

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



**ESTUDIO GEOQUÍMICO EXPLORATORIO DE LA CUENCA  
DEL RÍO MARCELA, MUNICIPIO HERES, ESTADO BOLÍVAR.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
PRESENTADO POR LOS  
BACHILLERES BOLÍVAR C.,  
MARYMAR DEL R., Y SILVERA  
G., JOSÈ J. PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE GEÓLOGO**

**CIUDAD BOLÍVAR, ENERO DE 2011**

## HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado intitulado “**ESTUDIO GEOQUÍMICO EXPLORATORIO DE LA CUENCA DEL RÍO MARCELA, MUNICIPIO HERES, ESTADO BOLÍVAR.**”, presentado por los bachilleres: **Bolívar Marymar** y **Silvera José**, ha sido aprobado, de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

**Nombre:**

**Firma:**

Profesor Jorge Abud

(Asesor)

Jurado

Jurado

---

**Profesora Rosario Rivadulla**  
**Jefe del Departamento de Geología**

Ciudad Bolívar \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2011.

## **DEDICATORIA**

Ante todo a mi Dios Todopoderoso y a mi Virgencita Del Valle porque siempre me han acompañado en todo momento.

A las personas más importantes de mi vida María Colmenares y Marcos Bolívar, ustedes que son todo para mí y que siempre están a mi lado sosteniéndome la mano y con un consejo a tiempo y que gracias a ustedes soy como soy, no hay palabras para describir lo grande que son mis viejos. Aquí está reflejado nuestros sueños y esfuerzos que juntos luchamos para salir adelante, y con su apoyo lograré mis metas.

A Lula que desde comienzos de mi vida ha estado apoyándome en todas las facetas de mi existencia .A mi hermanito del alma Marcos a quien le debo mucho lo que soy, gracias, te quiero mucho. A mi sobrino Marco Aurelio y mi hermano Williams, que sigan el ejemplo de ser un hombre de bien, y que con sacrificio se logra todo. A todos mis familiares que estuvieron a mi lado colaborando en mi formación académica y personal. A mis hermanos de corazón Nairoby Odremán y Víctor Medina por sus consejos y estar allí cuando la necesito.

MARYMAR BOLÍVAR

## **DEDICATORIA**

Ante todo a Dios Todopoderoso por acompañarme siempre y ser mi guía en cada paso.

A las dos personas más importantes en mi vida, mis padres José Silvera y Eneida Guevara. A ellos les dedico el primer sueño de mi vida.

A mi hermano Gabriel (porque un hermano es un tesoro muypreciado que hay que valorar).

A mis casi hermanos Daniel, Tulio y Andrés (Un amigo verdadero es alguien que cree en tí aunque tu hayas dejado de creer en tí mismo).

**JOSÉ J. SILVERA G.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la vida y acompañarme a cada instante junto con la Virgencita Del Valle.

A mis padres por acompañarme en toda mi vida, no hay palabras para describir mi agradecimiento hacia ustedes. A todos mis familiares y amigos que han estado pendientes y apoyándome, que creyeron en mí y contribuyeron con mi desarrollo personal y profesional. Gracias por todos los momentos compartidos.

A la Universidad de Oriente, al personal docente, administrativo y empleados que hacen posible el funcionamiento de nuestra Casa más Alta. A todas aquellas personas que nos tendieron una mano amiga y contribuyeron en nuestra formación universitaria.

Al Profesor Jorge Abud nuestro tutor académico, por su paciencia, consejos, apoyo, por ser excelente profesional y persona. A mi compañero de Trabajo de grado Javier Silvera.

MARYMAR BOLÍVAR

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres por brindarme amor, cariño, comprensión y por ayudarme a hacer posible este logro, por estar ahí cada día. Por enseñarme en cada paso y gracias a ustedes soy lo que soy. Por estar ahí en cada tropiezo y luego cuando me levanto, por ser mis luces en el camino. A mi hermano Gabriel por apoyarme en cada momento que era necesario. Por ser mi hermano y el amigo más cercano. A mi compañera de tesis Marymar Bolívar por haber hecho posible la realización de este trabajo, por brindarme sus consejos y regalarme su amistad. A mi tutor el Profesor Jorge Abud, por ayudarme, por brindarme su amistad y orientarme cuando era necesario. A Mervin Salazar por el apoyo brindado. A mis casi hermanos Tulio, Ortiz, Keiber, Daniel Angulo, Andrés, Daniel Brito y Héctor, porque no es fácil conseguir verdaderos amigos. Este es el primer paso amigos. A mis tíos Yolisbeth y José Luis, sin su ayuda y apoyo nunca hubiera sido posible. Igualmente para mis tíos Reina Silvera y Jorge Capella. A cada una de las personas que de uno u otro modo hicieron posible esto, a todos ustedes lo resumo en dos palabras:

**MUCHAS GRACIAS!!**

**JOSÉ J. SILVERA G.**

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en la zona Sur de Ciudad Bolívar, específicamente en la dirección SE-NW desde la naciente del río Marcela (vía Ciudad Piar) hasta la desembocadura (vía Maripa) respectivamente. La investigación tiene como objetivo principal el estudio geoquímico a nivel exploratorio, con la finalidad de determinar las unidades y estructuras geológicas así como las características químicas y/o mineralógicas de la zona e identificar las posibles anomalías geoquímicas. Para la realización de dicha investigación se ejecutó una inspección de las vías de acceso a la zona de estudio, hasta llegar a la naciente del río ubicada cerca del fundo “Corocito”, específicamente; y a partir de allí, se elaboró un recorrido a través de toda la longitud del río recolectándose treinta y cinco (35) muestras de sedimentos y cinco (5) muestras de las rocas más representativas de la zona. A estos sedimentos se les realizaron análisis químicos aplicando el método de espectrometría de absorción atómica para detectar las concentraciones de Cadmio, Cinc, Cobalto, Cobre, Cromo, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plomo y Titanio. También se realizaron análisis para determinar los minerales pesados presentes en los sedimentos, además de análisis químicos y petrográficos a las rocas muestreadas. Dichas muestras se tomaron con el fin de reconocer los rasgos sedimentológicos de la zona; así como también, la procedencia de las partículas sedimentarias; y a su vez, para conocer los elementos predominantes en ellos, arrojando como resultado que su fuente de origen son rocas ferromagnesianas como es el caso de rocas anfibolíticas y cuarcitas ferruginosas, además gneis cuarzo-feldespático y gneis granítico mostrando una composición química variada. Una vez obtenidos los resultados para cada elemento se procedió al vaciado en hojas de cálculos Excel para la elaboración de las cajas gráficas alcanzando así una mejor visualización, interpretación y distribución de los valores y logrando unas deducciones más satisfactorias y evitar errores por cálculos manuales. El producto de los análisis fueron valores anómalos para el Cobalto, Cromo, Hierro, Níquel y por último Plomo, considerándose éstos como pertenecientes a valores de fondo dando como resultado concentraciones relativamente altas más no significantes de los metales presentes en la zona, donde se plasmaron en el mapa base. Con relación a los minerales pesados se encontraron que predominaban Hematita, Goethita e Ilmenita y en menor porcentaje Zircón, Anfíbol, Clorita, Biotita, Piroxeno y Esfena y con respecto a las rocas muestreadas se determinaron que eran Anfibolita y gneis granítico en su mayoría.

## CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	v
RESUMEN.....	vii
CONTENIDO .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
LISTA DE TABLAS .....	xvi
LISTA DE ANEXOS .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I. SITUACIÓN A INVESTIGAR .....	2
1.1. Situación a investigar .....	2
1.2. Objetivos de la investigación .....	3
1.2.1. Objetivo general .....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Justificación de la investigación.....	4
1.4. Alcance de la investigación.....	4
1.5. Limitaciones .....	5
CAPÍTULO II. GENERALIDADES .....	6
2.1. Ubicación geográfica del área de estudio.....	6
2.2. Accesibilidad al área de estudio .....	6
2.3. Características físico – naturales .....	8
2.3.1. Clima .....	8
2.3.1.1. Temperatura .....	8
2.3.1.2. Humedad relativa.....	8
2.3.1.3. Vientos .....	8
2.3.1.4. Radiación Solar.....	8
2.3.1.5. Insolación.....	9
2.3.1.6. Precipitación. ....	9
2.3.1.7. Evaporación .....	9
2.3.2. Drenaje .....	10
2.3.3. Vegetación.....	10
2.3.3.1. Vegetación de sabana con chaparro.....	10
2.3.3.2. Vegetación de bosque de galerías.....	11
2.3.4. Fauna.....	11
2.3.5. Suelos.....	11
2.3.6. Geomorfología.....	12

2.4. Geología regional .....	14
2.4.1. Antecedentes .....	14
2.4.1.1. Provincia Imataca (Precámbrico Temprano), estado Bolívar .....	14
2.4.1.2. Descripción litológica .....	17
2.4.1.3. Metamorfismo.....	20
2.4.1.4. Ambiente tectónico .....	20
2.4.2. Formación Mesa .....	21
2.4.2.1. Descripción litológica.....	21
2.4.2.2. Espesor.....	22
2.4.2.3. Contactos .....	23
2.4.2.4. Fósiles .....	23
2.4.2.5. Edad. ....	23
2.4.2.6. Correlación. ....	23
2.4.2.7. Paleoambientes. ....	23
2.4.3. Sedimentos recientes .....	24
2.5. Geología local.....	24
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.....	26
3.1. Antecedentes .....	26
3.2. Definición de términos básicos .....	27
3.2.1. Mapa .....	27
3.2.1.1. Mapa geológico .....	28
3.2.2. Estructuras geológicas.....	28
3.2.3. Sondeo geotécnico.....	28
3.2.4. Muestreo geoquímico .....	28
3.2.5. Geoquímica .....	29
3.2.5.1. Método geoquímico de exploración. ....	29
3.2.6. Fondo, valores normales de fondo .....	30
3.2.7. Valor umbral.....	32
3.2.8. Anomalías geoquímicas .....	32
3.2.9. Tipos de anomalías geoquímicas.....	32
3.2.9.1. Anomalías epigenéticas en las rocas de caja. ....	32
3.2.9.2. Anomalía causada por difusión de elementos .....	33
3.2.9.3. Anomalía de corrosión o de lixiviación.....	35
3.2.9.4. Anomalías en aguas .....	36
3.2.9.5. Anomalías en sedimentos de drenaje.....	36
3.2.9.6. Anomalías en suelos residuales .....	37
3.2.9.7. Anomalías en 'Gossan' y cubiertas afectadas por corrosión y lixiviación .....	38
3.2.10. Métodos analíticos y sus aplicaciones .....	39
3.2.10.1. Espectro de emisión .....	39
3.2.10.2. Espectro de absorción .....	39

3.2.11. Espectrometría de absorción atómica .....	40
3.2.12. Parámetros estadísticos.....	40
3.2.12.1. Media .....	41
3.2.12.2. Mediana .....	41
3.2.12.3. Moda .....	41
3.2.12.4. Cuartiles .....	41
3.2.12.5. Umbral .....	41
3.2.12.6. Anomalía.....	41
3.2.12.7. Gráfico de cajas.....	42
3.2.13. Rocas ígneas .....	42
3.2.14. Clasificación de las rocas ígneas .....	43
3.2.14.1. Clasificación descriptiva.....	43
3.2.14.2. Clasificaciones químicas .....	44
3.2.14.3. Clasificación modal .....	44
3.2.15. Rocas metamórficas.....	46
3.2.16. Clasificación de las rocas metamórficas.....	46
3.2.16.1. Rocas foliadas. ....	46
3.2.16.2. Pizarra. ....	47
3.2.16.3. Esquistos.....	47
3.2.16.4. Gneis .....	47
3.2.16.5. Rocas no foliadas .....	47
3.2.16.6. Mármol.....	47
3.2.16.7. Cuarzita. ....	48
3.2.16.8. Corneanas.....	48
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	49
4.1. Tipo de investigación .....	49
4.2. Diseño de la investigación.....	49
4.3. Recopilación de información bibliográfica .....	50
4.4. Identificación de las unidades geológicas correspondientes al área en estudio.....	51
4.5. Identificación de las estructuras geológicas presentes en el área de estudio...	52
4.6. Determinación de las características químicas de los sedimentos a través del método estadístico.....	56
4.7. Determinación de las características mineralógicas de los sedimentos presentes del río en estudio.....	57
4.8. Análisis químico a las rocas presentes en el área de estudio.....	59
4.9. Determinación de las características petrográficas de las rocas presentes en el área de estudio.....	60
4.10. Aplicación de un método estadístico apropiado en la determinación de las anomalías presentes en el área de estudio.....	65
4.11. Determinación de las fuentes de minerales en la cuenca de estudio.....	67

4.12. Elaboración de los mapas correspondientes a los aspectos geológicos y a las áreas del muestreo .....	67
<b>CAPÍTULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>69</b>
5.1. Identificación de las unidades geológicas correspondientes al área en estudio .....	69
5.1.1. Complejo de Imataca.....	69
5.1.2. Formación Mesa.....	72
5.1.3. Sedimentos recientes .....	73
5.2. Identificación de las estructuras geológicas presentes en el área de estudio...	73
5.3. Determinación de las características químicas de los sedimentos a través del método estadístico.....	74
5.3.1. Cadmio .....	76
5.3.2. Cinc .....	77
5.3.3. Cobalto.....	78
5.3.4. Cobre .....	79
5.3.5. Cromo .....	80
5.3.6. Hierro.....	81
5.3.7. Manganeso .....	82
5.3.8. Molibdeno .....	83
5.3.9. Níquel .....	84
5.3.10. Plomo.....	85
5.3.11. Titanio.....	86
5.4. Determinación de las características mineralógicas de los sedimentos presentes en el área de estudio.....	87
5.4.1. Concentrados pesados .....	87
5.4.1.1. Muestra 1 .....	88
5.4.1.2. Muestra 2 .....	88
5.4.1.3. Muestra 3 .....	88
5.4.1.4. Muestra 4 .....	89
5.4.1.5. Muestra 5 .....	89
5.4.1.6. Muestra 6. ....	89
5.4.1.7. Muestra 7 .....	89
5.5. Análisis químico de las rocas presentes en el área de estudio.....	94
5.6. Análisis petrográfico de las rocas presentes en el área de estudio .....	95
5.6.1. Muestra N-1 .....	95
5.6.1.1. Tipo de muestra .....	95
5.6.1.2. Descripción macroscópica de la muestra.....	95
5.6.1.3. Textura de la roca .....	96
5.6.1.4. Minerales en orden de abundancia decreciente. ....	96
5.6.2. Muestra S-1 .....	97
5.6.2.1. Tipo de muestra .....	97

5.6.2.2. Descripción macroscópica de la muestra.....	97
5.6.2.3. Textura de la roca .....	97
5.6.2.4. Minerales en orden de abundancia decrecientes.....	97
5.6.3. Muestra S-2.....	98
5.6.3.1. Tipo de muestra. ....	98
5.6.3.2. Descripción macroscópica de la muestra.....	98
5.6.3.3. Textura de la roca .....	98
5.6.3.4. Minerales en orden de abundancia decreciente .....	98
5.6.4. Muestra R-1 .....	100
5.6.4.1. Tipo de muestra .....	100
5.6.4.2. Descripción macroscópica de la roca .....	100
5.6.4.3. Textura de la roca .....	100
5.6.4.4. Minerales en orden de abundancia decreciente .....	100
5.6.5. Muestra R-2.....	101
5.6.5.1. Tipo de muestra .....	101
5.6.5.2. Descripción macroscópica de la roca .....	101
5.6.5.3. Textura de la roca. ....	101
5.6.5.4. Minerales en orden de abundancia decreciente .....	102
5.7. Elaboración de los mapas correspondientes a los aspectos geológicos y a las áreas del muestreo .....	103
5.7.1. Mapa geológico .....	103
5.7.2. Mapa de muestreo .....	103
5.7.2.1. Sector Las Nieves .....	106
5.7.2.2. Sector Santa Rosa .....	107
5.7.2.3. Sector Santa Rita.....	107
5.7.2.4. Sector Las Cocuizas.....	108
5.7.2.5. Sector Rancho Alegre .....	110
5.7.2.6. Sector La Esperanza .....	113
5.7.2.7. Sector La Alcabala.....	115
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	 117
Conclusiones.....	117
Recomendaciones.....	120
 REFERENCIAS.....	 121
 ANEXOS .....	 124

## LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 Ubicación relativa de la cuenca hidrográfica del Río Marcela en el Municipio Heres en el Estado Bolívar (adaptada Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A, 1.991).....	7
2.2 Mapa geológico generalizado del Escudo de Guayana destacando la Provincia Geológica de Imataca y su relación litotectónica con los cratones de Sudamérica y África (Adaptada de Sidder, G.B. y Mendoza, V. 1.995 y Martín, 1.972 en Mendoza, V. 2000) .....	15
2.3 Mapa geológico esquemático del Complejo de Imataca (Mendoza, V. 2000).....	16
2.4 Extensión geográfica de la Formación Mesa (modificada de PDVSA-Intevp, op. cit).....	22
4.1 Flujograma de la metodología de trabajo.....	51
4.2 Identificación de las estructuras geológicas, sector La Alcabala.....	53
4.3 Recolección de muestras de sedimentos, sector Fundo La Esperanza.....	54
4.4 Vibrador Rotap empleado para el proceso de tamizado.....	57
4.5 Concentración de minerales pesados mediante uso de Bromoformo.....	58
4.6 Cortadora dientes de diamante.....	61
4.7 Cortes de rocas para elaboración de secciones delgadas.....	62
4.8 Abrasivos (400, 600, 1000) para pulir las muestras de las secciones delgadas.....	63
4.9 Corte de las láminas delgadas para montar las muestras de las rocas.....	64
4.10 Desbastadora automática (PETROTHIN).....	65
5.1 Afloramientos pertenecientes al Complejo de Imataca, en el sector Santa Rosa.....	70
5.2 Afloramiento perteneciente al Complejo de Imataca en el sector La Alcabala.....	70
5.3 Veta de cuarzo perteneciente al afloramiento en el sector La Alcabala.....	71
5.4 Intercalaciones de cuarcitas ferruginosas y material alterado de gnéis cuarzo-feldespáticos, sector La Alcabala .....	72
5.5 Afloramiento perteneciente a la Formación Mesa.....	73
5.6 Diaclasas en el sector La Alcabala.....	74
5.7 Distribución de las concentraciones de Cadmio.....	76
5.8 Distribución de las concentraciones de Cinc.....	77
5.9 Distribución de las concentraciones de Cobalto.....	79
5.10 Distribución de las concentraciones de Cobre.....	80
5.11 Distribución de las concentraciones de Cromo.....	81
5.12 Distribución de las concentraciones de Hierro.....	82
5.13 Distribución de las concentraciones de Manganeso.....	83

