. Bachelor Thesis, Univ. Simón Bolívar,Venezuela,127p

**CORDANI, U.G Y SATO, K.,** (1999). *Crustal evolution of the South American Platform, base Nd isotopic systematics on granitoids Rocks*. En: Episodes Jour of Intern Geosc. Vol 22, N 3, p.167 - 173.

**CORRALES, I. et al.** (1977). *Estratigrafía*. Editorial Rueda, Madrid; 718 p.

**COX, WYNN.,** (1993). *Geology of Venezuelan Guayana Shield* .U.S.Geolo.Surv,p.9-15.

**CHOUBERT.B.** (1957).*Essai sur La Morphologie de La Guayane.Memories carta géologique Détaillé de la France, Département Guyane Francaise*,48p.

**CHOUBERT. B.**(1974).*Mémoires du Bureau de recherches géologiques et minières*;N 81.

**CHUVIECO E.** (1990). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Rialp, S.A. Madrid 2da Edición. 450 p.

**DAY,W. y TOSDAL,R.**(1995).*Geology of the incredible mining distric and U-PB Age of the Early Proterozoic Guayana Shield*. En:U.S. Geol. Survey, Bull N 2124,pE1a E13.

**DERRUAU, M.** (1966). *Geomorfología*. Barcelona: Ediciones Ariel

**ESTES, J.E. y D.S. SIMONETT,** (1975). *Chapter 14: Fundamentals of image interpretation, in R.G. Reeves (Ed.), Manual of Remote Sensing, Vol. II, Falls Church: American Society of Photogrammetry, pp. 869–1076.*

**FELICÍSIMO, A,** (1994).*Modelos Digitales de Terreno. Introducción y aplicaciones en ciencias ambientales* .<http://www.etsimo.uniovi.es/feli/pdf/libromdt.pdf>.p118.

**FEO-CODECIDO.** (1956).*Técnica para el estudio de los minerales pesados y su aplicación en la estratigrafía de Venezuela*.S.L.s.e.Venezuela.p24.

**FERNÁNDEZ, L.** (2008). *Transporte y sedimentación en el delta de San Ignacio, Laguna de Tacarigua, Estado Miranda, Venezuela*. Terra Nueva Etapa, Enero-Junio, año/vol. XXIV, N 35p 141-166.

**FOLK & WARD,** (1969). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Pub. Co. Austin, Texas. 182 p.

- FLORES, JUAN y MENDEZ, 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, inédito, 129 p.
- FLORES, M.** (2013). *Estudio de la relación entre clima, erosión y tectónica a lo largo del río Guárico mediante análisis geomorfológicos, geológicos y datos termocronológicos existentes.* Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Caracas.
- FIGUEIRA, M y ROMERO, L.** (2014). *Estudio de la interacción entre clima, relieve y tectónica a lo largo de zonas circundantes a los ríos San Carlos, Guache, Guanare y Capitanejo mediante comparación de índices de erosión y análisis de minerales pesados.* Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Caracas.
- GALÁN, C., HERRERA F. y CARRERO R.** (2005). *Geomorfología e Hidrología del Sistema Roraima Sur.*p.1-33.
- 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. p. 16-22.
- GAUDETTE,H, MENDOZA.V.**(1978).*Geology and Age of the Parguaza Rapakivi Granite, Venezuela.*En: Geol. Soc. America, Bull V89,p.1335-1340.
- GIBSS,A.**(1993).*The Geology of the Guayana Shield,* Ed por N.Y Oxford University Monography on Geology and Geophysics,22,p.246.
- GOLDBRUNNER, A.**(1984).*Atlas climatológico de Venezuela 1951/70.*Servicio de metereología. Fuerza Aérea de Maracay.Venezuela.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C.**(1952). *Introducción a la geología de Venezuela.* Bol. Geol., Caracas, p. 110.
- GONZÁLEZ DE JUANA,** (1980), *Geología de Venezuela y sus Cuencas petrolíferas.* Ediciones Foninves Caracas, Venezuela, 1031p.
- GROSS, G.**(1995).*Stratiform Iron: Lake Superior Type Iron Formation-Algoma Type Iron Formation and Ironstones.* En: Geology of Canadian Mineral Deposit Types. Geol. Sur Of Canada, Geology of Canada, V 8,p,41-80.