5.14 Distribución de las concentraciones de Molibdeno. ....	84
5.15 Distribución de las concentraciones de Níquel. ....	85
5.16 Distribución de las concentraciones de Plomo.....	86
5.17 Distribución de las concentraciones de Titanio. ....	87
5.18 Microfotografía de los minerales pesados encontrados en la muestra 1 de los sedimentos de la cuenca del río Marcela. ....	90
5.19 Microfotografía de los minerales pesados encontrados en la muestra 2 de los sedimentos de la cuenca del río Marcela. ....	91
5.20 Microfotografía de minerales pesados encontrados en la muestra 3 de los sedimentos de la cuenca del río Marcela. ....	91
5.21 Microfotografía de los minerales pesados encontrados en la muestra 4 de los sedimentos de la cuenca del río Marcela. ....	92
5.22 Microfotografía de los minerales pesados encontrados en la muestra 5 de la cuenca del río Marcela.....	92
5.23 Microfotografía de los minerales pesados encontrados en la muestra 6 de la cuenca del río Marcela.....	93
5.24 Microfotografía de los minerales pesados encontrados en la muestra 7 de la cuenca del río Marcela.....	93
5.25 Muestra N-1 Anfibolita. Minerales prismáticos de anfíbol entre crecidos con orientación bien definida en asociación con cristales anhedrales de cuarzo.....	96
5.26 Microfotografía de la muestra S - 1 Gneis Granítico.....	98
5.27 Muestra S-2 vista bajo el microscopio con analizador. Obsérvese el intercrecimiento de cuarzo y feldespato. ....	99
5.28 Muestra R-1 Gneis granítico. Se observa el feldespato potásico bien fracturado.....	101
5.29 Muestra R-2 Gneis granítico. Obsérvese el cuarzo, microclina, plagioclasas y minerales opacos.....	102
5.30 Mapa Geológico de la cuenca del río Marcela.....	104
5.31 Mapa de muestreo de rocas y sedimentos de la cuenca del río Marcela.....	105
5.32 Meteorización que sufren los afloramientos graníticos Sector Las Nieves. ....	106
5.33 Desprendimientos de capas de rocas a causa del intemperismo, Sector Santa Rosa. ....	107
5.34 Suelo erosionado, produciendo cárcavas de 1 metro de espesor localizada en el sector Santa Rita a 15 metros de la orilla del río Marcela. ....	108
5.35 Coloración de los suelos. Sector Las Cocuizas.....	109
5.36 Material rocoso o costra ferruginosas meteorizado, aflorando en una terraza aluvial. Sector Las Cocuizas.....	110
5.37 Afloramiento perteneciente al sector Rancho Alegre. ....	111
5.38 Sedimentos recientes en el cauce del río Marcela, en el sector Rancho Alegre. ....	112
5.39 Afloramiento de una isla de arena, sector Rancho Alegre. ....	113
5.40 Recolección de muestras de sedimentos Sector Fundo La Esperanza. ....	113

5.41 Detalle de un suelo laterítico, producto de la meteorización y posterior deposito del Feldespato Potásico.....	114
5.42 Reconocimiento del sector La Alcabala.....	115
5.43 Gneis cuarzo-feldespático alterado con intercalaciones de cuarcitas ferruginosas, sector La Alcabala. ....	116

## LISTA DE TABLAS

	Página
2.1 Promedio de la composición química de las rocas del Complejo de Imataca. 1.Granulitas félsicas ácidas rojas; 2.Granulitas félsicas ácidas verdes; 3.Gneises graníticos, 4.Granulitas félsicas intermedias; 5.Granulitas Hornablenditas máficas, 6.Anfibolitas, 7.Granulitas Biotíticas máficas. Dougan, T.W en Mendoza, V. (2000).....	18
3.1 Abundancia normal de los elementos químicos en rocas de la corteza terrestre (Rose et al., 1979).....	31
5.1 Composición química de los sedimentos de la cuenca del río Marcela. Las concentraciones están expresadas en partes por millón (ppm). Cd: Cadmio, Zn: Zinc, Co: Cobalto, Cr: Cromo, Fe: Hierro, Mn: Manganeso, Ni: Níquel, Pb: Plomo, Ti: Titanio .....	75
5.2 Contenido porcentual de minerales pesados en los sedimentos de la cuenca del río Marcela. ....	90
5.3 Composición química en ppm de rocas del complejo de Imataca, cuenca del río Marcela. 1. Anfibolita; 2, 3, 4, 5 Gneis Granítico; 6. Promedio de concentración calculado para los gneises (Muestras 2; 3; 4; 5).....	95

## **LISTA DE ANEXOS**

- 1 MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO MARCELA. MUNICIPIO AUTÓNOMO HERES. ESTADO BOLÍVAR
- 2 MAPA DE MUESTREO DE SEDIMENTOS Y ROCAS DE LA CUENCA DEL RÍO MARCELA. MUNICIPIO AUTÓNOMO HERES. ESTADO BOLÍVAR
- 3 MAPA CON VALORES REPRESENTATIVOS DEL CONTENIDO DE Co Y Ni EN LAS MUESTRAS.
- 4 MAPA CON VALORES REPRESENTATIVOS DEL CONTENIDO DE Fe, Cr y Pb EN LAS MUESTRAS
- 5 RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO DE SEDIMENTOS

## **INTRODUCCIÓN**

El estado Bolívar cuenta con una gran cantidad de ríos, muchos de los cuales no han sido estudiados a profundidad o no se tiene información recopilada; uno de estos es el río Marcela, cuya cuenca se encuentra ubicada al Suroeste de Ciudad Bolívar, en el Estado Bolívar; por esta razón se realiza un estudio geoquímico a nivel exploratorio de este afluente para determinar las naturaleza químicas de la zona e identificar la presencia de anomalías, se realiza un trabajo de campo para el reconocimiento del área y toma de muestras, las cuales se llevan al laboratorio y analizan química y petrográficamente para tener información importante de la cuenca del río Marcela y dar base a nuevas investigaciones más exhaustivas y a detalle.

El presente documento está estructurado en cinco (5) capítulos. El capítulo I contiene el objetivo general de la investigación así como también los objetivos específicos, limitaciones de la investigación, alcance de la misma y justificaciones. El capítulo II contiene las generalidades de la investigación. El capítulo III contiene el marco teórico de la investigación. El capítulo IV contiene la metodología utilizada. Y en el capítulo V se encuentran los análisis de resultados de la investigación así como también las conclusiones y las recomendaciones.

# **CAPÍTULO I**

## **SITUACIÓN A INVESTIGAR**

### **1.1. Situación a investigar**

Entre los requisitos primordiales para el desarrollo de un país está el de conocer sus recursos minerales, el aprovechamiento racional de los mismos y evitar el deterioro y contaminación del medio ambiente. En la actualidad la prospección geoquímica en Venezuela tiene un papel importante para localizar yacimientos minerales, debido a que cumple con parámetros básicos establecidos para divisar la dispersión de un determinado metal y así encontrar una posible fuente de emisión.

En Venezuela unos de los estudios más relevantes es el actual realizado por el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), el cual consiste en la elaboración de un mapa geoquímico de Venezuela a escala 1:100.000 donde se pretende conocer el comportamiento físico-químico del territorio nacional para ubicar y delimitar los principales blancos exploratorios del país y así orientar con una base sólida los esfuerzos y recursos en la exploración minera a detalle.

La cuenca hidrográfica del río Marcela se encuentra localizada a 8 km al Suroeste de Ciudad Bolívar. El área comprende 76.825 Has aproximadamente y está ubicada dentro de los puntos de coordenadas UTM N 839.550,00 E 443.812,00 y N 889.991,00 E 430.443,00 correspondiente a la naciente y desembocadura del río respectivamente.

La cuenca en estudio ha sido objeto de múltiples erosiones a través del tiempo, donde se tiene como consecuencia la desintegración de las rocas, siendo estas

partículas transportadas por el agua a lo largo de su cauce para luego ser depositadas en acumulaciones de arenas.

La cuenca hidrográfica del río Marcela no ha sido objeto de estudios geoquímicos exploratorios por lo tanto se requiere definir rasgos químicos para reconocer las posibles anomalías de minerales de interés y así definir la presencia o no de estos elementos.

## **1.2. Objetivos de la investigación**

### 1.2.1. Objetivo general

Estudiar geoquímicamente la cuenca del río Marcela, Municipio Heres, Estado Bolívar.

### 1.2.2. Objetivos específicos

Identificar las unidades geológicas correspondientes al área en estudio.

Identificar las estructuras geológicas presentes en el área de estudio.

Determinar las características químicas de los sedimentos presentes en la cuenca del río Marcela a través de un método estadístico.

Determinar las características mineralógicas de los sedimentos presentes en la cuenca del río Marcela.

Analizar químicamente las rocas presentes en el área de estudio.

Analizar petrográficamente las rocas presentes en el área de estudio.  
Determinar las posibles fuentes de minerales en la cuenca de estudio.

Elaborar los mapas correspondientes a los aspectos geológicos y a las áreas de muestreo.

### **1.3. Justificación de la investigación**

Con la aplicación de un estudio exploratorio desde el punto de vista geoquímico en la cuenca del río Marcela, se definirían las particularidades químicas con respecto a la presencia y distribución de posibles anomalías minerales en esta zona, lográndose de esta manera un enfoque detallado de la naturaleza química de la cuenca susceptible al estudio y de las unidades geológicas presentes. La importancia de esta investigación recae en que la información recopilada sería la única base de datos existente para la cuenca del río Marcela ya que se desconocen estudios previos o estos no se han preservado en el tiempo.

### **1.4. Alcance de la investigación**

Esta investigación aplica para toda la cuenca del río Marcela el cual comprende unas 76.825 Has. Que será estudiada desde su nacimiento en las proximidades del sector Las Nieves hasta la desembocadura del mismo con el río Orocopiche en el sector la alcabala.

### **1.5. Limitaciones**

Dificultad de acceso a la zona de estudio, debido a las pocas y deficientes vías de penetración.

Falta de transporte para trasladarse a la zona de estudio.

Escasa información bibliográfica del área de estudio.

Falta de autorización para el acceso a áreas privadas por las cuales pasa el río.

## **CAPÍTULO II**

### **GENERALIDADES**

#### **2.1. Ubicación geográfica del área de estudio**

La cuenca hidrográfica del río Marcela se encuentra localizada a 8 kilómetros al Suroeste de Ciudad Bolívar, en el Municipio Autónomo-Heres del estado Bolívar. El área comprende 76.825 Has. Aproximadamente y está ubicada dentro de los puntos de coordenadas UTM: N. 839.550,00 E. 443.812,00 y N. 889.991,00 y E. 430.433,00 correspondientes a la naciente y desembocadura del río respectivamente (Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A., 1.991) (Figura 2.1).

#### **2.2. Accesibilidad al área de estudio**

El acceso al área de estudio se efectúa a través de la carretera vía Ciudad Piar (troncal 16) que permite el acceso a la naciente del río en el sector Las Nieves a través del hato Corocito aproximadamente, o bien a través de la carretera que conduce a la población de Maripa, en la desembocadura del mismo con el río Orocopiche en el sector La Alcabala. Estas carreteras que conducen a los hatos que pasan por dicho río son engranzonadas o en su mayoría de tierra.

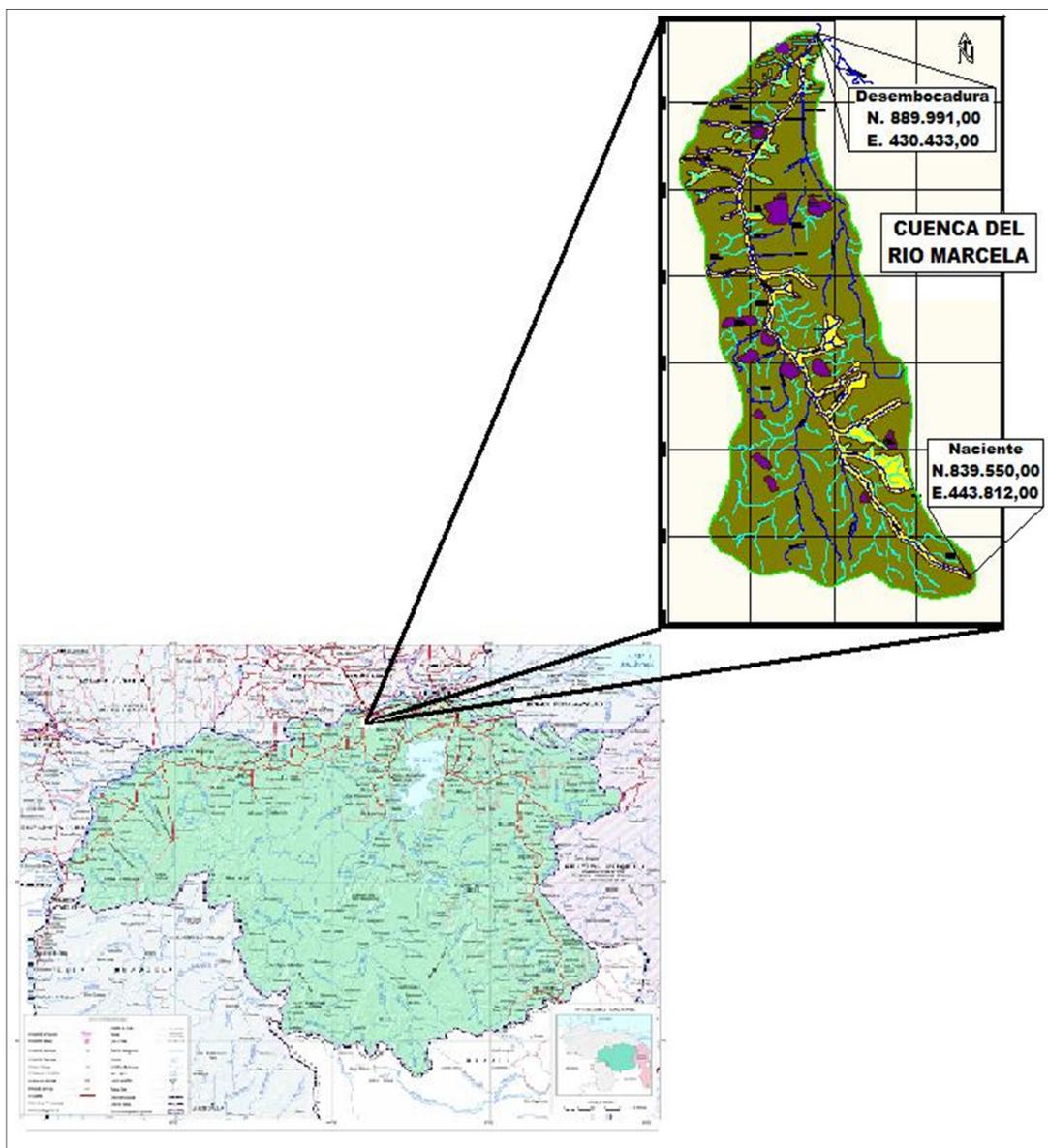


Figura 2.1 Ubicación relativa de la cuenca hidrográfica del Río Marcela en el Municipio Heres en el Estado Bolívar (adaptada Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A, 1.991).

## 2.3. Características físico – naturales

### 2.3.1. Clima

Las características climatológicas fundamentales del área son especifican a continuación.

2.3.1.1. Temperatura: la temperatura media mensual para la zona es de 27,7 °C, la máxima media es de 29.1 °C y la mínima media es de 26,7 °C; con un comportamiento, tanto temporal como espacial, poco variable debido a la ubicación geográfica del área dentro de la Zona Intertropical y al poco desnivel topográfico.

2.3.1.2. Humedad relativa: la media anual se ubica en 79,364%. Los valores máximos de humedad relativa se presentan durante la época de Junio (83,38%), Julio (84,62%) y Agosto (80,46%); mientras que los valores mínimos se alcanzan en la época de Marzo y abril con un promedio de 71,80%.

2.3.1.3. Vientos: la velocidad media anual predominantes es de 11,761 m/s y su dirección prevaleciente es en sentido Este-Noreste (ENE). Los vientos tienen un régimen determinado por los vientos alisios, los efectos orográficos locales y la convergencia intertropical (CIT) (Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A., 1.991).

2.3.1.4. Radiación Solar: el área en estudio recibe una radiación solar promedio anual de 16,538 Cal/min.cm<sup>2</sup>. La radiación solar presenta una distribución bimodal en el año, con valores máximos en Marzo (17,97 Cal/min.cm<sup>2</sup>), Agosto (17,65 Cal/min.cm<sup>2</sup>) y Septiembre (17,78 Cal/min.cm<sup>2</sup>) (Servicio de Meteorología FAV, 2.008)

2.3.1.5. Insolación: El área de estudio recibe un promedio de brillo solar de 7,48 horas aproximadamente. La máxima insolación media se alcanza durante el mes de Marzo (8,18 horas de Sol), y la mínima durante el mes de Junio (6,41 horas) (según datos del Servicio de Meteorología FAV, 2.008).

2.3.1.6. Precipitación: los promedios de precipitaciones se ubicaron para la media anual en 82,778 mm. y para el total anual en 1076,115 mm., aproximadamente. La pluviosidad aumenta de Norte a Sur (Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A., 1.991), presentándose dos períodos: Uno lluvioso, que va desde Mayo hasta Septiembre con Julio como el mes de mayor pluviosidad (197,5 mm); y otro de sequía, que va desde Octubre hasta Abril, siendo los meses de Febrero y Marzo los que registran la pluviosidad más baja del año (16,95 y 17,97 mm respectivamente) (según datos del Servicio de Meteorología FAV, 2.008). Los meses de Abril y Noviembre se comportan como transicionales entre los períodos de sequía y lluvia y viceversa respectivamente.

2.3.1.7. Evaporación: El volumen de agua evaporada en Ciudad Bolívar y sus alrededores no se presenta constante a lo largo de todo el año y depende, principalmente, de las diferencias estacionales que presenta, la radiación solar incidente, la temperatura del aire, el vector viento, el contenido de vapor de agua en la atmósfera inmediata y la nubosidad (Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A., 1.991).

El promedio de la evaporación media anual se ubica en 127,939 mm., mientras que el del total anual oscila alrededor de 1.663,215 mm., para el período en cuestión. Los meses de mayor evaporación van desde Enero hasta Mayo con máximos durante Marzo (174,3 mm) y Abril (175,5 mm.) debido a las altas temperaturas, la mayor cantidad de horas de brillo solar, la baja humedad relativa así como también al sensible aumento de la velocidad del viento (según datos del Servicio de

Meteorología FAV, 2.008). La evaporación registra su valor más bajo durante los meses que van desde Junio hasta Diciembre, con mínimos en Junio (87,03mm.) y Julio (86,04 mm.) (Según datos del Servicio de Meteorología FAV, 2.008).

### 2.3.2. Drenaje

El cauce del río Marcela tiene una longitud de 67 Km. aproximadamente en dirección Noroeste, su patrón de drenaje es dendrítico y las fallas inferidas en el mapa actúan como control tectónico de diversos tramos del río.

### 2.3.3. Vegetación

La vegetación presente en el área de estudio es típica de sabana, y prevalecen dos tipos, como se describe a continuación.

2.3.3.1. Vegetación de sabana con chaparro: la vegetación con chaparro se caracteriza principalmente por dos tipos de vegetación: la vegetación herbácea, que está constituida por una cobertura graminiforme de baja altura, entre la cual las especies más abundantes son la paja peluda (*Trachypogon plumosus*) escobilla (*Ecoparia dulcis*), dormidera (*Mimosa dorens*), entre otras; y la vegetación arbustiva que está conformada por árboles de 2 a 4 metros de altura. Entre la vegetación arbustiva se mencionan el chaparro (*Curatella americana*), manteco (*Bowdichia virgilioides*), mandinga (*Roupals complicata*) y en proporción menor el mango (*Mangifera indica*) entre otras. Esta clase de vegetación es típica de zonas tropicales pero es adaptable, incluso, a zonas con climas diferentes, es decir, que pudiere haber el caso de un sitio específico que posea este tipo de vegetación, sin pertenecer geográficamente al cinturón tropical (C.V.G Técnica Minera C.A, op.cit).

2.3.3.2. Vegetación de bosque de galerías: a lo largo de las zonas húmedas, específicamente en los márgenes de los ríos, se presentan una cobertura vegetal; arborescencia de tipo selvático, denominada “bosque de galería” (C.V.G Técnica Minera C.A op, cti).

#### 2.3.4. Fauna

La fauna silvestre en el área de estudio y su zona de influencia es relativamente escasa y poco variada, apreciándose la presencia de algunas aves tales como: loros, pericos, paraulatas, azulejos y palomas sabaneras; y entre los mamíferos pequeños encontramos ratones, conejos, rabi-peláos, lapas. Entre los reptiles se tienen lagartijas, serpientes y morrocoyes (*Geocheloesp*). De estas especies sólo una, el morrocoy, está bajo protección especial. La mayoría de las especies aquí presentes se encuentran ampliamente distribuidas en el resto de la región (C.V.G Técnica Minera C.A, op. cit).

#### 2.3.5. Suelos

El área abarca una extensión de 76.825 hectáreas, se encuentra representada fundamentalmente por suelos de la unidad cartográfica UE<sub>1</sub> -Lo (Ultisoles, Entisotes; Knhaplohumults, esqueléticos; Ustorthents, muy superficiales – Lomerío), con paisaje de Lomerío medio, de topografía quebrada y pendientes que oscilan entre 30% y 60%, presenta relieves predominantes fila y glacis, localmente se presentan zonas depresionales bordeando a dichos relieves, los cuales funcionan como drenaje natural del paisaje.

Son suelos comúnmente, superficiales (30 cm. – 50 cm.), aunque también ocurren moderadamente profundos (50 cm. – 100 cm.); poseen un horizonte A, delgado a moderadamente espeso (8 cm. – 13 cm.); de textura areno francosa, franco

arcillo-arenosa, franco arcillosa y localmente arcillosa, mezclada con frecuentes (15 – 30%) proporciones de esqueletos gruesos, generalmente nódulos de hierro y cuarzo, de tamaño gravilla (0,2 cm. – 2 cm.) y forma mixta.

Suelos formados a partir de la descomposición de Complejo Imataca el cual son suelos con escaso desarrollo (del orden de los entisotes) con predominio de arena y arcillas (C.V.G. TECMIN, 1991). Se localizan en la parte sur del área de estudio, la capacidad de almacenamiento de humedad aprovechable es baja y la permeabilidad moderadamente rápida, los niveles de carbono orgánico son bajos a muy bajos y el Ph varía de fuerte a extremadamente ácido. La zona presenta una vegetación de sabana arbustiva, asociada con matorrales y no presentan ningún uso actualidad.

El uso potencial de la zona, presentan un cuadro de severas limitaciones que restringen su uso para fines agrícolas y/o pecuario; tales limitaciones se derivan básicamente de las pendientes muy quebradas (16% - 30%), ligera erosión y alta susceptibilidad a ella, moderada a alta proporción de esqueleto grueso en el perfil, que afecta negativamente la retención de humedad aprovechable. La presencia de afloramientos rocosos disminuye el área aprovechable de la unidad, por presentar suelos de poca profundidad efectiva y muy baja fertilidad natural.

#### 2.3.6. Geomorfología

En general el área de estudio presenta un relieve variado, observándose un relieve plano que se caracteriza por el predominio de planicies pertenecientes a la Formación Mesa con mayor abundancia hacia la parte septentrional de la cuenca, y un relieve positivo que se observa hacia la parte meridional con la presencia de lomeríos y cerros característicos del Complejo de Imataca.

En la cuenca hidrográfica del río Marcela se encuentran las siguientes formas de relieve: colinas, montañas y penillanuras con mayor abundancia.

Las colinas representan un relieve de poca altura ondulado a escarpado cuyas pendientes fluctúan entre el 8% y el 26%. Las mismas han sido originadas por la erosión en surcos, desarrollándose en los afloramientos de rocas metamórficas e ígneas de composición granítica de la Provincia Geológica de Imataca, degradando por meteorización esferoidal tales rocas reduciéndolas hasta cerros testigos en muchas ocasiones. Estas formas de relieve se desarrollan también sobre la Formación de Mesa, en esta la erosión en surcos se hace más intensa desarrollando zonas de cárcavas o tierras malas debido al carácter poco consolidado de los sedimentos que constituyen dicha formación.

Hacia la zona SW del río Marcela se observaron relieves de montañas, cercanos a la quebrada Santa Inés (Cerro La Cueva). Estas representan un relieve que supera los 100 m de altura sobre las planicies circundantes.

Las penillanuras se encuentran desarrolladas tanto en las rocas graníticas de la Provincia Geológica de Imataca como en la Formación Mesa y constituyen extensas zonas planas con ondulaciones muy escasas, no tienen una pendiente que supere el 10%, estas se ven interrumpidas por cárcavas, colinas y montañas.

La pendiente desde la naciente del río hasta el medio es de 0,08%; este valor indica que por cada 100 mts de terreno la inclinación del mismo desciende en un valor igual a 8 mts; por otra parte el valor calculado desde el medio hasta la desembocadura fue de 0,15%, lo que quiere decir que por cada 100 mts recorridos desde el medio hasta la desembocadura el desnivel desciende en un valor de 15 mts.

A través del cálculo de la pendiente se puede inferir que el desnivel desde la naciente del río hasta la desembocadura es bajo, causa que influye en el bajo caudal del mismo y por consiguiente en la actividad de erosión y transporte de sedimentos.

## **2.4. Geología regional**

### 2.4.1. Antecedentes

El Escudo de Guayana se extiende al Sur del río Orinoco y ocupa algo más del 50% de la superficie de Venezuela. El estudio más actualizado sobre el mismo fue realizado por el U.S.G.S – CVG Tecmin 1993, cuyo trabajo general regional es parte de la base de esta síntesis (Sidder, G.B. en Mendoza, V., 2000), así como la información aportada por compañías privadas mineras como consecuencia de la apertura minera que registró Guayana entre 1.990 y 1.993, que culminó con los proyectos mineros de Las Cristinas, Brisas del Cuyuní, El Foco y otros importantes depósitos auríferos, de los muchísimos trabajos realizados en Brasil durante los últimos años. El Escudo de Guayana (EG) en Venezuela se compone de las siguientes cuatro provincias geológicas: Imataca (PI), Pastora (PP), Cuchivero-Amazonas (PCA) y Roraima (PR).

2.4.1.1. Provincia Imataca (Precámbrico Temprano), estado Bolívar: Tepedino, V. (1985) en Mendoza, V. (2000), fijó aproximadamente el límite occidental del Complejo de Imataca hasta unos 15 Km al Este de Maripa y hacia el Sur se extiende al Oeste del río Caura bordeando el río Nichare, las cabeceras del río Cucharó y el salto Pará en el río Caura, estado Bolívar; desde ahí se extiende por unos 400 Km. de longitud, con una anchura de unos 200 Km, hasta el territorio Delta Amacuro al este, donde aparece bajo los sedimentos del Delta (Figura 2.2).

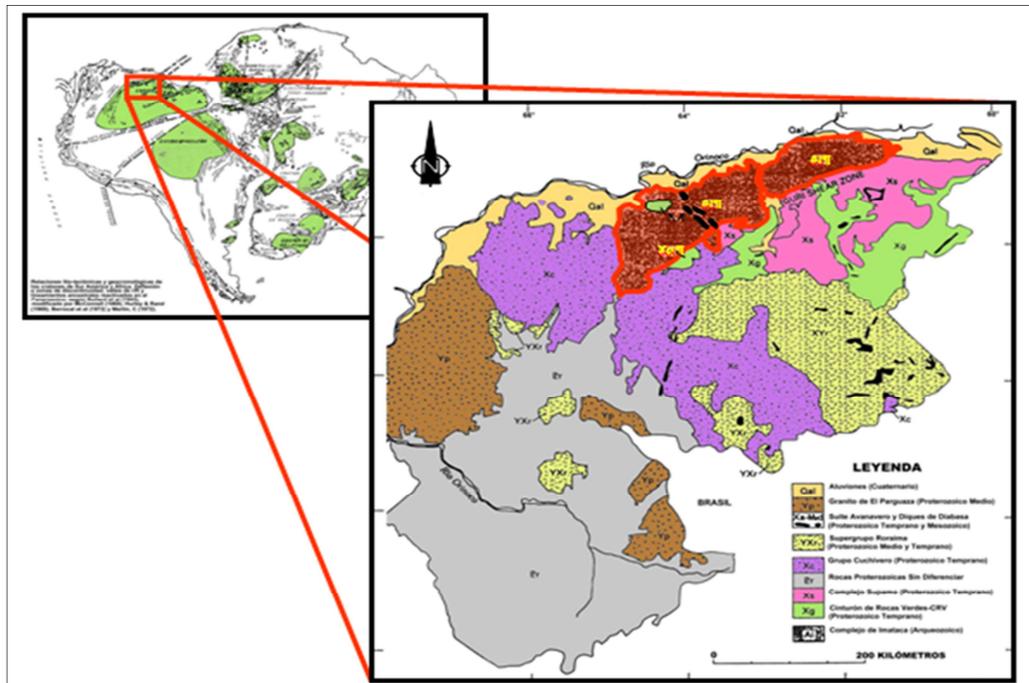


Figura 2.2 Mapa geológico generalizado del Escudo de Guayana destacando la Provincia Geológica de Imataca y su relación litotectónica con los cratones de Sudamérica y África (Adaptada de Sidder, G.B. y Mendoza, V. 1.995 y Martín, 1.972 en Mendoza, V. 2000)

La Provincia de Imataca se extiende en dirección Suroeste-Noreste desde las proximidades del río Caura hasta el Delta del Orinoco, y en dirección Noreste-Sureste aflora desde el curso del río Orinoco hasta la falla de Gurí por unos 550 Km y 80 Km, respectivamente. No hay razones para que Imataca no se extienda al Norte del Orinoco, ni al Oeste del río Caura. (Mendoza, V. 2000).

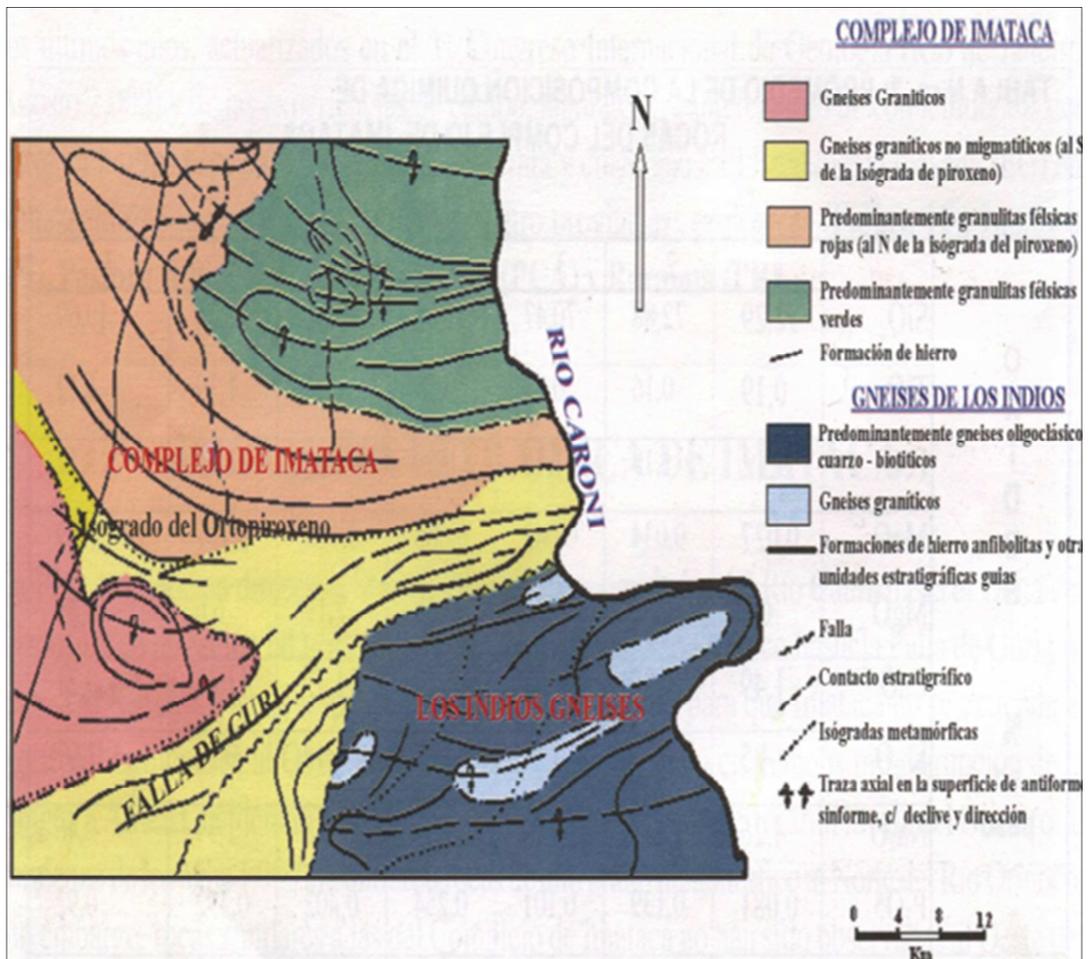


Figura 2.3 Mapa geológico esquemático del Complejo de Imataca (Mendoza, V. 2000).

Uno de los estudios petrológicos sobre Imataca, localizado en la zona de Gurí - Cerro Bolívar, lo realizó Dougan, T.W (1.965) en Mendoza, V. (2000); el cual mostró que las isógradas del ortopiroxeno no sólo están en la parte norte de la Falla de Gurí sino también inmediatamente al Sur de la misma.

2.4.1.2. Descripción litológica: la Provincia de Imataca está formada por gneises graníticos y granulitas félsicas (60% - 75%), anfibolitas y granulitas máficas, y hasta ultramáficas (15% - 20%) así como cantidades menores complementarias de formaciones bandeadas de hierro (BIF), dolomitas, charnockitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes y remanentes erosionales de menos metamorfismo y más jóvenes cinturones de rocas verdes – tonalitas trondjemitas y granodioritas (CRV – TTG) gnéisicos. (El Torno – Real Corona) (Mendoza, V. 2000) (Tabla 2.1).

Sobre el Complejo de Imataca se observan remanentes erosionales de Cinturón de Rocas Verdes (CRV) similares y correlacionados con los de la región de El Callao. El CRV de la Esperanza lo representa el Grupo Real Corona con basandesitas tipo El Callao y por anfibolitas similares a las del Grupo Carichapo bajo el nombre de Anfibolita de Danta. La Anfibolita de Danta, con tendencia NE, paralela a la Falla de Gurí, se extiende hasta Río Claro en el río Caroní, donde se le da el nombre de Anfibolita de Río Claro (Mendoza, V. 2000).(Figura 2.3)

Kalliokoski, J. en *Léxico Estratigráfico de Venezuela* (1997); introdujo el nombre de Anfibolita de Danta para designar la sección anfibolítica basal de su Serie Real Corona (hoy Grupo), expuesta en el Cerro Danta. La roca es una anfibolita de grano fino a medio y color verde, con andesina y cuarzo, sin epidoto ni clorita; con estructuras locales que pueden presentar almohadillas o brechas con estructuras deformadas de flujo, la unidad exhibe buena lineación mineral, el anfíbol es hornablenda con excelente lineación. Las anfibolitas tienen mineralización dispersa de sulfuros de hierro y escasa mineralización aurífera. Según el mismo autor su edad es Precámbrico, se correlaciona con la Anfibolita de Río Claro y con la Formación El Torno.

Tabla 2.1 Promedio de la composición química de las rocas del Complejo de Imataca. 1. Granulitas félsicas ácidas rojas; 2. Granulitas félsicas ácidas verdes; 3. Gneises graníticos, 4. Granulitas félsicas intermedias; 5. Granulitas Hornablenditas máficas, 6. Anfibolitas, 7. Granulitas Biotíticas máficas. Dougan, T.W en Mendoza, V. (2000).

		1	2	3	4	5	6	7
OXIDOS % EN PESO	SiO <sub>2</sub>	72,29	72,88	70,47	61,36	50,62	51,05	49,69
	TiO <sub>2</sub>	0,19	0,16	0,28	0,59	1,23	1,39	1,12
	FeO	1,12	1,19	1,45	6,08	13,41	13,15	13,52
	MnO	0,027	0,034	0,042	0,088	0,188	0,197	0,169
	MgO	0,4	0,47	0,33	2,68	7,19	6,6	6,89
	CaO	1,49	0,99	0,67	5,27	11,47	11,49	9,21
	K <sub>2</sub> O	4,5	4,15	5,56	2,07	0,49	0,51	1,97
	Na <sub>2</sub> O	4,26	5,19	4,69	3,82	1,35	1,39	2,46
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,081	0,139	0,101	0,254	0,402	0,392	0,92
ELEMENTOS TRAZAS	Ba	655	589	884	412	74	120	466
	Co	3	6	4	25	67	48	55
	Cr	8	13	12	271	469	168	663
	Cu	8	27	6	34	86	80	128
	Li	32	22	34	18	12	13	9
	Ni	3	5	7	47	244	47	137
	Pb	27	25	28	21	16	17	21
	Bb	127	81	142	37	8	11	123
	Sr	95	158	141	276	177	165	369
	V	13	10	21	65	146	173	136
	Zn	19	38	36	74	125	126	87
	Zr	285	301	260	242	135	145	149

Kalliokoski, J. (1997) en *Léxico Estratigráfico de Venezuela*, (1997) emplea originalmente el término de Anfibolita de río Claro para designar la unidad constituida por anfibolita de grano fino que se intercala con algunas capas manganesíferas que forma parte del núcleo del sinclinal expuesto en el río claro, en el paso de la carretera Encrucijada-Ciudad Piar y la incluyó en su Asociación Carichapo-Pastora. Menéndez, A. (1994; 1995) en *Léxico Estratigráfico de Venezuela* sugiere que representa un remanente erosionado de un cinturón de rocas verdes y concuerda con la observación hecha por Kalliokoski, J. quien la correlaciona con su Serie Real Corona - El Torno y con la Anfibolita de Carichapo.

El término Formación Carichapo fue propuesto formalmente por Kalliokoski, J. (1965) en *Léxico Estratigráfico de Venezuela* (1997), para designar una unidad compuesta esencialmente de anfibolita de grano fino derivada de rocas volcánicas básicas intercaladas con cantidades menores de metajaspes, expuesta desde el Norte de La Paragua al Oeste, hasta los alrededores de Santa María, Miamo y Tumeremo, al Este el nombre es tomado del río Carichapo, donde afloran secciones de la unidad, particularmente su parte anfibolítica, en contacto con el Complejo de Supamo, que se encuentra en el sector del río que corta la serranía de Tomasote.

Chase, R.L (1965) en *Léxico Estratigráfico de Venezuela* (1997), usó el término de Anfibolita de Panamo para designar una secuencia de rocas anfibolíticas que afloran conformando el cerro Panamo, situado 35 km al Norte del pueblo de El Manteco, el cual lo corta la carretera que une a la Ciudad de Upata con dicho pueblo. El mismo autor señaló su probable sinonimia con la Formación Carichapo, descrita en publicación por Kalliokoski, J. (1965-a), que fue confirmada por éste.

Menéndez, A. (1994) en *Léxico Estratigráfico de Venezuela* (1997), revivió el uso del término litodémico de Anfibolita de Carichapo de Kalliokoski, J. (1965-b) para ser aplicado a la unidad constituida de anfibolitas considerada como equivalente lateral del Grupo Carichapo, en aquellas localidades donde sea evidente que el grupo ha sufrido un metamorfismo superior al de los esquistos verdes.

2.4.1.3. Metamorfismo: el metamorfismo registrado en estas rocas decrece desde la Mina de Hierro de El Pao, con granulitas de dos piroxenos en charnockitas, anortositas y granulitas máficas y hasta ultramáficas (que sugieren temperaturas de 750°C- 850°C y moderadas a elevadas presiones de 8 a 8.5 Kb, equivalentes a menos de 30 Km de presión de roca), hacia la zona de Guri, con anfibolitas, granulitas y migmatitas, rocas graníticas, con granate–cordierítica-sillimanita (que implican temperaturas de 650°C – 750 °C y presiones de 4 a 7 Kb, o sea menores de 20 Km de espesor de rocas). Estas rocas de alto grado metamórfico se interpretan (Mendoza, V. 1.974 en Mendoza, V. 2005), como evolucionados primitivos CRV y complejos graníticos potásicos y sódicos, varias veces tectonizados y metamorfismo retrógrado (Mendoza, V. 2000).

2.4.1.4. Ambiente tectónico: la Provincia de Imataca registra seis o más dominios tectónicos, separados entre sí por grandes fallas tipo corrimientos. Internamente el plegamiento es isoclinal con replegamiento más abierto. En la parte Norte los pliegues tienen rumbo Noroeste, mientras que en la parte Sur la tendencia dominante de los pliegues es N60°-70°E, que es la que predomina regionalmente, es decir aproximadamente paralelas a la Falla de Guri.

(Ascanio, G. 1.975 en Mendoza, V. 2000), postuló que la parte del Complejo de Imataca está formada por varias fajas tectónicas que representan microcontinentes que por deriva chocaron unos con otros con obducción, quedando separados entre sí por grandes corrimientos. Ascanio, G. denominó a estas fajas como de La Encrucijada, Ciudad Bolívar, Santa Rosa, La Naranjita, La Ceiba, Laja Negra y Cerro Bolívar. (Rodríguez, M. 1.997 en Mendoza, V. 2000), destacó los tipos de rocas graníticas, charnockitas y migmatíticas asociadas a cada una de estas fajas tectónicas y su importancia en usos ornamentales.