**GRUPO CIENTÍFICO CHIMANTÁ**, (1986). *Reconocimiento preliminar del Macizo de Chimantá, Estado Bolívar (Venezuela)*. Acta científica Venezolana, 37, 25-42p.

**HACKLEY, P.C., URBANI, F., KARLSEN, A.W., GARRITY, C.P.** (2005). *Geologic shaded relief map of Venezuela*: USGS Open – file Report 2005 –1038. <http://pubs.usgs.gov/of/2005/1038/>.

**HACKLEY, P., URBANI, F., KARLSEN, A., & GARRITY, C.** (2005). *Mapa Geológico de Venezuela a Escala 1:750.000*. Washington D.C.: U.S. Geological Survey, Open File Report 1109. <http://pubs.usgs.gov/of/2006/1109/>.

**HESS, H. H.**, (1959). *Notes on operation of Frantz Isodynamic Magnetic Separator: S.G. Frantz Co.* Instrument Instruction Booklet, 6 p.

**HUBER, O.**, (1986). *La vegetación de la cuenca del río Caroní*, Interciencia 11, p. 301-310.

**HUBER, O & ALARCON.**, (1988). *Mapa de Vegetación de Venezuela*. Bioma-MARNR. Escala 1:2.000.000.

**HURLEY, P y GAUDETTE, H.** (1977). *Progress report on Rb-Sr age in dating Northern Guayana Shield*, End: Cong .Latinoamericano 2, Caracas. MEM Pub .Esp .7, p 3035-3044.

**JENSON & DOMINGUE**, (1988). *Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. vol. 54, No. 11, pp. 1593-1600.

**JIMÉNEZ. R , BERMÚDEZ.M ,CALDERÓN.R.** (2015). *Modelado de la flexura litosférica causada por la Serranía Los Testigos y Los Hermanos sobre las cuencas de los ríos Akanán y Aparamán, Cratón de Guayana*, Caracas. p 30.

**KARNER, G y WATTS ,A.** (1983). *Gravity anomalies and flexure of the lithosphere at mountain ranges*: journal of geophysical research , 88(B12), 10449-10477.

**KENNELLY, P., STEWART, J.**, (2006). *A uniform sky model to enhance shading of terrain and urban elevation models*. Cartography and Geographic Information Science 33 (1), 21–36.

**KENNELLY, P., STEWART, J.**, (2008). *Terrain maps displaying hill-shading with curvature*. Department of Earth & Environmental Science. Elsevier. p566-577.

**KING, L.C.**, (1956). *A geomorphological comparison between Eastern Brazil and Africa (Central and Southern)*. The Quarterly Journal of the Geological Society of London 112:445–474.