#### 2.4.2. Formación Mesa

Se extiende por los llanos centro-orientales y orientales (estados Guárico, Anzoátegui, Monagas); sin embargo, se encuentran algunos afloramientos en los estados Sucre y Bolívar (inmediatamente al Sur del río Orinoco) (PDVSA-Intevep, op. cit) (Figura 2.4).

2.4.2.1. Descripción litológica: consiste de arenas, algunas de grano grueso con gravas, de color blanco a gris, amarillentas, rojo y púrpura, algunas cementadas con cemento ferruginoso, muy duras, con estratificación cruzada. Conglomerados de color rojo a casi negro, algunos con elementos líticos redondos, tipo pudinga, de tamaño grande, aproximadamente 15 cm de diámetro, en una matriz arcillo-arenosa de color gris claro a amarillo. Arcillas, de color gris, rojo y amarillo intenso, algunas moteadas, abigarradas y en lentes discontinuos de arcilla arenosa y lentes de limonita (González de Juana, 1.946 y Furrer y Castro, 1.997; en PDVSA-Intevep, op. cit).

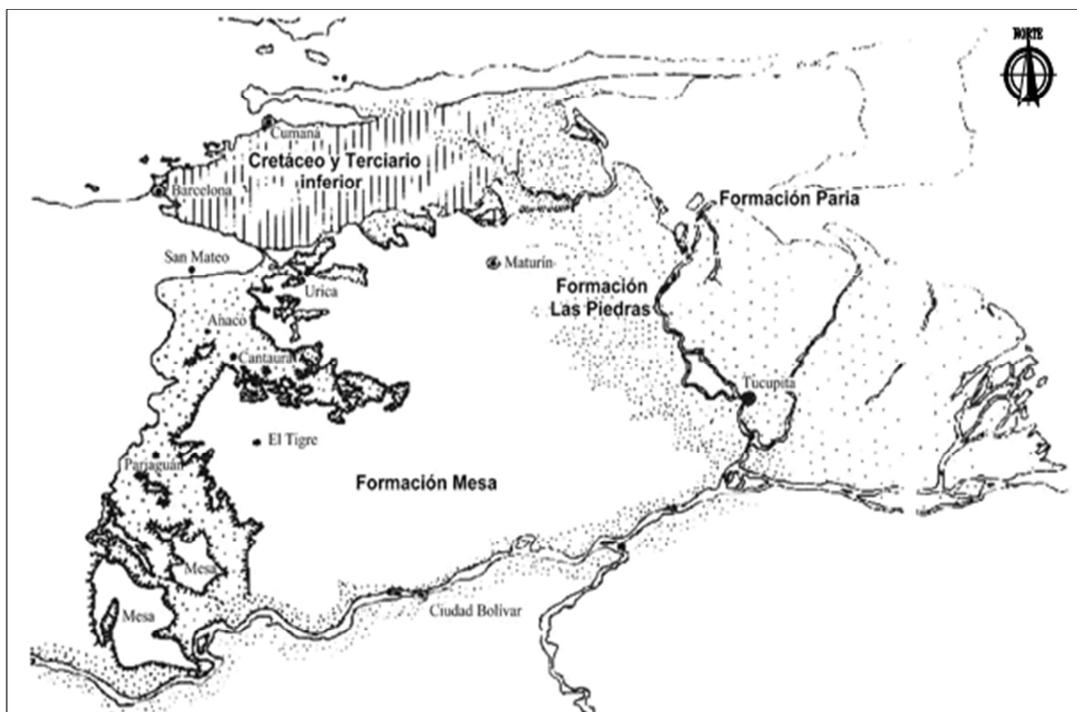


Figura 2.4 Extensión geográfica de la Formación Mesa (modificada de PDVSA-Intevep, op. cit).

Los sedimentos de la Formación Mesa gradan de Norte a Sur de más grueso a más fino al alejarse de las cadenas montañosas del Norte, y de más fino a más grueso, desde la parte central de Monagas hasta el macizo de Guayana (PDVSA-Intevep, op. cit).

2.4.2.2. Espesor: es muy variable, pero en términos generales disminuye de Norte a Sur como consecuencia del cambio en la sedimentación fluvial y deltaica, y aumenta de Oeste a Este por el avance de los sedimentos deltaicos (González de Juana et al, 1.980; en PDVSA-Intevep, op. cit). Su espesor máximo puede llegar a alcanzar los 275 metros, mientras que en el estado Bolívar puede sobrepasar los 80 metros (PDVSA-Intevep, op. cit).

2.4.2.3. Contactos: en el estado Bolívar la Formación Mesa suprayace, en posición discordante y sobre una superficie irregular, a las rocas del Complejo de Imataca. Esta formación se encuentra acuñándose en el Escudo de Guayana en una faja angosta paralela al río Orocopiche, en la zona comprendida en los alrededores de Ciudad Bolívar entre el río Candelaria y el río Aro que se va haciendo más delgada y se encuentran espesores menores a 100 metros (PDVSA-Intevep, op. cit).

2.4.2.4. Fósiles: en la formación se han encontrado fósiles de agua dulce asociados con arcillas ligníticas y restos de madera silicificada (xilópalo y sílex xiloideo) (González de Juana et al, op. cit; en PDVSA-Intevep, op. cit).

2.4.2.5. Edad: se ha postulado una edad del Pleistoceno para la Formación Mesa (PDVSA-Intevep, op. cit).

2.4.2.6. Correlación: los sedimentos de la Formación Mesa gradan hacia el Este a sedimentos de la Formación Paria (PDVSA-Intevep, op. cit).

2.4.2.7. Paleoambientes: la Formación Mesa se interpreta como producto de un extenso delta que avanzó hacia el Este en la misma forma que avanza hoy el delta del río Orinoco, depositando secuencias fluviales, deltaicas y paludales. El relieve de las cordilleras septentrionales desarrolló abanicos aluviales que aportaban a la sedimentación clásticos de granos muy gruesos, mientras que desde el Sur el aporte principal fue de arenas. En la zona central se desarrollaron grandes ciénagas (González de Juana, 1.946; en PDVSA-Intevep, op. cit).

Los sedimentos de la formación representan depósitos torrenciales y aluviales contemporáneos con un levantamiento de la Serranía del Interior (Coplanarh; 1.974; en PDVSA-Intevep, op. cit).

### 2.4.3. Sedimentos recientes

Estos materiales se han estado depositando desde el Holoceno (Reciente) hasta el presente. Estos depósitos de sedimentos recientes están formados por materiales producto de la disgregación de rocas de la Formación Mesa y del Complejo de Imataca.

En su mayor parte están constituidos por gravas, arenas, limo y arcillas arrastradas por las aguas y el viento, las cuales principalmente se han depositado en los cauces de los ríos. (Estanga, B. 1993 en Mendoza, V. 2000).

## 2.5. Geología local

En la cuenca del río Marcela, litológicamente se pueden identificar tres (3) unidades pertenecientes a:

Complejo de Imataca.

Formación Mesa.

Aluviones o sedimentos recientes.

El área ha sido afectada por un metamorfismo regional de alto grado, alcanzándose las facies de las granulitas y anfibolitas respectivamente. Estructuralmente hablando, estas rocas han sufrido un patrón de diaclasamiento continuo y se evidencia una intensa foliación producto del metamorfismo, el patrón de diaclasamiento se hace más denso hacia el Salto la Villa al norte de la carretera vieja. Estas diaclasas junto al avance del intemperismo ayudan a la meteorización total o parcial de las rocas que yacen en el lugar.

Litológicamente la zona está compuesta por gneises graníticos, anfibolitas y cuarcitas ferruginosas entre otras, en las adyacencias del río Marcela justo a la izquierda hidrográfica del mismo afloran sedimentos de la formación mesa y seguidamente suprayacen los depósitos aluvionales del río.

En los gneises que abundan en esta zona se observan cuerpos de composición básica o gabroide que intrusionaron antes del metamorfismo, posteriormente las rocas sufren metamorfismo regional de grado muy elevado, donde el material de composición granítica llega a alcanzar la facies de la granulita, otras simplemente describen textura gnéisica. Las rocas de composición básica o gabroide sufren metamorfismo de la facies de la anfibolita, donde los de menor tamaño se presentan estirados y orientados en sentido de la foliación de los gneises.

Por esta razón en la zona de estudio se encuentran gneises y anfibolitas, siendo rocas de composición diferente, afectadas por un mismo evento metamórfico regional y llegan a alcanzar facies distintas, estando el metamorfismo sujeto o controlado por la temperatura a la cual se funden estas rocas.

Una vez solidificados o recristalizados estos cuerpos rocosos, ocurre un evento durante el cuaternario que produce una sedimentación a gran escala, donde se logra depositar la Formación Mesa, encontrando como basamento a la Provincia Geológica de Imataca. Más adelante, los procesos de intemperismo y los distintos mecanismos de erosión hacen su trabajo, logrando devastar gran parte del espesor de la Formación Mesa. El agua a través del río Marcela corta la secuencia de la Formación Mesa erosionándola y depositando a su vez sedimentos más jóvenes de manera discordante con base erosiva en dicha formación.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Antecedentes**

Trabajo de grado realizado por Bernet Dilia y Márquez Juan en el año 2006, titulado: “Caracterización geológica-ambiental de la cuenca hidrográfica del río Marcela en época de lluvia, municipio autónomo Heres del Estado Bolívar.” el cual consistió en identificar aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos, a través de la valoración de parámetros físico-químicos y bacteriológicos e identificación de fuentes contaminantes que producen impacto ambiental.

Se estableció comparaciones de datos obtenidos correspondientes a los análisis de agua, para poder indicar en qué época del año puede ser más afectada teniendo como resultado que en el período lluvioso está aguas muestran un grado de contaminación mayor con relación a la época de sequía.

Trabajo de grado realizado por Calzadilla Darri Y Echeverri Natalia en el año 2008, “Caracterización geológica-ambiental de la cuenca hidrográfica del río Marcela en época de sequía, municipio autónomo Heres del Estado Bolívar”. En este estudio se observaron tres unidades geológicas, las cuales son el Complejo de Imataca, Formación Mesa y Sedimentos Recientes, localmente el Complejo de Imataca se evidencia a través de la observación de afloramientos rocosos de gneises- cuarzo feldespáticos. Geomorfológicamente la cuenca presenta un relieve variado entre lomeríos característicos del Complejo de Imataca y planicies representativas de la Formación Mesa.

En esta cuenca hidrográfica se observaron diversas fuentes contaminantes, dichas fuentes son desechos sólidos, aguas residuales y aquellas generadas por las actividades agrícolas y pecuarias.

Trabajo de grado realizado por Jesús M. Salazar G. y Juan E. Sandoval N. en el año 2009, “Estudio geoquímico exploratorio de la cuenca del río Guaimire, municipio Heres, Estado Bolívar”. El cual tuvo como propósito determinar las unidades y estructuras geológicas así como las características químicas y/o mineralógicas de la zona e identificar la presencia de posibles anomalías geoquímicas. Para ello se recolectaron mediante el método estadístico de forma aleatoria muestras de sedimentos, estas muestras fueron sometidas a análisis químico, aplicando el método de espectrometría de absorción atómica para detectar las concentraciones de Cadmio, Cinc, Cobalto, Cobre, Cromo, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plomo y Titanio, también se realizaron análisis mineralógicos para determinar los minerales pesados presentes en los sedimentos y petrográficos a las rocas muestreadas. Del estudio y tratamiento estadístico por cajas gráficas de los datos obtenidos, se determinaron valores anómalos para el Cromo y Plomo, considerándose estos como pertenecientes a valores de fondo, producto de las relativamente altas concentraciones de estos metales en las rocas de la zona.

### **3.2. Definición de términos básicos**

#### **3.2.1. Mapa**

Un mapa es una representación gráfica y métrica de una porción de territorio sobre una superficie bidimensional, generalmente plana, pero que puede ser también esférica como ocurre en los globos terráqueos. El que el mapa tenga propiedades métricas significa que ha de ser posible tomar medidas de distancias, ángulos o

superficies sobre él y obtener un resultado aproximadamente exacto, (Oyarzún, J., 2009).

3.2.1.1. Mapa geológico: un mapa geológico es la representación de los diferentes tipos de materiales geológicos (rocas y sedimentos) que afloran en la superficie terrestre o en un determinado sector de ella, y del tipo de contacto entre ellos, (Oyarzún, J., 2009).

### 3.2.2. Estructuras geológicas

La combinación de los diferentes tipos de pliegues y fallas que afectan la corteza terrestre produce la variedad de estructuras observables en la Tierra, como las grandes cadenas de montañas y las cuencas sedimentarias, (Oyarzún, J. 2009).

### 3.2.3. Sondeo geotécnico

El sondeo geotécnico es un tipo de prospección manual o mecánica, perteneciente a las técnicas de reconocimiento geotécnico del terreno, llevadas a cabo para conocer las características del terreno. Se trata de perforaciones de pequeño diámetro, (entre 65 y 140 mm) que, aunque no permiten la visión "in situ" del terreno, de ellos se pueden obtener testigos del terreno perforado, así como muestras, y realizar determinados ensayos en su interior, (Susanne Griem – Klee, 2008).

### 3.2.4. Muestreo geoquímico

El muestreo geoquímico es la forma corriente de obtener muestras representativas de un determinado material natural, colectado de una manera estandarizada. La cantidad de material debe estar adecuada a la finalidad del muestreo, a los requerimientos analíticos y a la conservación del remanente en

repositorios como material de referencia para futuras investigaciones. La metodología de muestreo condiciona el grado de certidumbre de los resultados y normalmente constituye un porcentaje muy significativo del costo total de un proyecto. En consecuencia, es conveniente establecerla previamente mediante protocolos cuidadosamente elaborados para distintos medios, fines y escalas, (Susanne Griem – Klee, 2008).

### 3.2.5. Geoquímica

Según la definición original de GOLDSCHMIDT (Rose et al, 1979) la geoquímica es la ciencia que se ocupa de dos ramos, la determinación de la abundancia relativa y absoluta de los elementos de la tierra y el estudio de la distribución y de la migración de elementos individuales en varias partes de la tierra con el objetivo de descubrir los principios, que controlan la distribución y la migración de los elementos.

3.2.5.1. Método geoquímico de exploración: el método geoquímico de exploración o prospección es un método indirecto. La exploración geoquímica a minerales incluye cualquier método basándose en la medición sistemática de una o varias propiedades químicas de material naturalmente formado. El contenido de trazas de un elemento o de un grupo de elementos es la propiedad común, que se mide. El material naturalmente formado incluye rocas, suelos, capas de hidróxidos de Fe formadas por meteorización llamadas 'Gossan', sedimentos glaciares, vegetación, sedimentos de ríos y lagos, agua y vapor. La exploración geoquímica está enfocada en el descubrimiento de distribuciones anómalas de elementos, (Rose et al, 1979).

### 3.2.6. Fondo, valores normales de fondo

El término “valores de fondo” se refiere a la abundancia normal de un elemento en los materiales terrestres no mineralizados (tabla 3.1). Considerando dos diferentes tipos de materiales terrestres la abundancia normal de un distinto elemento en un tipo de material terrestre muy probablemente difiere de su abundancia en otro tipo de material terrestre. La distribución de un distinto elemento en un material terrestre apenas es uniforme. Por esto se recomienda considerar el fondo como un intervalo de valores en vez de tratarlo como un valor absoluto, incluso cuando se observa un ambiente relativamente uniforme. La naturaleza del ambiente por sí misma puede influir en la distribución, puesto que bajo distintas condiciones unos elementos pueden ser enriquecidos y otros pueden ser empobrecidos. Por consiguiente en el estudio de muestras de un área no conocida se debería determinar o por lo menos tener en cuenta el rango de los valores de fondo.

En el laboratorio las variaciones en la preparación de las muestras, en los análisis del laboratorio y en los reactivos contribuyen al fondo o al ruido del fondo respectivamente. Respecto al depósito mineral, los procesos que modifican el depósito mineral como la migración irregular de fluidos, la meteorización y la erosión influyen en el ruido de fondo. En el terreno efectos antropógenos, como la contaminación del ambiente forman parte del ruido de fondo. Además la influencia de la morfología y la estructura geológica del terreno pueden contribuir al ruido de fondo, (Rose et al, 1979).

Tabla 3.1 Abundancia normal de los elementos químicos en rocas de la corteza terrestre (Rose et al., 1979).

Elemento	Símbolo	Abundancia en ppm	Elemento	Símbolo	Abundancia en ppm
Bromo	Br	1,8	Mercurio	Hg	0,02
Cadmio	Cd	0,1	Molibdeno	Mo	1,5
Calcio	Ca	33000	Niobio	Nb	20
Carbono	C	230	Níquel	Ni	75
Cerio	Ce	81	Oro	Au	0,003
Cesio	Cs	3	Oxígeno	O	473000
Cinc	Zn	2	Paladio	Pd	0,01
Circonio	Zr	150	Plata	Ag	0,05
Cloro	Cl	130	Platino	Pt	0,0005
Cobalto	Co	25	Plomo	Pb	10
Cobre	Cu	50	Potasio	K	25000
Cromo	Cr	100	Renio	Re	0,0006
Escandio	Sc	13	Rubidio	Rb	150
Estaño	Sn	80	Selenio	Se	0,1
Estroncio	Sr	300	Silicio	Si	291000
Flúor	F	600	Sodio	Na	25000
Fósforo	P	900	Talio	Tl	0,45
Galio	Ga	26	Tantalio	Ta	2
Germanio	Ge	2	Telurio	Te	0,002
Hafnio	Hf	3	Titanio	Ti	4400
Hierro	Fe	46500	Torio	Th	10
Indio	In	0,1	Uranio	U	2,5
Lantano	La	25	Vanadio	V	150
Litio	Li	30	Volframio	W	1
Magnesio	Mg	17000	Yodo	I	0,15
Manganeso	Mn	1000			

### 3.2.7. Valor umbral

El valor umbral es el valor límite por encima del cual un conjunto de datos se consideran anómalos, (Higueras P. y Oyarzún R., 2009). Los cortes superior e inferior constituyen el valor umbral. El valor umbral designa la concentración de un elemento indicador sobre el que una muestra se puede considerar anómala. En el caso más sencillo el valor umbral coincide con el límite superior de los valores de fondo, los valores mayores son anomalías, los valores menores pertenecen al fondo.

### 3.2.8. Anomalías geoquímicas

Una anomalía es una desviación con respecto a la norma. Una anomalía geoquímica es una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o a un ambiente geoquímico. Una anomalía se expresa por medio de números, que se pueden separar de un grupo más amplio de números constituyendo el fondo geoquímico. Para ser detectada una anomalía tiene que desviarse claramente de este fondo. En sentido estricto, un depósito mineral como un fenómeno escaso y anómalo por sí mismo es una anomalía geoquímica. La distribución geoquímica relacionada con la génesis o la erosión del depósito mineral también es una anomalía, (Rose et al, 1979).

### 3.2.9. Tipos de anomalías geoquímicas

3.2.9.1. Anomalías epigenéticas en las rocas de caja: se describen como aureolas químicas, mineralógicas e isotópicas generadas por los procesos de mineralización, de escape y de lixiviación de los elementos a través de los fluidos, que causan la mineralización y que pasan por canales desde el cuerpo mineralizado hacia las rocas de caja. Estas anomalías están superpuestas a las rocas preexistentes y se ubican en las rocas de caja de un cuerpo mineralizado.

El desarrollo más extensivo de anomalías epigenéticas se observa cerca de depósitos hidrotermales y canales de transporte de fluidos. La viscosidad baja de los fluidos favorece su penetración a lo largo de fracturas y por intersticios de la roca hacia la roca de caja. Las anomalías epigenéticas están caracterizadas por cantidades anómalas de elementos distribuidas cerca de canales hidrotermales, por la alteración hidrotermal de minerales de las rocas de caja y la lixiviación de elementos en sectores del corrido de los fluidos formadores de la mineralización. Factores que controlan la formación de las aureolas son, entre otros, los gradientes de temperatura, el estado de oxidación de los iones involucrados, la movilidad de los elementos participantes, los sistemas de fracturas, la permeabilidad y la reactividad de las rocas, (Rose et al, 1979).