- KIRKBY, M.J., ABRAHART, R.J., MCMAHON, M.D., SHAO, J. y THORNES, J.B.**, (1998). *MEDALUS soil erosion models for global change. Geomorphology*, 24: 35-49.
- KIRKBY, M.** (1996). *Hidrological Slope Models: The Influence of Climate*. En: E. Derbyshire (Ed.), *Geomorphology and Climate*, John Wiley.
- KLEIN, K. y HURLBUT, C.** (1997). *Manual de Mineralogía*. 4ª Ed. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- KRUMBEIN & SLOSS**,(1955). *An Introduction to Statical Models in Geology*.Edit McGraw Hill, New York. 475p.
- KRUMBEIN and SLOSS.** (1963). *Stratigraphy and Sedimentation*. A Geology Series. U.S.A. 660 p.
- KLAR, W.**(1979).*Geochronology of the El Manteco-Guri and Guasipati area Venezuela Guayana Shield*. En: Cleveland and Western Res. UNIVER. Ph D-Thesis,p.163.
- LEDRÚ, P y MILESI, J** .(1994).*Marques of the last stage The Paleoproterozoic Collision-Evidence for 2 Ga. Continent*. En :Involving Circun south Atlantic Provinces, V 69 .p.169-191.
- LOPEZ, N y UZCATEGUI, L.** (2014).*Comparación de dos sectores de la formación mesa mediante caracterización mineralógica, textural, geomorfológica y análisis de minerales pesados en el sector central de la cuenca del río Orinoco*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo.
- MÁRMOL L.** (2008). *Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas y Corrección de Torrentes*. Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina.
- MARTELO, M.**, (2003). *La precipitación en Venezuela y su relación con el sistema climático*.INAMEH.Disponible:[http://www.inameh.gob.ve/documentos/precipitacion\\_venezuela\\_relacion\\_sistema%20climatico.pdf](http://www.inameh.gob.ve/documentos/precipitacion_venezuela_relacion_sistema%20climatico.pdf)
- MARTINEZ, J.**, (1999). *Estructuras de datos y aplicaciones en análisis de formas del terreno y en edafología*. Universitat de Lleida; inédito. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Geográfica; inédito; 109 p.
- MARTIN, F, CECILIA**, (1974).*Paleotectónica del Escudo de Guayana* .En: Conf. Geol-Inter Guayanas. Pto. Ordaz. 1972, MEM. Pub. Esp, N6. p. 251-305.



- MAYER, L.**, (1990). *Introduction to quantitative geomorphology: an exercise manual*, Englewood Cliffs NJ, Prentice Hall.
- MILOVSKI, V. Y KÓNONOV, V** (1982). *Mineralogía*. Editorial Mir, Moscú. p 155.
- MENDOZA,S.,VICENTE**,(1975). *Estudios geoquímicos del no-tectonizado Granito de Rapakivi de Parguaza Noroeste Guayana* En: Conf. Geol. Interguayan, 10,Belem,Brasil,Memoria,P.628-656.
- MENDOZA, S., VICENTE**. (1977).*Evolución Tectónica del Escudo de Guayana. Boletín de Geología (Venezuela)*, Publ.Esp.7, p.2237-2270.
- MENDOZA, S., VICENTE**. (2005). *Evolución Geotectónica y recursos minerales en el escudo de Guayana*, Venezuela, p.211.
- MENÉNDEZ, V.** (1994).*Cinturones de Rocas Verdes del Escudo de Guayana en Venezuela, revisión Estratigráfica*. En: III Simposio Internacional del Oro en Venezuela. Libro de Memorias. Asoc Venezolana del Oro, p. 123-139.
- MERRIT, W.S el al.**,(2003).*A review of erosion and sediment transport models Environmental Modelling &Software*,18,p.761-799.
- MONTGOMERY,C.** (1976).*Uranium Lead Geochronology of the Archean Imataca Series. Venezuelan Guayana Shield*, En: Cont to min ans Pet ,V. 69 ,p.167-176.
- MORENO, L y MENDOZA, V.** (1975).*Petroquímica de rocas graníticas del alto de Supamo de la Guayana Venezolana*, En: 10 Conf, Interguayan, Belem Brasil,MEM,p. 430-452.
- MORGAN, R.** (1997). *Erosión y conservación del suelo*. Grupo Mundi-Prensa, España. 341 p.
- MOORE, GRAYSON y 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., LEWIS, A., GALLANT, J.** (1993). *Terrain attributes: Estimation methods and scale effect*. En Jakerman, A. J., Beck, M. B., McAleer, M. J., (eds.) *Modelling Change in Environmental Systems*. New York. NY, John Wiley and Sons: 189-214.
- MCCONNELL, R. B**(1968). *Planation surfaces in Guyana. The Geographical Journal* 134:506–520.