3.2.9.2. Anomalía causada por difusión de elementos: una aureola de difusión se genera por la difusión de metales disueltos por fluidos intersticiales estacionares hacia la roca de caja de un cuerpo mineralizado como una veta o un dique por ejemplo. Los metales disueltos subsecuentemente son precipitados en o absorbidos por la roca caja.

Los constituyentes disueltos en un fluido realizan movimientos atómicos al azar y tienden a difundir hacia las regiones de concentración más baja. Debido a la velocidad extremadamente pequeña de la difusión el efecto de difusión normalmente es mucho menor en comparación con aquel de la infiltración. En comparación con el efecto de un fluido moviéndose con una velocidad de 0,001mm/s (= 32m/año) por ejemplo el efecto de difusión es despreciable (Rose et al. 1979). En ausencia de un gradiente alto de presión o de una salida hacia una zona permeable el fluido solo podrá pasar lentamente por los poros finos y fracturas de la roca y el efecto de la difusión podría ser significativo.

La naturaleza de una aureola formada por difusión, por absorción y precipitación depende de los siguientes factores:

- Concentración del elemento difundiendo desde su fuente: una concentración inicial alta resulta en valores altos a lo largo de un perfil de concentración trazado a partir de la fuente del elemento, es decir, a partir del cuerpo mineralizado hacia la roca caja; una variación de la concentración del elemento en la fuente también influye en la difusión.

- Intervalo de tiempo en que puede actuar la difusión: tanto más tiempo disponible, tanto más extendida será la aureola de difusión.

- Naturaleza de reacciones con la roca de caja: en una roca de caja reactiva se desarrollará una aureola pequeña, caracterizada por altas concentraciones de elementos; en una roca caja menos reactiva se desarrollará una aureola de difusión más extendida con concentraciones de elementos más bajas.

- Porosidad y permeabilidad de la roca caja: una roca caja con alta porosidad y con poros conectados entre sí tiende a hospedar aureolas más extendidas en comparación con una roca menos porosa.

- Valor de la constante de difusión característica para la especie química (elemento, molécula) y para las condiciones químicas respectivas: generalmente iones pequeños y temperaturas altas tienden a favorecer aureolas grandes.

3.2.9.3. Anomalía de corrosión o de lixiviación: un halo de corrosión se causa por fluidos, que pasan por vetas, fracturas e intersticios de la roca y cuyos metales disueltos subsecuentemente son precipitados o absorbidos. Este tipo de transporte se denomina infiltración, las anomalías resultantes se llama anomalías de corrosión o de lixiviación.

La ubicación, las dimensiones y la intensidad de una anomalía de corrosión dependen de los factores siguientes:

- Corrido del fluido mineralizado: Zonas de fracturas o de alta porosidad en la roca figuran zonas permeables, que favorecen un recorrido rápido en comparación al corrido a lo largo de bordes de granos o en poros de rocas macizas. Normalmente el corrido de los fluidos hidrotermales está dirigido hacia arriba debido a las presiones elevadas presentes en altas profundidades, sin embargo, no se excluye corridos horizontales o dirigidos hacia abajo.

- Concentración de los elementos indicadores en el fluido mineralizado: Barnes, H.L. & Czamanske, G. (1967), en Rose et al., 1979, estiman, que los fluidos formadores de los depósitos de los metales básicos comunes, contienen metales en rangos entre 1ppm y 1000ppm. En comparación, las aguas superficiales y subterráneas normalmente están caracterizadas por concentraciones en Cu, Pb y Zn de aproximadamente 0,01 ppm.

- Influencia de precipitación, absorción, intercambio iónico y de otros procesos al transferir los elementos indicadores de su forma disuelta en el fluido hidrotermal hacia una fase sólida en la roca.

Prácticamente los dos efectos anteriormente descritos, la difusión y la infiltración pueden contribuir a la formación de una anomalía.

En cuanto a la distribución de los elementos por zonas en depósitos minerales epigenéticos y en sus aureolas, estos pueden ser caracterizados de acuerdo a las proporciones de pares de elementos que varían gradual y progresivamente en función con la distancia o de la posición respecto al depósito mineral debido a variaciones en las condiciones de deposición y en el fluido, que genera la mineralización. Las proporciones de metales pueden proveer un medio indicador para la dirección, en que la mineralización se ubica o se vuelve más rica, y un medio para distinguir las raíces de la mineralización de anomalías, que superponen la mineralización.

3.2.9.4. Anomalías en aguas: una distribución anómala de elementos en aguas subterráneas y meteóricas se denomina anomalía hidrogeoquímica. Como generalmente los elementos son transportados en forma disuelta en las aguas naturales, los elementos más aptos para la exploración geoquímica de aguas son los elementos relativamente móviles, (Oyarzún, J. 2009).

3.2.9.5. Anomalías en sedimentos de drenaje: a los sedimentos de drenaje pertenecen los sedimentos de manantiales, de lagos, de llanuras de inundación, los sedimentos activos de corrientes de agua y los sedimentos, que funcionan como filtros para el agua (seepage sediments), (Oyarzún, J. 2009).

Los sistemas de drenaje a menudo parten de manantiales. Los sedimentos situados en la cercanía de los manantiales y los sedimentos de filtración tienden a exhibir anomalías apreciables y por consiguiente estos sedimentos son útiles para una exploración geoquímica. Los sedimentos activos de corrientes de agua incluyen material clástico e hidromórfico de los sectores de filtración, el material clástico

erosionado de los bancos de material detrítico situados en los lechos de los ríos y de material hidromórfico absorbido o precipitado por el agua de la corriente.

Las anomalías desarrolladas en estos sedimentos activos pueden extenderse varios kilómetros con respecto a su fuente. Los estudios de estas anomalías se utilizan preferiblemente para lograr un reconocimiento general. En el caso de los lagos se estudian los componentes clásticos y el material absorbido o precipitado de los sedimentos. En áreas con una alta cantidad de lagos como en el área del escudo precámbrico de Canadá, modelado por glaciares el estudio geoquímico de los sedimentos de lagos puede ser el método más económico y efectivo para un reconocimiento general.

3.2.9.6. Anomalías en suelos residuales: el objetivo del estudio geoquímico de suelos consiste en el reconocimiento de la distribución primaria de elementos seleccionados en las rocas subyacentes. En los suelos residuales generalmente la distribución primaria se expresa todavía en forma relativamente clara, aún estará modificada por los efectos de varios procesos superficiales. Algunos de estos procesos tienden a homogeneizar el suelo y por consiguiente borrar la distribución primaria como entre otros la helada, la actividad de plantas, la gravedad, la disolución local y la redeposición. Otros procesos contribuyen a la formación de horizontes verticalmente diferenciados, es decir, favorecen la formación de un suelo. Otros procesos, que tienden a borrar la distribución primaria, son la remoción de elementos mediante la meteorización y la formación del suelo (corrosión por agua meteórica, ascenso por plantas) y la adición de elementos (por deposición del agua subterránea, adición de elementos provenientes de la desintegración de vegetación, por polvos, elementos disueltos en agua meteórica), (Oyarzún, J. 2009).

3.2.9.7. Anomalías en 'Gossan' y cubiertas afectadas por corrosión y lixiviación: 'Gossan' se refiere a un producto de meteorización, que contiene Fe y que se sitúa encima de un depósito de sulfuros. Se forma por oxidación de los sulfuros y por la lixiviación del azufre y la mayoría de los metales dejando como únicos remanentes hidróxidos de Fe (limonita por ejemplo) y raramente algunos sulfatos (Bates, R.L. & Jackson, J.A. 2001).

Capas de limonita residual y otros productos de meteorización de sulfuros de Fe usualmente pueden figurar guías valiosas hacia menas en áreas caracterizadas por meteorización profunda y cubiertas residuales. Infortunadamente se puede confundir fácilmente los productos de meteorización de menas con aquellos de rocas comunes. Los estudios de elementos trazas son útiles para distinguir entre menas meteorizadas y los productos de meteorización de otras formaciones geológicas, como por ejemplo, de piritita de formación hidrotermal o singenética o de carbonatos de Fe.

Las cubiertas alóctonas se constituyen de depósitos glaciares, de depósitos aluviales y coluviales, de turba, de sedimentos eólicos y material piroclástico. Una cubierta alóctona impide la observación directa de un depósito mineral subyacente. Los estudios de trazas de metales en la cubierta transportada pueden contribuir al descubrimiento de un depósito mineral escondido.

En cubiertas alóctonas se distinguen anomalías geoquímicas singenéticas y epigenéticas. La anomalía singenética se forma simultáneamente con el depósito de material transportado. La anomalía epigenética se refiere a una distribución de uno o varios elementos introducidos en el depósito de material transportado subsecuentemente a su formación. Ambos tipos de anomalías pueden ocurrir juntos en una cubierta alóctona y pueden superponerse mutuamente.

### 3.2.10. Métodos analíticos y sus aplicaciones

El método más común para realizar un estudio de reconocimiento es el análisis de sedimentos de ríos. Los métodos comunes para una investigación detallada son el análisis de suelos y el análisis de rocas. En casos especiales se analizan vapor, vegetación y agua.

Algunos de los métodos analíticos se basan en la emisión atómica (fotometría de llama, ICP) o en la absorción atómica (espectrometría de absorción atómica). En ambos fenómenos se explicará brevemente lo siguiente.

3.2.10.1. Espectro de emisión: se produce cuando un electrón de un átomo un elemento pasa de un nivel energético alto (capa lejana con respecto al núcleo del átomo) a un estado energético menor (capa cerca del núcleo atómico). Durante este proceso una cierta cantidad de energía es liberada o emitida en forma de una radiación, que se calcula de la manera siguiente:  $E = (h \cdot c)/l$  à  $l = (h \cdot c)/E$ , donde  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Watt  $\cdot$  s<sup>2</sup> = constante de Planck (Plancksches Wirkungsquantum),  $c$  = velocidad de la luz en el vacío,  $l$  = longitud de onda. Cada línea espectral caracteriza el salto de un electrón de una capa exterior definida hacia una capa interior definida en el átomo de un elemento definido. Por ejemplo, el espectro de emisión de gases incandescentes da a conocer su composición cualitativa.

3.2.10.2. Espectro de absorción: se produce cuando un electrón de un átomo de un elemento pasa de un estado energético bajo a un estado energético alto consumiendo, es decir, absorbiendo energía y generando una línea de absorción típica para el cambio del nivel energético y para el elemento, en que lo ocurre, (Bates, R.L. & Jackson, J.A. 2001).

### 3.2.11. Espectrometría de absorción atómica

Aparte de la determinación de los componentes principales de una muestra, el método por absorción atómica es especialmente apto para el análisis cuantitativo de trazas de más de 40 elementos metálicos con una precisión de por lo menos 2%. El límite de detección varía entre 0,1 y 1ppm. Se basa en la producción de un estado excitado de un átomo causada por la absorción de un fotón por el átomo. Cuando la luz, que contiene el espectro del elemento específico pasa por una mezcla de gas de átomos no excitados de este elemento específico, las longitudes de ondas características para este elemento son absorbidas parcialmente produciendo de tal modo el espectro de líneas característico para este elemento. Para la mayoría de los elementos el espectro de líneas se ubica en la región ultravioleta y de la luz visible del espectro electromagnético. Como la intensidad de la absorción depende directamente de la cantidad de átomos presentes y capaces de absorber, la extinción de la muestra y la concentración del elemento específico están relacionadas linealmente. A través de calibración se obtiene la concentración del elemento en la muestra, (Bates, R.L. & Jackson, J.A. 1984).

### 3.2.12. Parámetros estadísticos

Un parámetro estadístico es un número que se obtiene a partir de los datos de una distribución estadística. Los parámetros estadísticos sirven para sintetizar la información dada por una tabla o por una gráfica, (Bates, R.L. & Jackson, J.A. 2001).

Las medidas de centralización nos indican en torno a qué valor (centro) se distribuyen los datos.

3.2.12.1. Media: la media aritmética es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos, (Bates, R.L. & Jackson, J.A. 2001).  $\bar{X}$  Es el símbolo de la media aritmética.

3.2.12.2. Mediana: es el valor que ocupa el lugar central de todos los datos cuando éstos están ordenados de menor a mayor. La mediana se puede hallar sólo para variables cuantitativas, (Bates, R.L. & Jackson, J.A. 2001). La mediana se representa por  $M_e$ .

3.2.12.3. Moda: es el valor que tiene mayor frecuencia absoluta. Se puede hallar la moda para variables cualitativas y cuantitativas, (Bates, R.L. & Jackson, J.A. 2001). Se representa por  $M_o$ .

3.2.12.4. Cuartiles: son medidas de posición. Los cuartiles son los tres valores de la variable que dividen a un conjunto de datos ordenados en cuatro partes iguales.  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$  determinan los valores correspondientes al 25%, al 50% y al 75% de los datos. El  $Q_2$  coincide con la mediana, (Bates, R.L. & Jackson, J.A. 2001).

3.2.12.5. Umbral: es el valor límite, por encima del cual un conjunto de datos se consideran anómalos, (Bates. R.L. & Jackson, J.A. 2001).

3.2.12.6. Anomalía: son valores que se encuentran fuera del ámbito de distribución, en este trabajo una anomalía es una desviación de los patrones geoquímicos, se considera como anomalía positiva a los valores por encima del umbral superior y anomalía negativa los que se encuentran por debajo del umbral inferior, (Rose et al, 1979).

3.2.12.7. Gráfico de cajas: un gráfico de este tipo consiste en un rectángulo (caja), donde los lados más largos muestran el recorrido intercuartílico (RIC). Este rectángulo está dividido por un segmento horizontal que indica donde se posiciona la mediana y por lo tanto su relación con los cuartiles primero y tercero (el segundo cuartil coincide con la mediana).

Este rectángulo se ubica a escala sobre un segmento que tiene como extremos los valores de umbral superior y umbral inferior. Estos segmentos que quedan a arriba y abajo de la caja se llaman bigotes. Los bigotes tienen un límite de prolongación, de modo que aquellos valores atípicos que se separan del cuerpo principal de datos se indican individualmente. A diferencia de otros métodos de presentación de datos, los gráficos de caja muestran los valores atípicos de la variable. Llamaremos valores atípicos de la variable a aquellos que están tan apartados del cuerpo principal de los datos que bien pueden representar los efectos de causas extrañas, como algún error de medición o registro. Su eliminación no se justifica, ya que el propósito del gráfico de caja consiste en brindarnos un mayor conocimiento de la forma en que se distribuyen los datos, (Rose et al, 1979).

### 3.2.13. Rocas ígneas

Las rocas ígneas (del latín ígneos) o magmáticas se forman a partir de la solidificación de un fundido silicatado o magma. Las rocas ígneas, generadas por consolidación de magmas, se clasifican en función de su ambiente de formación, pudiendo consolidarse en el interior de la corteza terrestre y zonas profundas (rocas plutónicas), o en la superficie terrestre y zonas próximas (rocas volcánicas), (Williams, V. y Morales, R., 2008).

Ambos tipos, proceden de la consolidación de un fundido de composición fundamentalmente silicatada (magma), en el que existen cristales y, en algunos casos, fragmentos de rocas en suspensión, así como una proporción variable de gases que pueden separarse bajo unas condiciones termodinámicas favorables. La fracción sólida de un magma proviene fundamentalmente del propio fundido, (una parte del mismo cristaliza durante su ascenso hacia zonas superficiales), pudiendo contener fragmentos del material a partir del cual se ha generado, o incluso de los materiales atravesados durante su ascenso. La fracción gaseosa procede esencialmente de los gases y vapores existentes en la zona de generación del magma, y en pequeña escala de los que se han ido incorporando durante su ascenso.

La excesiva profundidad a la que se encuentra la parte externa del núcleo (2.500 – 5.200 km) hace totalmente imposible que esos materiales semi hundidos lleguen hasta la superficie terrestre. Es necesario, por tanto, la existencia de una serie de fenómenos que fuercen la fusión, tanto de materiales de la corteza como del manto, produciéndose así la formación de magmas, a partir de los cuales se originarán las rocas ígneas.

#### 3.2.14. Clasificación de las rocas ígneas

Las clasificaciones más utilizadas son las descriptivas, las químicas las cuales estiman la concentración de elementos u óxidos, y las modales basadas en la proporción de fases minerales presentes en la roca, (Williams, V. y Morales, R., 2008). (Figura 3.1).

3.2.14.1. Clasificación descriptiva: se establecen distintos criterios y se obtienen diferentes denominaciones, como se mencionan a continuación.

- Tamaño de grano: fanerítica (los cristales se reconocen a simple vista), afanítica (no se reconocen los cristales por su pequeño tamaño) y vítrea (no aparecen cristales).

- Fábrica: las clasificaciones basadas en el conjunto de propiedades estructurales y texturales.

3.2.14.2. Clasificaciones químicas: se basa en el porcentaje de SiO<sub>2</sub> de la roca. Tradicionalmente las rocas con bajo contenido de sílice se han denominado rocas básicas y aquellas con alto contenido se llamaron rocas ácidas. Esta clasificación sigue en uso, y es necesario aclarar que se basa exclusivamente en el contenido en sílice de la roca, sin connotaciones respecto al "ph" de la misma.

- Ultrabásicas (0 – 45%): son rocas muy densas y de color oscuro.
- Básica (45 – 52%): rocas densas y oscuras.
- Intermedia (52 – 66%): rocas poco densas.
- Ácidas (> 66%): rocas claras y poco densas.

3.2.14.3. Clasificación modal: esta clasificación se realiza a partir de las proporciones volumétricas de las distintas fases minerales en la roca, habiéndose establecido arbitrariamente una serie de límites entre clases de rocas ígneas. Estos límites fueron propuestos por (Williams, V. y Morales, R., 2008), y los diagramas que se utilizan se basan en el volumen que presentan grupos minerales.

Esta es una pauta general para relacionar la composición química, y específicamente el contenido en sílice, con la mineralogía. (Figura 3.1)

Se grafica en el eje horizontal el tanto por ciento del óxido de silicio y en el eje vertical el porcentaje en volumen de los minerales.

El orden de cristalización de los minerales en la roca está condicionado por la composición química del magma y la tasa de enfriamiento. Bowen, N. estudió por primera vez el orden de cristalización para las rocas basálticas, definiendo dos series: una continua, representada por los feldespatos de la familia de las plagioclasas, y otra discontinua, en la que los minerales formados son reabsorbidos totalmente por el líquido a medida que la temperatura desciende.

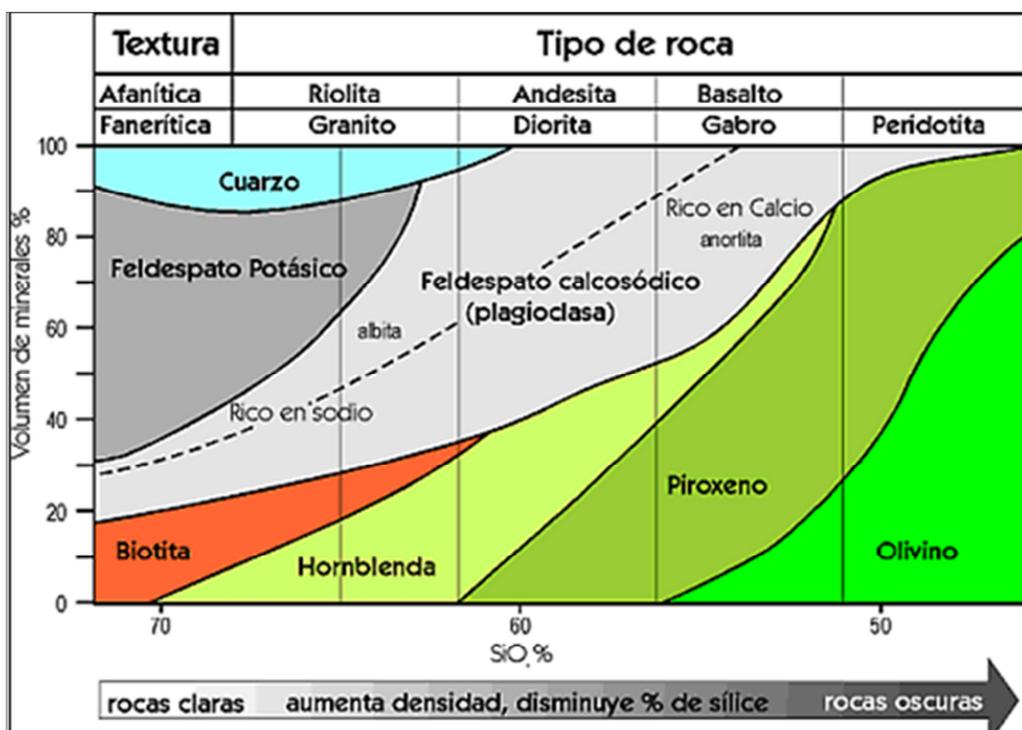


Figura 3.1 Clasificación de las rocas ígneas. (Campal, N. y Schipilov, A., 2.004).

### 3.2.15. Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas son el resultado de la transformación de una roca (protolito) como resultado de la adaptación a unas nuevas condiciones ambientales que son diferentes de las existentes durante el periodo de formación de la roca pre-metamórfica. La modificación del protolito tiene lugar esencialmente en estado sólido, y consiste en recristalizaciones, reacciones entre minerales, cambios estructurales, transformaciones polimórficas, etc., asistidas por una fase fluida intergranular. Los factores que desencadenan el proceso metamórfico son los cambios de temperatura y presión, así como la presencia de fluidos químicamente activos.

La clasificación de las rocas metamórficas se basa, fundamentalmente, en la composición mineralógica, en la textura (el factor más importante es el tamaño de grano y la presencia o ausencia de foliación) y en el tipo de roca inicial antes del producirse el proceso metamórfico.

### 3.2.16. Clasificación de las rocas metamórficas

La clasificación de las rocas metamórficas es muy compleja, aunque de una manera muy simplificada podemos basarla en la presencia o ausencia de foliación y en la composición mineralógica. De esta forma podemos establecer dos grandes grupos: las rocas foliadas y las no foliadas (Williams, V. y Morales, R., 2008).

3.2.16.1. Rocas foliadas: los minerales contenidos en las rocas reciben la estructura laminar orientada hacia la dirección de la presión en el ángulo recto durante el metamorfismo.

3.2.16.2. Pizarra: roca de grano muy fino, con minerales planares abundantes. Las pizarras son propias de metamorfismo de bajo grado (protolito: rocas detríticas de grano fino).

3.2.16.3. Esquisto: roca de grano grueso que contiene más de un 20% de minerales planares. Es una roca característica del metamorfismo de grado medio (protolito: varios tipos de rocas detríticas y volcánicas) en función del mineral índice que presente, podemos establecer: esquistos biotíticos, esquistos con cloritoide, esquistos con estauroлита, esquistos anfíbólicos (esquistos verdes), esquistos granatíferos, etc.

3.2.16.4. Gneis: roca de grano grueso, que presenta minerales alargados y granulares en las bandas claras y planares en las oscuras. Es propia del metamorfismo de alto grado.

3.2.16.5. Rocas no foliadas: están constituidas de un sólo mineral que no puede transformarse en una estructura foliada, o bien, cuando la alteración (metamorfosis) es provocada sobre todo por la elevada temperatura y no a causa de la presión. Los dos tipos de rocas principales son cuarcitas, mármol (de caliza), granulitos, ecoglititas, etc.

3.2.16.6. Mármol: de textura granular y estructura granítica, provienen de rocas carbonatadas, se produce por el metamorfismo de calizas o dolomías, contiene minerales como la calcita y dolomita. El color de los mármoles es variable, aunque si la roca es un mármol puro de calcita o dolomita, es generalmente blanco. Diversas impurezas dan lugar a distintos tonos, alguno de los cuales son muy atractivos y dan valor a la piedra. Son frecuentes los tonos verdes y rosados, y muchas veces existen vetas negras.

3.2.16.7. Cuarcita: roca metamórfica compuesta por granos de cuarzo, que proviene del metamorfismo de areniscas ricas en cuarzo. En algunos casos, las estructuras sedimentarias de las areniscas (estratificaciones cruzadas, entre otras) se conservan dando lugar a un aspecto bandeado.

3.2.16.8. Corneanas: son rocas que han sufrido metamorfismo de contacto y no tienen fábrica planar, pero sí minerales índice desarrollados en mayor o menor grado.

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### **4.1. Tipo de investigación**

Exploratoria: según Arias, F. (2006) es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto poco conocido o estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto. En este caso se dice que investigación es exploratoria, debido a que se realizó un acercamiento a fin de poder constatar las características generales y constitutivas, su propósito es indagar acerca de una realidad poco estudiada.

Descriptiva: según Arias, F. (2006) la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. De hecho el estudio se considera descriptivo por cuanto permitió describir y relacionar los elementos establecidos en la investigación, igualmente se identificaron las características del estudio en cuestión, describiendo sus principales aspectos.

#### **4.2. Diseño de la investigación**

De campo: según Arias, F. (2006) es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. En esta investigación se observó el fenómeno en estudio en su ambiente natural, a través de distintas visitas, contacto con el mismo entre otros.

### **4.3. Recopilación de información bibliográfica**

No experimental: según Hernández, Roberto, Fernández, Carlos, Baptista, Pilar, (2004) es aquella en la cual los aspectos de la problemática planteada se pretenden analizar a través del desarrollo de un diagnóstico de la situación actual, sin la manipulación directa de las variables estudiadas.

A fin de cumplir con los objetivos propuestos para el estudio geoquímico exploratorio de la cuenca del río Marcela, se dividió el trabajo en cinco (5) etapas, abarcando desde la recopilación de información hasta la interpretación de datos tomados en campo y elaboración del informe final.

Durante la búsqueda y recopilación de toda la información disponible del área a estudiar, se obtuvieron trabajos previos relacionados (trabajos de grado, informes técnicos, entre otros) provenientes de las fuentes documentales de la biblioteca de la Universidad de Oriente Núcleo Bolívar, la empresa Técnica Minera, (TECMIN), Internet, entre otros, lo que permitió conocer, discutir y reseñar los aspectos más resaltantes, así como también planificar el trabajo de campo.

Identificados los objetivos a resolver se dispuso a realizar un esquema que resuma los diversos pasos a seguir para concluir dicho proyecto y/o investigación. Los pasos seguidos para la realización de esta investigación se presentan en la figura 4.1.

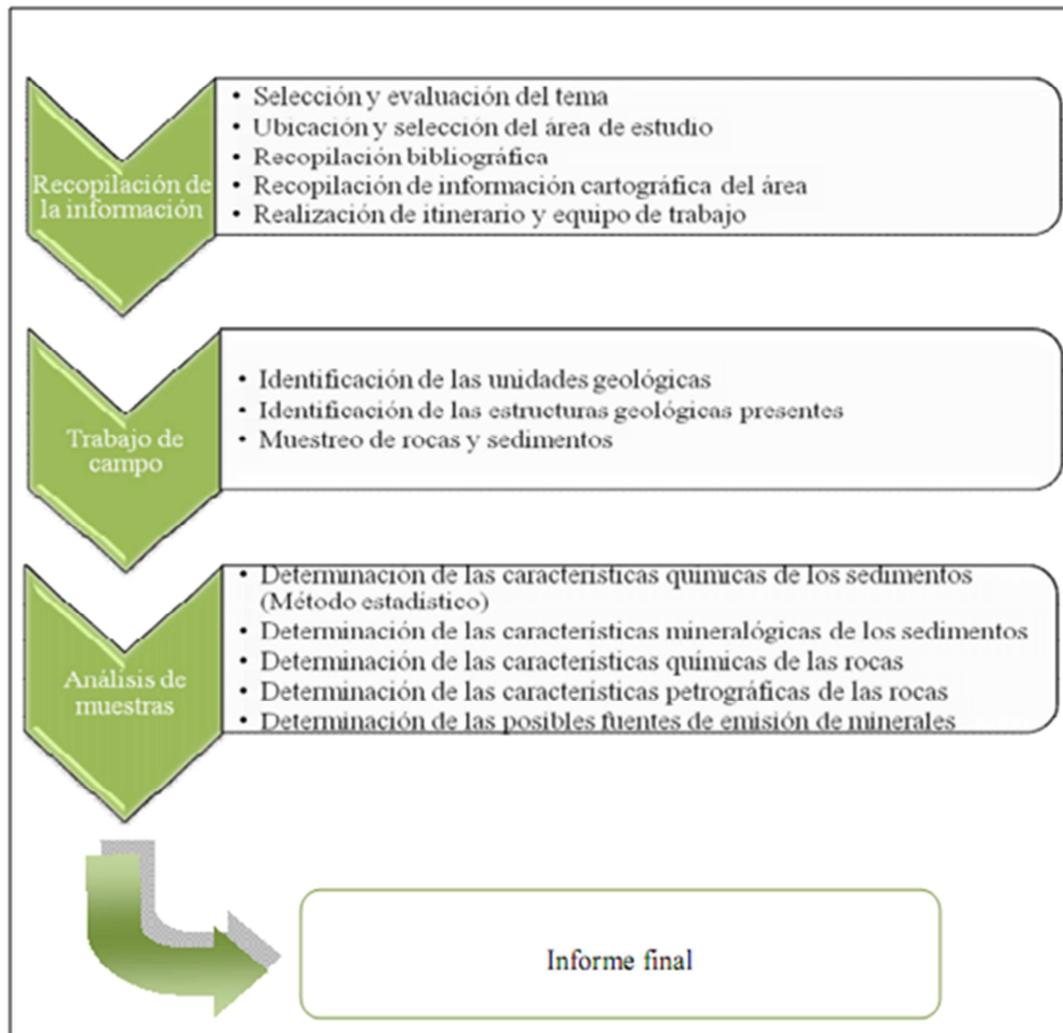


Figura 4.1 Flujograma de la metodología de trabajo.

#### 4.4. Identificación de las unidades geológicas correspondientes al área en estudio

De acuerdo a la información recopilada, en el área de estudio encontramos tres unidades, gneises graníticos del Complejo de Imataca, sedimentos de la Formación Mesa y sedimentos recientes. Estas unidades se identificaron efectuando un

levantamiento geológico a lo largo del río Marcela abarcando parte de la cuenca alta hasta la desembocadura, macroscópicamente se verificó la litología presente en la zona tomando nota de los rasgos más importantes de afloramientos de diversos tamaños, estos en su mayoría afectados por la meteorización por lo que se hizo uso de una mandarina y cincel para la obtención de fragmentos más frescos y una mejor descripción de las rocas, verificando su color, tamaño de grano, textura y composición mineral aproximada; con una cinta métrica se tomo medida de los afloramientos y con una brújula tipo brunton se midió la orientación de los mismos, los rumbos y buzamientos de los patrones estructurales presentes como foliaciones, diaclasas, diques, según el caso. Además se tomó nota de la ubicación de los afloramientos haciendo uso de un sistema de GPS.

A medida que se avanzaba en los recorridos se registraba en la libreta de campo los cambios en las dimensiones del canal, la granulometría de los sedimentos y su relación con los cambios del relieve y abundancia de afloramientos.

#### **4.5. Identificación de las estructuras geológicas presentes en el área de estudio**

Las diferentes estructuras tales como foliaciones, diaclasas y diques existentes en la zona, se identificaron visualmente durante el levantamiento geológico de campo donde se tomó detalle y medida de los rumbos, buzamientos y longitudes de las mismas, utilizando para ello cinta métrica y una brújula brunton. Con el sistema de posicionamiento global (GPS) se determinaron las coordenadas UTM de los puntos correspondientes a los afloramientos estudiados. (Figura 4.2)

Las estaciones para el muestreo de sedimentos se seleccionaron de acuerdo a las vías de acceso que se lograron identificar a lo largo del río, dividiendo la cuenca en tres secciones o tramos de muestreo, cuenca alta aguas arriba sector Las Nieves y sector Santa Rosa , cuenca media entre el sector Santa Rita, sector Las Cocuizas y

sector Rancho Alegre, cuenca baja aguas abajo sector Fundo La Esperanza y sector La Alcabala tomando en cuenta que el muestreo a aplicar sería del tipo aleatorio, debido a que este tipo de muestreo permite ubicar zonas anómalas en grandes áreas a nivel regional.



Figura 4.2 Identificación de las estructuras geológicas, sector La Alcabala.

El muestreo se ejecutó siguiendo el curso del río aguas arriba, muestreando en los afluentes y acumulaciones importantes de sedimentos en zonas de baja energía como barras de meandro y otras originadas por obstáculos naturales o artificiales, siendo todas estas las más relevantes y representativas dado que en ellas el contenido metálico se ha ido acumulado durante un tiempo bastante prolongado. Para la recolección de las muestras se utilizaron palas plásticas y bolsas plásticas, recogiendo en estas entre 1,5 y 2 Kg. de sedimento con la granulometría más fina. (Figura 4.3)



Figura 4.3 Recolección de muestras de sedimentos, sector  
Fundo La Esperanza

Durante el muestreo se deben contemplar las siguientes precauciones generales:

Todos los sitios de muestreo deben ser georeferenciados (coordenadas UTM) usando GPS.

El sitio de muestreo deberá estar alejado de caminos, carreteras, puentes, casas, basureros o sitios de concentración evidente de actividad antrópica. En caso de presentarse alguna de las situaciones anteriores el sitio de muestreo deberá ubicarse a por lo menos 100 metros aguas arriba de dichos sitios.

Usar equipos de muestreo de plástico (palas, bateas), que no contengan metales o preferiblemente contruidos de madera (sin pintura). En su defecto se podrán usar herramientas en acero inoxidable de alta calidad o aleaciones especiales no contaminantes. No se podrán utilizar herramientas de aluminio o latón o de acero pintado.

No usar joyas durante el muestreo. Para manipular las muestras se deben utilizar guantes desechables. Por ningún motivo se deben tocar las muestras directamente con las manos.

No se debe fumar durante la colecta de la muestra ni ubicar vehículos en funcionamiento cerca del sitio de muestreo.

Los sitios de muestreo deben ubicarse como mínimo a 100 metros de distancia, aguas arriba del punto de confluencia de la corriente a muestrear con la corriente de mayor orden, con el fin de evitar tomar sedimentos que provengan de la mezcla de material de los dos canales, mezcla que ocurre especialmente durante los períodos de inundación.

En total se recolectaron 35 muestras de sedimentos y sumadas a estas se tomaron 5 muestras de roca seleccionadas por ser las más comunes y representativas de la zona.

Todos los puntos de muestreo fueron georeferenciados con el uso del equipo o sistema de posicionamiento global GPS, para luego ser graficados en un mapa base digitalizado y así definir el mapa de muestreo, esto con ayuda del software Autocad 2010. (Anexo 2)

#### **4.6. Determinación de las características químicas de los sedimentos a través del método estadístico**

En el desarrollo de este objetivo es necesario un proceso de preparación de las muestras que se inicia con la deshidratación de las mismas, estas son colocadas en bandejas sobre una plancha o reactor de calentamiento hasta que se evapore toda el agua retenida, luego se procede con las técnicas tradicionales de homogenización y cuarteo, extrayendo unos 125g de una muestra original de aproximadamente 1,5 a 2 kg.

Esta porción destinada a análisis químico se llevó al laboratorio de corte de la Universidad de Oriente donde se pulverizaron al máximo posible, hecho esto se tamizaron con el fin de obtener la fracción más fina y más homogénea que permita un incremento en la calidad de las mediciones que se ejecuten posteriormente, para esto se utilizó el tamiz 150 y se recolectó el pasante o retenido en la pam.

Las muestras pulverizadas fueron trasladadas al laboratorio de Geociencias para finalmente realizar las mediciones de los diferentes elementos seleccionados, a través del método de Espectrofotometría de Absorción.

Para efectuar el análisis a cada una de las muestras se procede a llevar todas las muestras a solución ya que de esta manera se realiza la toma de datos, lo primero que se efectúa es pesar 0,1 gr. de la muestra en un vaso de precipitado haciendo uso de una balanza electrónica "Sertorius" (0.1 mg), posteriormente se humedecen las muestras con agua destilada y se añaden 20 ml de Agua Regia para la disolución de cada muestra, que se prepara en partes de 3:1 de ácido clorhídrico y ácido nítrico respectivamente precipitados se les coloca un vidrio de reloj. Se colocan las muestras identificadas sobre un reactor de calentamiento dentro de una campana extractora de

gases tóxicos y se deja a temperatura baja durante el tiempo que sea necesario hasta que la muestra se reduzca a su totalidad. Al bajar la muestra del reactor de calentamiento se dejan enfriar y se filtran a través de un filtro N° 30 en balones aforados de 100 ml., se pasa la totalidad de la muestras disueltas y posteriormente se completa hasta la línea de aforo del balón con agua destilada, estas se tapan y se agitan para luego tomar las mediciones de absorción atómica de cada elemento. Para esta investigación se determinó: Cd, Zn, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Ti.

#### **4.7. Determinación de las características mineralógicas de los sedimentos presentes del río en estudio**

Para el análisis mineralógico se seleccionaron siete (7) muestras distribuidas uniformemente a lo largo de la sección muestreada, la fase de preparación de estas muestras se inicia con un proceso de tamizado, en este procedimiento se hizo uso del juego de tamices 10, 18, 35,60, 120, 150, pam y la agitadora mecánica. (Figura 4.4).



Figura 4.4 Vibrador Rotap empleado para el proceso de tamizado.

Del producto del tamizado se extrajeron y se reservaron las partículas retenidas en el tamiz 120, luego se procedió a la separación de las partículas pesadas de la livianas, en este paso para cada muestra se preparó un tubo de decantación con un contenido de 100 ml de Bromoformo o bálsamo de Canadá, una vez agregada la muestra al Bromoformo se agitan para que las partículas entren en movimiento y así precipiten los minerales pesados, esta se deja reposar hasta que las partículas se estabilicen y no haya más precipitación, se decantan, se filtran y se secan en un reactor de calentamiento las muestras extraídas de minerales pesados, luego estas son separadas en fracciones magnéticas y no magnéticas con el uso de un imán. La muestra de minerales pesados no magnéticos resultante es etiquetada y llevada al laboratorio de petrografía para su análisis. Para cada muestra se extrae una parte que es colocada en un porta objeto y cubre objeto y con el uso de un microscopio óptico de luz transmitida marca zeiss se determinó, de mayor a menor, el porcentaje de abundancia para cada mineral presente. (Figura 4.5).



Figura 4.5 Concentración de minerales pesados mediante uso de Bromoformo.

#### **4.8. Análisis químico a las rocas presentes en el área de estudio**

El análisis químico de las rocas se realizó para establecer la procedencia de las posibles acumulaciones anómalas de algún elemento químico y tomando en cuenta las concentraciones de estos elementos en las rocas poder diferenciar falsas anomalías ubicadas dentro de los valores de fondo.

Durante el levantamiento geológico de campo se determinaron las litologías representativas de la zona, básicamente está constituida por gneises cuarzo feldespáticos, gneises granítico, rocas anfibolíticas y cuarcitas ferruginosas. Se muestrearon cinco (5) afloramientos en distintos puntos del curso del río, extrayendo las muestras por acción mecánica con el uso de mandarina y cincel.

Para los análisis geoquímicos se fragmentaron las muestras y así destinar una parte al análisis petrográfico, el resto se trituró y pulverizó, primeramente se hizo pasar a través de una trituradora de mandíbula, que reduce la roca en pedazos más pequeños, luego se paso por una trituradora de rodillo que disminuye el tamaño de las partículas, y por último se pasó la muestra por una pulverizadora de disco ya que toda la muestra tiene que estar lo más fina y homogénea posible. Finalmente se obtuvo 30 gr. de cada una de las muestras pulverizadas, la totalidad de la muestra fue cernida a través del tamiz N° 150. Luego en el laboratorio de Geociencias estas muestras sufren el mismo tratamiento o procedimiento mencionado anteriormente para las muestras de sedimentos.