- PÉREZ-GUSSINYÉ, M., A. R. LOWRY, AND A. B. WATTS** (2007), Effective elastic thickness of South America and its implications for intracontinental deformation, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 8, doi:10.1029/2006GC001511.
- PÉREZ-GUSSINYÉ, M., AND A. B. WATTS** (2005), The long-term strength of Europe and its implications for plate-forming processes, *Nature*, Vol 436, doi:10.1038/nature03854.
- PETTIJHON, F. J.** (1975). *Sedimentary rocks*. New York: Harper and Brothers, 628 p.
- PIKE, R. & WILSON S.** (1971). *Elevation- relief ratio hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis*. *Geological Soc. Am. Bull.* 82: 1079-1084.
- PIKE, R. J., EVANS, I. S., & HENGL, T.** (2009). *Geomorphometry: a brief guide*. In T. Hengl & H. I. Reuter (Eds.), *Geomorphometry: concepts, software, applications*. *Developments in Soil Science* 33, 3-30. Amsterdam: Elsevier.
- PRINGLE, I y TEGGIN, D** (1985). *La edad de las rocas piroclásticas intercaladas en el grupo de roraima* „Memorias „VI Cong. Geol.Ven,Caracas 3,1995-2008.
- POUYLLAU, M y SEURIN, M.**(1985). *Pseudo-Karts dans des roches greso quartzitiques de la formation roraima*. *karstología* 5:42,52.
- PUERTA TUESTA, RONALD; JUAN RENGIFO TRIGOZO Y NINO BRAVO MORALES,** (2010). *ArcGis Básico 10*, Universidad Nacional Agrario de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables.p-110
- RAWLE, A.** (2006). *Basic Principles of Particle Size Analysis*. Malvern Instruments Limited (<http://www.malvern.co.uk>), Worcestershire, UK.
- RASBAND, W. y FERREIRA, T.** (2012). *Guía de usuario de ImageJ IJ 1.46r*
- RÍOS, J.** (1972). *Geología de la Región de Caicara, Estado Bolívar*, En: IV Cong. Geol. Venezolano, MEM Pub. Esp, V 5, N3, p.1759-1782.
- RUCKMICK, J.**(1963). *The Iron Ores of Cerro Bolívar, Venezuela*. En: *Econ. Geol.* V58, p.218-236.
- RULL, V.** (1991) .*Contribución a la paleoecología de Pantepuy y la Gran Sabana (Guayana Venezolana): clima, bioestratigrafía y ecología*. *Scientia Guaianae*, 2,p.1-133.
- SAAVEDRA,** (2005). *Estimating spatial patterns of soil erosion and deposition in the Andean region using geo-information techniques*.p.224.
- SANTIAGO, J.E.** (1992). *Aspectos Geomorfológicos y potencial turístico de la cuenca del río Asisa, Edo Amazonas*, p. 1-9.

- SANTIAGO, J.E.** (1992). *Compendio de Geomorfología de Venezuela*. Monografías.com.
- SINGH, D., HERLIN, I., BERROIR, J.P., SILVA, E.F.** (2004). *An approach to correlate NDVI with soil colour for erosion process using NOAA/AVHRR data*. *Advances in Space Research*, 33(3): 328-332.
- SUAREZ, J.** (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Universidad de Santander. Colombia. p.20-85.
- SCHEIDEGGER, A y SCHUBERT, C.** (1989). *Neotectonic provinces and joint orientation of northern south America*, *Journal of south America earth sciences* 2, p.331-341.
- SCHUBERT C.** (1984). *Orígenes geológicos de la Gran Sabana. Paleoclimatología cuaternaria de la cuenca*. En C. GALÁN (ed.). *La Protección de la cuenca del río Caroní*. CVG-Edelca, Div. Cuencas e Hidrología, Caracas, pp.40-45.
- SCHUBERT y BRICEÑO,** (1987). *Origen Topográfico Tepuy*, Una Hipótesis Pantepui, N° 2, p. 11-14.
- SCHUBERT, C y HUBER, O,** (1989). *The Gran Sabana. Panorámica of a región*. Cuadernos Lagoven, Caracas, Venezuela, p. 107.
- STRAHLER.** (1957). *"Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology"*. *Transactions, American Geophysical Union*. Vol 38, pp 913-920.
- TALUKDAR, S, C. y COLVEE, G.P.** (1975). *Nuevos Datos Petrológicos sobre rocas Volcánicas Precámbricas de la Meseta El Viejo, T.F. Amazonas, Venezuela*. En: *Asoc. Venezolana Geol. Min y Met.* V18, p.201-220.
- TASSINARI, C.G y MACAMBIRA, J.** (2000). *Geochronological Provinces Of the Amazonian Cratón*: En: *Episode. Jour. Int. Geosc.* V.22, N3, p.174-182.
- TEXEIRA, W y TASSINARI, C.** (2000). *Nd isotopic constraints on the Protolith age of the Archean Imataca Complex, Venezuela*. En: *31 Int. Geol. Congress, Río de Janeiro, Brasil, Agosto. 2000.*
- TORCAL, L y ZAZO, C.** (1984). *Estudio al M.E.B de las texturas superficiales de los granos de cuarzo y su aplicación a la interpretación de medios actuales y sub actuales*. p115.
- TUCKER, K Y WHIPPLE, G** (2002). *Topographic outcomes predicted by stream erosion models; sensitivity analysis and intermodal comparison*. *Journal of Geophysical Research*. U.S.A. Massachusetts, p. 1671-1684
- TURCOTTE, D.L. & SCHUBERT, G.** (2002). *Geodynamics*. Cambridge University Press, 848

- TUESTA P, J TRIGOZO** (2011). *ArcGIS Básico 10*, Universidad Nacional Agrario de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, p114
- URBANI, F.** (1976). *Comentarios generales y estado actual de los estudios de las formas cárnicas en cuarcitas del grupo Roraima* .Boletín Sociedad Venezolana de Espeleología.7(4),p.289-293.
- URBANI, F.** (1977).*Metamorfismo de las rocas del Grupo Roraima ,Estado Bolívar y territorio federal amazonas* .Memorias ,V, Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 2,p.623-642.
- VILLANUEVA, C,** (2011).*Interpretación geológica mediante el uso de sensores remotos de una zona ubicada al sur de la ciudad de puerto ayacucho - estado amazonas*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo.
- VILLOTA H.** (1992). *El Sistema CIAF de Clasificación Fisiográfica del Terreno*. Revista CIAF, vol. 13, 55–70 (Bogotá).
- VILLOTA, H.** (1999). *Una Nueva Aproximación a la Clasificación Fisiográfica del Terreno*. Revista CIAF, 15 (1): 83–115
- VRIELING, A., STERK, G. AND BEAULIEU, A.,** (2002). *Erosion risk mapping: a methodological case study in the Colombian Eastern Plains*. Journal of Soil and Water Conservation, 57(3): 158-162.
- WADELL, H.** (1932). *Volume, shape, and roundness of rock particles*, *Journal of Geology* 40: p.443–451.
- WATTS, A. B., W. S. MCKERROW, AND E. FIELDING** (2000), *Lithospheric flexure, uplift, and landscape evolution in southcentral England*, *J. Geol. Soc.*, 157(6), 1169–1177, doi: 10.1144/jgs.157.6.1169.
- WILSON, P; GALLANT, J.,** (2000). "Chapter 1". In *Wilson, J.P., and Gallant, J.C. (Eds.). Terrain Analysis: Principles and Applications*. New York: Wiley. ISBN 0-471-32188-5. Retrieved 2007-02-16; 1–27 p.
- WHIPPLE, K.** (2009), *The influence of climate on the tectonic evolution of mountain belts*, *Nature*, 2(2), 97–104.
- YANEZ, G.** (1972).*Provincia Geológica de Roraima: Geología estructural y geomorfología de la parte septentrional entre los ríos Paragua y Caroní*. (Venezuela).Boletín de Geología,Publicación Especial 5(2).p.845-854.
- YANEZ, G.** (1985).*Geología y geomorfología del grupo Roraima en el sureste de Venezuela* .Memorias ,VI Congreso Geológico Venezolano,Caracas.p.1243-1306.

**ZHANG, Y** (2005). *Global tectonic and climatic control of mean elevation of continents, and Phanerozoic sea level change*, *Earth and Planetary Science Letters* 237, p. 524 – 531.