#### **4.9. Determinación de las características petrográficas de las rocas presentes en el área de estudio**

De los afloramientos estudiados se seleccionaron un número de cinco (5) muestras entre ellas N-1, S-1, S-2, R-1, R-2 a las cuales se realizaron los análisis petrográficos a partir de secciones finas, para determinar la composición porcentual de sus minerales y clasificar la roca de acuerdo a sus características físicas y mineralógicas.

Para este análisis se destinó un fragmento de cada roca de un tamaño adecuado, estos fragmentos fueron etiquetados y trasladados al instituto geológico y minero del estado Bolívar (INGEOMIN) donde en su taller de corte se prepararon las secciones finas siguiendo los procedimientos pertinentes y tradicionales como el corte y desbastado de las muestras hasta el grosor adecuado para luego en el laboratorio de petrografía de la Universidad de Oriente hacer el análisis bajo el microscopio óptico de luz transmitida donde se describen los minerales presentes en orden decreciente de acuerdo a su abundancia, así como también las estructuras y texturas presentes para por último tratar de definir y clasificar la roca, en esta última parte la información recopilada en campo es de gran ayuda para clasificar la roca de manera exitosa.

Equipos y materiales utilizados.

Muestras de rocas.

Cortadora dientes de diamante.

Cortadora.

Portaobjeto.

Lápiz eléctrico punta de diamante.

Trozo de vidrio

Abrasivos N° 400, 600 y 1000.

Recipientes con agua.

Plancha de calentamiento.

Barra termoplástica o bálsamo de Canadá.

Pinzas.

Desbastadora automática (PETROTHIN).

Lámpara eléctrica.

Procedimientos aplicados.

Se busca la muestra en campo y se identifica. Luego se observa la orientación o la alineación de los minerales que conforman la roca para realizar un corte transversal a ellos. En la cortadora dientes de diamante se sujeta fijamente la muestra de roca y de la forma más necesaria se inicia el corte a una velocidad que varía de acuerdo a la dureza de la roca. (Figura 4.6).

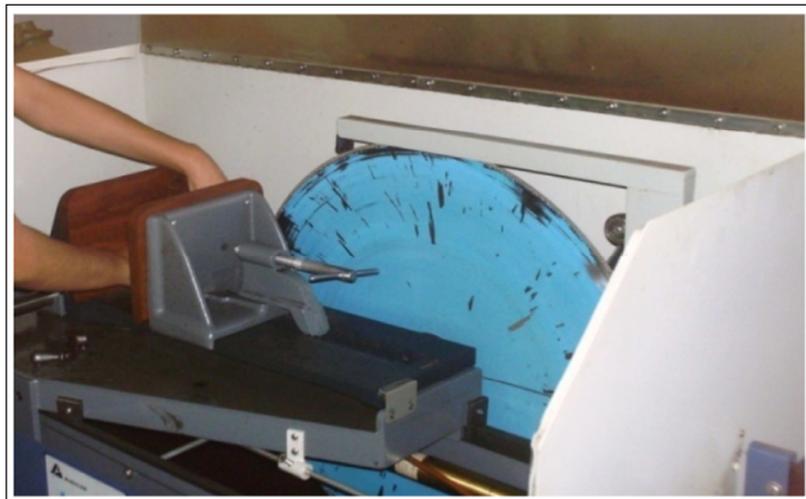


Figura 4.6 Cortadora dientes de diamante.

Después se realiza un segundo corte paralelo al anterior con un espesor aproximado de 3 mm. Una vez obtenida la laminilla de roca, se lleva a la sierra o cortadora para darle una forma similar a la del portaobjeto a utilizar. (Figura 4.7)

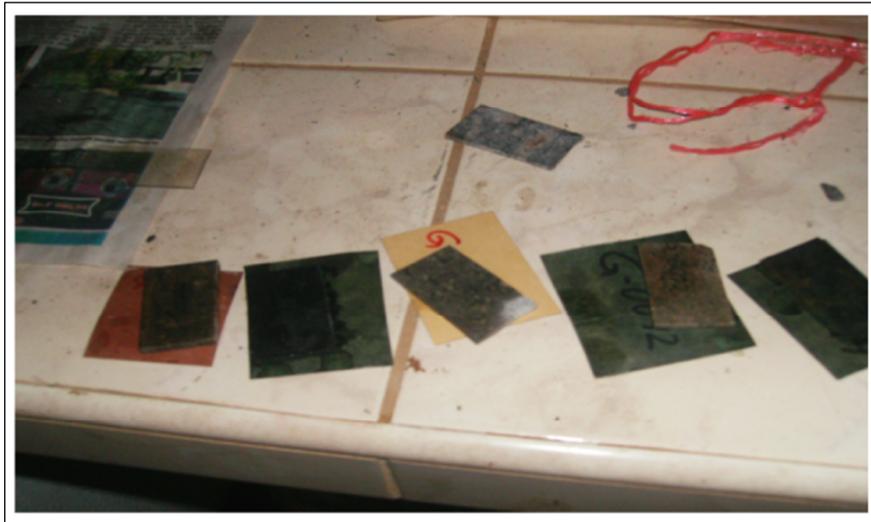


Figura 4.7 Cortes de rocas para elaboración de secciones delgadas.

Con el lápiz de punta de diamante se nombra el portaobjeto a emplear con la identificación de la muestra correspondiente. Se selecciona una cara de la muestra y se frota sobre un trozo de vidrio mediante un abrasivo N° 400 mezclado con agua con movimientos en forma de ocho hasta conseguir una superficie horizontal uniformemente pulida. (Figura 4.8).



Figura 4.8 Abrasivos (400, 600, 1000) para pulir las muestras de las secciones delgadas.

Igualmente se frota sobre el vidrio esmerilado la cara del portaobjeto donde no fue identificado con el lápiz eléctrico hasta quitarle la pulitura, con abrasivo N° 400, de forma tal que resulte como producto final una superficie opaca. (Figura 4.9).

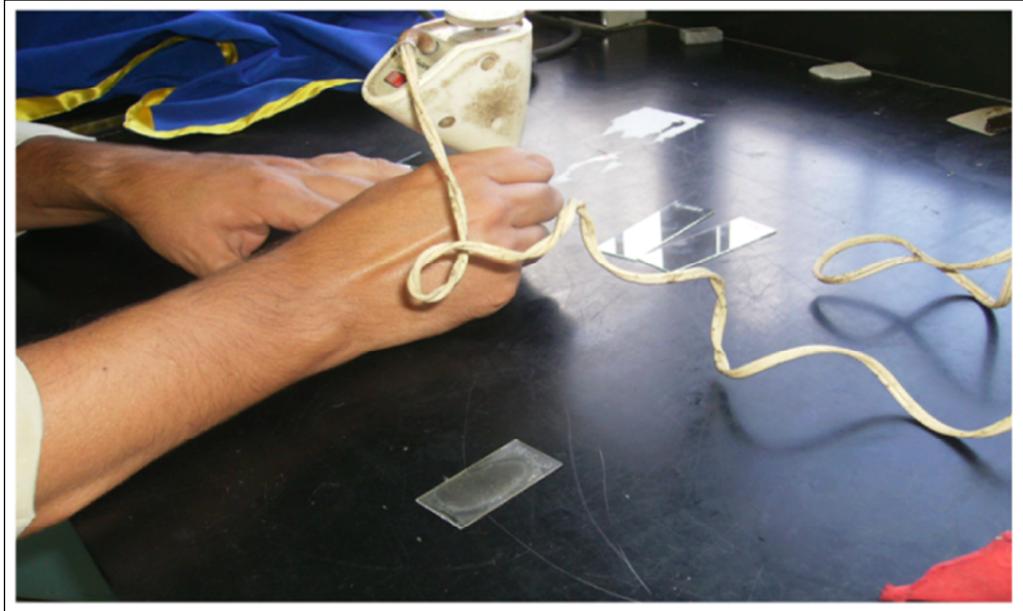


Figura 4.9 Corte de las láminas delgadas para montar las muestras de las rocas.

Seguidamente se coloca la muestra y el portaobjeto en la plancha de calentamiento con las caras trabajadas hacia arriba. Una vez calientes, se frota con la barra termoplástica, derritiéndose ésta sobre las mismas.

Se remueve la muestra y el portaobjeto de la plancha. Para después unirlos entre sí a través de las caras que contienen la resina.

Se presiona y se mueve uniformemente el portaobjeto sobre la muestra, para eliminar las burbujas de aire que hayan quedado entre el contacto de las dos superficies.

Una vez enfriada, la cara libre de la muestra de roca unida al portaobjeto se pasa a la desbastadora automática (petrothin) para reducir el espesor de la misma lo más delgado posible. (Figura 4.10).

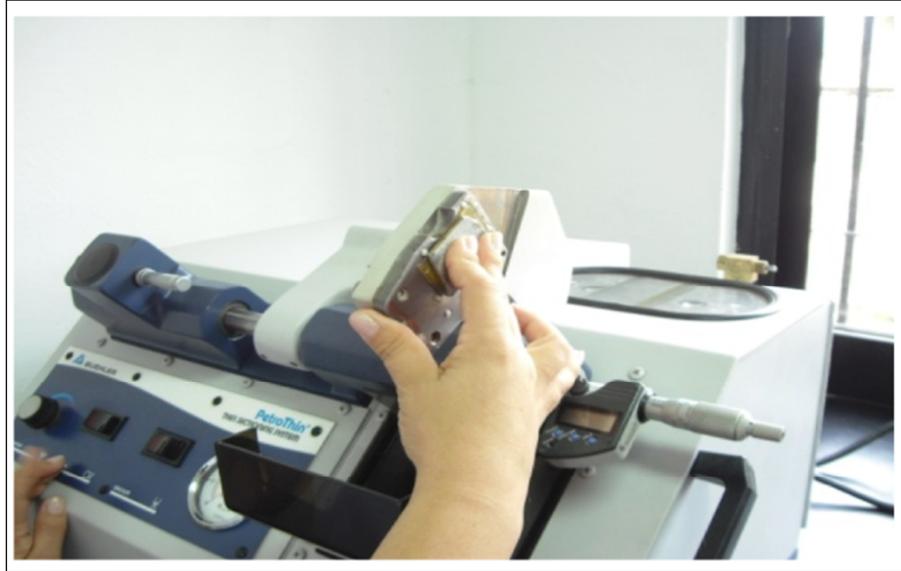


Figura 4.10 Desbastadora automática (PETROTHIN).

Una vez logrado el objetivo anterior, se frota la delgada capa de muestra contra el trozo de vidrio esmerilado, agregando agua y abrasivo N° 1000, mediante movimientos en forma de ocho muy suaves, hasta obtener un espesor uniforme de 0.03 mm, el cual es controlado con el microscopio petrográfico o en su defecto observando con una lámpara eléctrica hasta que los minerales se vean de forma clara.

#### **4.10. Aplicación de un método estadístico apropiado en la determinación de las anomalías presentes en el área de estudio**

A los datos de análisis de sedimentos y rocas se les aplicó un tratamiento estadístico por la técnica de las cajas gráficas con ayuda del software Microsoft Excel, con el uso de este software se obtienen resultados más satisfactorios ya que se evita incurrir en errores por cálculos manuales. Para elaborar las cajas gráficas, en primer lugar, se vacían los datos obtenidos para cada elemento en hojas de cálculo de Excel, generando así las matrices de datos para el cálculo de los diferentes parámetros

estadísticos como el cuartil 1, mediana y cuartil 3. Estos parámetros permiten determinar los valores de fondo, en una caja gráfica el intervalo de valores de fondo estaría comprendido entre los dos cuartos y correspondería a la dispersión de los datos con respecto a la mediana, para una distribución irregular el valor de fondo es calculado como el valor correspondiente a la mediana.

Para determinar los valores de los umbrales superior e inferior se aplican las expresiones siguientes.

$$U \text{ superior} = Q3 + (RI \times 1,5) \quad (4.1)$$

$$U \text{ inferior} = Q1 - (RI \times 1,5) \quad (4.2)$$

$$RI = Q3 - Q1. \quad (4.3)$$

Donde:

Q3 es el valor del cuartil 3.

Q1 es el valor del cuartil 1.

RI es el rango intercuartil.

Los valores de umbral son los valores límites por encima del cual un conjunto de datos se consideran anómalos o desviados del patrón geoquímico de un área determinada, en este trabajo se consideran anómalos los valores que se encuentran fuera del ámbito de la distribución. Una vez obtenidos los valores de todos los elementos en estudio se procede a la comparación con Rose et al., (1979), siendo este una referencia general con relación a la abundancia normal de los elementos químicos en rocas de la corteza terrestre.

#### **4.11. Determinación de las fuentes de minerales en la cuenca de estudio**

Para la determinación de las fuentes que estarían aportando minerales a la cuenca, se analiza el comportamiento de los histogramas de distribución de concentraciones, donde se define la cantidad de modas para un determinado elemento, esto nos permite establecer el número de fuentes portadoras de minerales y las zonas sobresalientes de acuerdo a la ubicación de los picos en el histograma. Se examinan los valores arrojados por los análisis químicos para delimitar las zonas anómalas o aquellas zonas donde los valores de concentración obtenidos sean resaltantes, de acuerdo a la ubicación de estos puntos en el mapa de muestreo, se hace un seguimiento aguas arriba descartando los afluentes o canal principal según el caso, estériles o con valores bajos, siguiendo la dirección de los mayores valores, esta dirección preferencial la definimos como dirección de procedencia de los minerales. Teniendo en cuenta la dirección de procedencia se determinan los afloramientos rocosos y/o afluentes que se encuentren en la misma y que estén actuando como fuentes aportadores de minerales.

#### **4.12. Elaboración de los mapas correspondientes a los aspectos geológicos y a las áreas del muestreo**

Para la elaboración de estos, se utilizó el mapa topográfico de Marcela escala 1:100000 como base y de acuerdo a los puntos de acceso y a la división estipulada de la cuenca en alta, media y baja se determinaron las áreas susceptibles al muestreo teniendo en cuenta que se aplicaría un muestreo aleatorio, luego con la asistencia del Sistema de posicionamiento global (GPS) se obtuvieron las coordenadas de los puntos de muestreo, en las cuales fueron recolectados los sedimentos y muestras de rocas.

Luego con la ayuda del software Auto CAD 2010 se georeferenciaron estos puntos en el mapa (Anexo 2). Para los datos de sondeo en cada punto de muestreo se combina los puntos de muestreo con las concentraciones de los elementos de interés correspondientes, identificando los puntos con colores asignados de acuerdo al grado de concentración, bajo, medio y alto.

Para los aspectos Geológicos, se tomaron en cuenta los datos recopilados durante el levantamiento geológico como dirección preferencial de diaclasas y la litología predominante en la zona, encontrándose los afloramientos más importantes del Complejo de Imataca hacia la sección de la cuenca alta, media y baja de la cuenca, se identificó y se ubicó el contacto de la Formación Mesa con rocas del Complejo de Imataca hacia la sección de la cuenca media, ubicándose la mayor predominancia de sedimentos recientes en la sección de la cuenca baja con afloramientos rocosos de pequeño porte de Imataca, adicionalmente para mayor precisión se tomo en cuenta los análisis petrográficos realizados a las muestras tomadas en el área de estudio y apoyados en los mapas geológicos realizados por C.V.G. Técnica Minera a escala 1:100.000 donde se compararon, delimitaron y cartografiaron las unidades geológicas presentes en la zona. Luego se procedió a digitalizar el mapa con la ayuda del software Auto CAD 2010 (Anexo 1).

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. Identificación de las unidades geológicas correspondientes al área en estudio**

En la cuenca del río Marcela se identificaron tres unidades litológicas pertenecientes al: Complejo de Imataca, Formación Mesa y Sedimentos Recientes.

##### **5.1.1. Complejo de Imataca**

En campo se reconocieron afloramientos pertenecientes al Complejo de Imataca, con mayor abundancia en los sectores Las Nieves, Santa Rosa y Rancho alegre; por tal razón fueron recolectadas las muestras en dichos sectores (Figura 5.1).

De igual manera se identificaron otros rasgos litológicos y estructurales pertenecientes al Complejo de Imataca a 400 mts aproximadamente del sector La Alcabala, vía hacia la población de Maripa, se realizó un corte de afloramiento cuya longitud es de 40 mts de largo y 4 mts de espesor aproximadamente, con una dirección de N 260° (Figura 5.2).



Figura 5.1 Afloramientos pertenecientes al Complejo de Imataca, en el sector Santa Rosa.



Figura 5.2 Afloramiento perteneciente al Complejo de Imataca en el sector La Alcabala.

Litológicamente, esta sección presenta en sentido E-W, material meteorizado y muy alterado, proveniente de los gneises feldespáticos, de color amarillo oscuro, seguidamente se observó una discordancia evidenciada por un cambio de litología, debido a la presencia de una veta de cuarzo, de color marrón por efectos de meteorización, presentando una dirección de N 293° y un buzamiento vertical (Figura 5.3).

Posteriormente se identificaron intercalaciones de cuarcitas ferruginosas afectadas por plegamientos y gneises cuarzo-feldespáticos. Cabe destacar que el feldespato constituyente de estos gneises, se presenta alterado a caolín por procesos de meteorización, finalmente se repite la intercalación antes mencionada hasta el final del corte. (Figura 5.4).



Figura 5.3 Veta de cuarzo perteneciente al afloramiento en el sector La Alcabala.



Figura 5.4 Intercalaciones de cuarcitas ferruginosas y material alterado de gnéis cuarzo-feldespáticos, sector La Alcabala

#### 5.1.2. Formación Mesa

La Formación Mesa aflora en el área de estudio (con mayor abundancia hacia la parte norte de la cuenca) con alturas que oscilan desde 80 hasta 120 m.s.n.m. En campo se observó la litología de esta formación a través de afloramientos de la misma, la cual se describe de la siguiente manera: aluviones recientes como arenas algunas de grano grueso con gravas, de color blanco a gris, amarillentas, rojo y púrpura, cementadas con cemento ferruginoso provenientes de las rocas del complejo de Imataca; arcillas, limos y por secuencias sedimentarias (arcillas arenas limolíticas bien estratificadas). Abarcando el 80% del área total de mapa (Figura 5.5).



Figura 5.5 Afloramiento perteneciente a la Formación Mesa.

### 5.1.3. Sedimentos recientes

Estos sedimentos se presentan en los márgenes, en el fondo del río y de las quebradas; cuya composición es de gravas, arenas y arcillas, los cuales provienen de la meteorización y disgregación de las rocas pertenecientes tanto al Complejo de Imataca y de la Formación Mesa.

## 5.2. Identificación de las estructuras geológicas presentes en el área de estudio

En el área de estudio se observaron diaclasas con patrones de fracturamiento con dirección al noroeste (Figura 5.6).

También se observaron pequeños plegamientos de cuarcita ferruginosa en el sector La Alcabala al igual de vetas de cuarzo de color marrón por efecto de la meteorización en dirección N 293° y buzamiento vertical.



Figura 5.6 Diaclasas en el sector La Alcabala.

### **5.3. Determinación de las características químicas de los sedimentos a través del método estadístico**

Las muestras numero 1 a la 5 corresponden a las recolectadas en la estación 1 ubicada en el sector Las Nieves , las muestras desde la número 6 a la 10 fueron las recolectadas en la estación 2 sector Santa Rosa, las muestras desde el número 11 a la 15 pertenecen estación 3 sector Santa Rita, las muestras desde 16 a la 20 estación 4 sector Las Cocuizas, las del 21 al 25 estación 5 sector Rancho Alegre, las que van desde 26 a la 30 estación 6 sector Fundo La Esperanza y por último las muestras del 31 al 35 estación 7 sector La Alcabala. Los valores de concentraciones de los elementos químicos analizados fueron ordenados en la tabla a continuación. (Tabla 5.1).

Tabla 5.1 Composición química de los sedimentos de la cuenca del río Marcela. Las concentraciones están expresadas en partes por millón (ppm). Cd: Cadmio, Zn: Zinc, Co: Cobalto, Cr: Cromo, Fe: Hierro, Mn: Manganeso, Ni: Níquel, Pb: Plomo, Ti: Titanio.

Muestra	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Ti
1	0,006	2,719	1,215	5,069	2,196	3245	582	0,482	1,091	1,035	723
2	0,005	2,594	1,098	5,344	2,394	3429	561	0,536	1,329	1,123	721
3	0,007	2,396	1,127	5,135	2,182	3186	498	0,559	1,216	1,247	729
4	0,006	2,741	1,409	5,208	2,162	2832	613	0,517	1,302	1,183	735
5	0,007	2,563	2,124	5,133	2,098	2746	498	0,521	1,237	1,214	734
6	0,006	2,648	1,237	5,172	2,182	3217	532	0,431	1,113	1,139	701
7	0,007	2,539	1,178	5,365	2,106	3326	547	0,439	1,205	1,129	747
8	0,008	2,621	1,139	5,328	2,133	3271	511	0,506	1,235	1,138	719
9	0,005	2,769	1,359	5,401	2,147	3016	584	0,519	1,361	1,145	735
10	0,006	2,528	1,238	5,397	2,321	2817	598	0,532	1,23	1,148	748
11	0,005	2,659	1,242	5,327	2,107	3224	568	0,439	1,241	1,115	729
12	0,007	2,637	1,235	5,342	2,111	3256	572	0,441	1,262	1,122	751
13	0,006	2,639	1,286	5,371	2,129	3267	566	0,487	1,247	1,141	737
14	0,005	2,681	1,263	5,369	2,135	3239	589	0,435	1,217	1,148	739
15	0,007	2,633	1,249	5,345	2,317	3251	567	0,432	1,219	1,164	742
16	0,008	2,717	1,221	5,349	2,132	3286	629	0,471	1,209	1,142	787
17	0,007	2,659	1,247	5,342	2,147	3262	631	0,483	1,216	1,131	765
18	0,008	2,668	1,232	5,335	2,137	3251	598	0,489	1,241	1,147	729
19	0,007	2,729	1,281	5,347	2,142	3247	581	0,437	1,229	1,132	776
20	0,007	2,686	1,265	5,329	2,159	3289	523	0,447	1,221	1,119	789
21	0,008	2,783	1,236	5,385	2,119	3223	647	0,429	1,216	1,119	791
22	0,009	2,721	1,241	5,353	2,121	3259	636	0,441	1,223	1,127	732
23	0,008	2,739	1,285	5,389	2,139	3255	629	0,435	1,269	1,108	752
24	0,008	2,741	1,252	5,365	2,112	3262	607	0,43	1,265	1,116	781
25	0,008	2,789	1,273	5,387	2,19	3247	612	0,443	1,239	1,128	734
26	0,006	2,741	1,211	5,341	2,141	3268	614	0,436	1,282	1,109	817
27	0,009	2,719	1,217	5,359	2,137	3231	630	0,449	1,261	1,114	795
28	0,005	2,732	1,229	5,331	2,138	3223	617	0,482	1,218	1,119	809
29	0,007	2,749	1,229	5,342	2,143	3217	625	0,443	1,242	1,132	798
30	0,008	2,732	1,213	5,329	2,121	3210	619	0,465	1,23	1,125	807
31	0,005	2,769	1,239	5,303	2,123	3210	636	0,419	1,225	1,127	832
32	0,007	2,742	1,215	5,317	2,142	3209	647	0,423	1,267	1,109	815
33	0,005	2,787	1,247	5,353	2,171	3284	682	0,441	1,236	1,127	839
34	0,007	2,741	1,283	5,349	2,113	3297	621	0,486	1,281	1,147	845
35	0,006	2,753	1,247	5,311	2,119	3227	609	0,492	1,205	1,183	816

### 5.3.1. Cadmio

La concentración de los valores de cadmio observados en la Tabla 5.1 para muestras de sedimentos finos, recolectadas en la cuenca del río Marcela, arrojaron una media de 0,007 ppm y una mediana de 0,007 ppm, siendo estas cifras similares, ya que la dispersión de los valores encontrados en la zona se encuentran aproximados a la media (Figura 5.7).

Los valores determinados en el análisis químico para este elemento se definieron en un intervalo de concentración entre 0,005-0,009 ppm ubicándose los valores más elevados hacia la zona de Rancho Alegre y Fundo La Esperanza, de acuerdo al tratamiento estadístico por el método de cajas gráficas, el valor umbral calculado es de 0,011 ppm, considerándose valores anómalos los superiores a este, Rose et al.,(1979) señala que la abundancia de este elemento químico en las rocas de la corteza terrestre es de 0,1 ppm, aunque los valores obtenidos en la investigación no es mayor al citado en la bibliografía, de tal manera que no existen anomalías ni concentraciones importantes de cadmio en la zona de estudio.

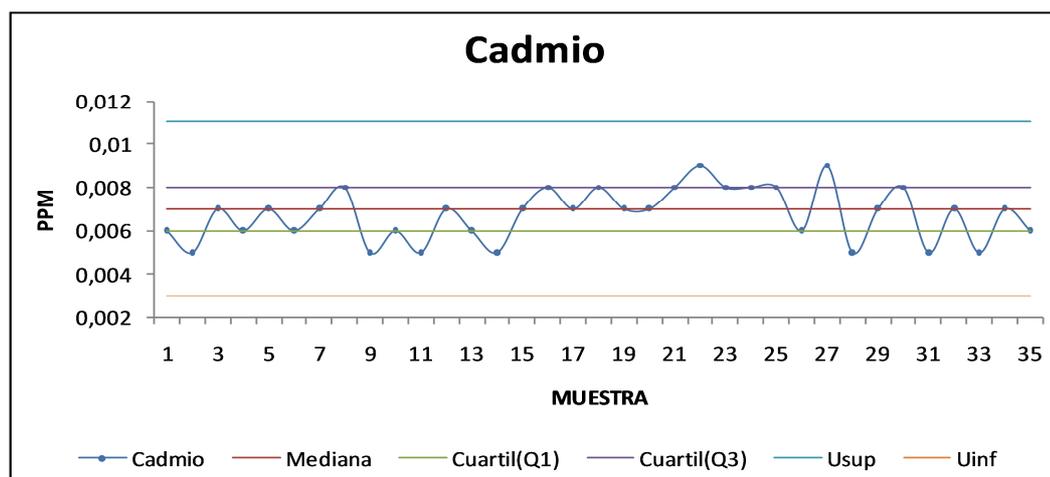


Figura 5.7 Distribución de las concentraciones de Cadmio.

### 5.3.2. Cinc

La concentración promedio de este elemento en muestras de sedimentos finos (Tabla 5.1) fue de 2,686 ppm, con una mediana de 2,719 ppm en un intervalo de concentración entre 2,396- 2,789 ppm, de acuerdo al análisis estadístico por cajas gráficas las anomalías positivas deben encontrarse sobre los 2,887 ppm correspondiente al valor de umbral, en base a esto no se encontraron valores anómalos para cinc en la zona estudiada. Rose et al., (1979) señala que la abundancia normal de cinc en rocas de la corteza terrestre es de 2 ppm, aunque los valores obtenidos en la investigación sobrepasan el mismo ninguno es mayor al valor umbral superior que pueda considerarse anómalo; Reedman, J. (1979), señala que la concentración de cinc en muestra de sedimentos finos puede estar entre 10-200 ppm y que valores mayores a 200 ppm pueden ser indicativos de algún tipo de mineralización de este elemento.

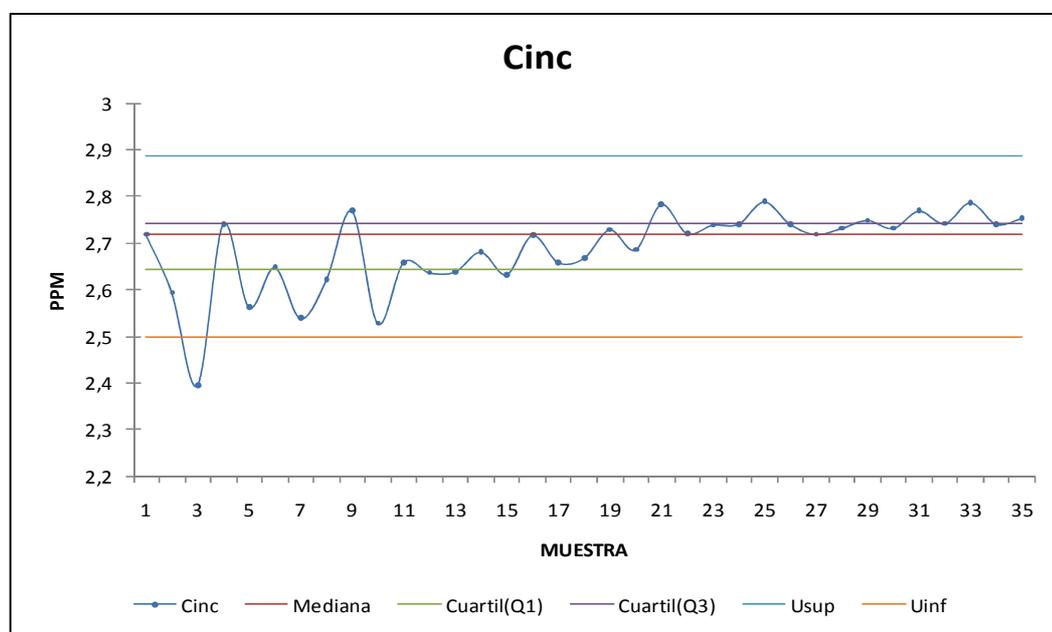


Figura 5.8 Distribución de las concentraciones de Cinc.

### 5.3.3. Cobalto

De los datos de la Tabla 5.1 la concentración promedio de cobalto es de 1,257 ppm con una mediana de 1,239 ppm en un intervalo de concentración que varía entre 1,098-2,124 ppm. En base al análisis estadístico por cajas gráficas se encuentran anomalías no significantes, con valores mayores al valor de umbral de 1,332 ppm.

Según Reedman, J. (1979), la concentración de este elemento en sedimentos finos puede variar entre 5-50 ppm donde valores superiores a 50 ppm se considerarían anómalos, los valores que encontramos son moderadas concentraciones de cobalto presentes en los gneises graníticos de la zona estos mantienen un promedio de 3 ppm de cobalto.

Rose et al., (1979) señala que la abundancia normal de cobalto en rocas de la corteza terrestre es de 25 ppm, donde los valores obtenidos en la investigación son menores al mismo, teniendo en cuenta que el promedio calculado por Dougan, T.W. en Mendoza, V. (2000), para gneises graníticos del Complejo de Imataca es de 4 ppm.

De acuerdo al comportamiento del histograma de distribución de las concentraciones los valores más altos de cobalto son los pertenecientes a las muestras 4 y 5 pertenecientes al sector Las Nieves, también se puede observar que la muestra 9 tomada en el sector Santa Rosa (Anexo 3) muestra una anomalía no significativa (Figura 5.9).

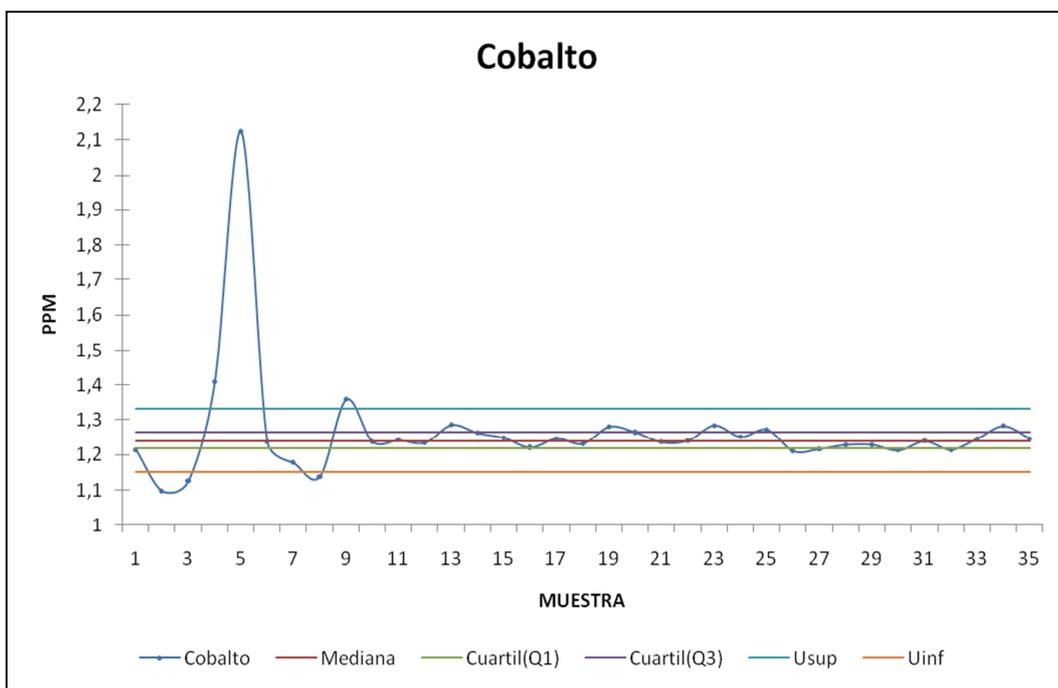


Figura 5.9 Distribución de las concentraciones de Cobalto.

#### 5.3.4. Cobre

En las muestras de sedimentos finos (tabla 5.1) el promedio de cobre fue de 5,320 ppm con una mediana de 5,342 ppm, en un intervalo de concentración que varía entre 5,069-5,401 ppm. De acuerdo con el análisis estadístico por la técnica de cajas gráficas no hay anomalías dado que el valor de umbral para este elemento es de 5,414 ppm. Reedman, J. (1979) señala que valores mayores de 80 ppm pueden considerarse anómalos. Según Rose et al., (1979) la abundancia normal de cobre en rocas de la corteza terrestre es de 50 ppm, donde ninguno los valores obtenidos en la investigación sobrepasan el mismo el cual pueda considerarse anómalo.

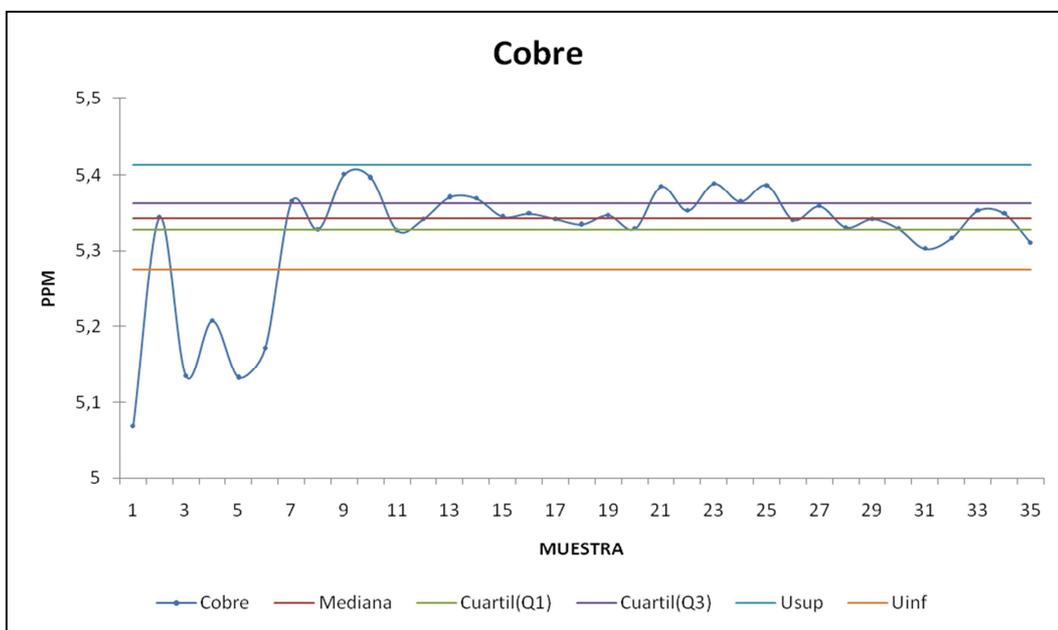


Figura 5.10 Distribución de las concentraciones de Cobre.

### 5.3.5. Cromo

Las muestras de sedimentos finos (Tabla 5.1) presentan una concentración promedio para este elemento de 2,155 ppm con una mediana de 2,138 ppm en un intervalo de 2,098-2,394 ppm, de acuerdo al umbral los valores mayores a 2,220 ppm se consideran anómalos teniendo como resultados anomalías no significativas, Reedman, J. (1979) señala que valores mayores de 80ppm pueden considerarse anómalos. Y para Rose et al., (1979) la abundancia normal de cromo en rocas de la corteza terrestre es de 100 ppm, el cual ninguno los valores obtenidos en la investigación sobrepasan el mismo. El valor promedio de los gneis de zona es de 4 ppm el cual se considera menor en comparación con el calculado por Dougan, T.W. en Mendoza, V. (2000), de 12 ppm. De acuerdo al comportamiento del histograma de concentración (Figura 5.11), los mayores valores de cromo se encuentran hacia el sector de Nieves, Santa Rosa y Santa Rita (Anexo 4).

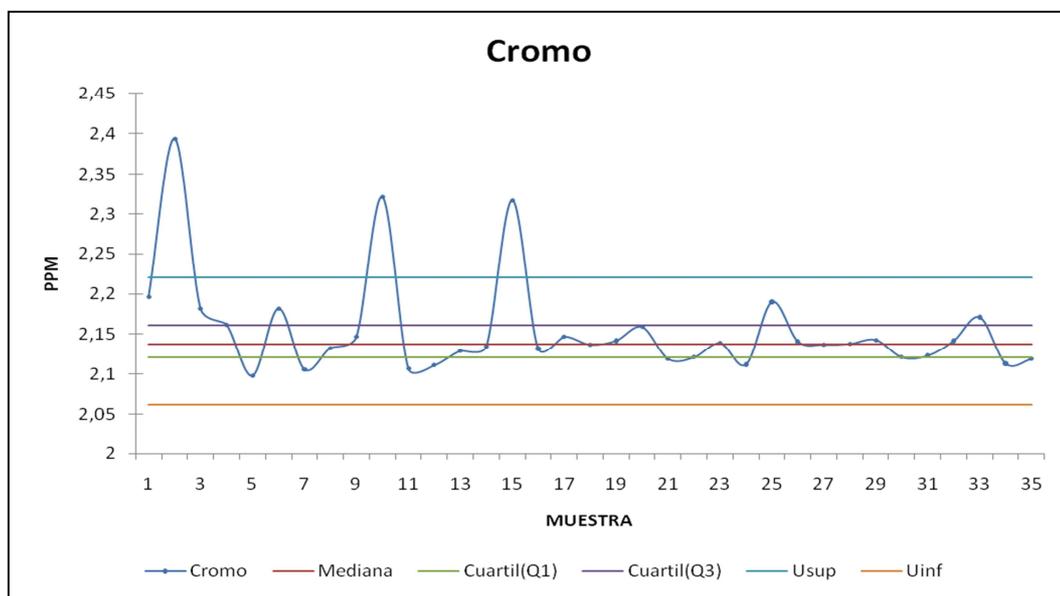


Figura 5.11 Distribución de las concentraciones de Cromo.

### 5.3.6. Hierro

En las muestras de sedimentos finos (Tabla 5.1) la concentración promedio del hierro es de 3,205% (3205 ppm) con una mediana de 3,247% (3247 ppm) en un intervalo de concentración de 2,746%-3,429% (2746-3429 ppm) teniendo como valor umbral a 3,336% (3336 ppm), los valores superiores a este se consideran anómalos. En base al análisis estadístico por cajas gráficas (Figura 5.12) se observa una anomalía negativa ya que esta arroja un valor de concentración por debajo del umbral inferior, las muestras corresponden a las numero 4-5-9-10 recolectada en el sector Las Nieves y Santa Rosa, Rose et al., (1979) señala que la abundancia normal de hierro en rocas de la corteza terrestre es de 46500 ppm, donde los valores obtenidos en la investigación son inferiores al mismo el cual tomando en cuenta lo dicho en la bibliografía se observa anomalías positiva no significativa en la muestra dos (2) (Anexo 4), y se registra una similitud a lo largo de los datos de toda la cuenca debido a la composición química de las rocas de la zona.

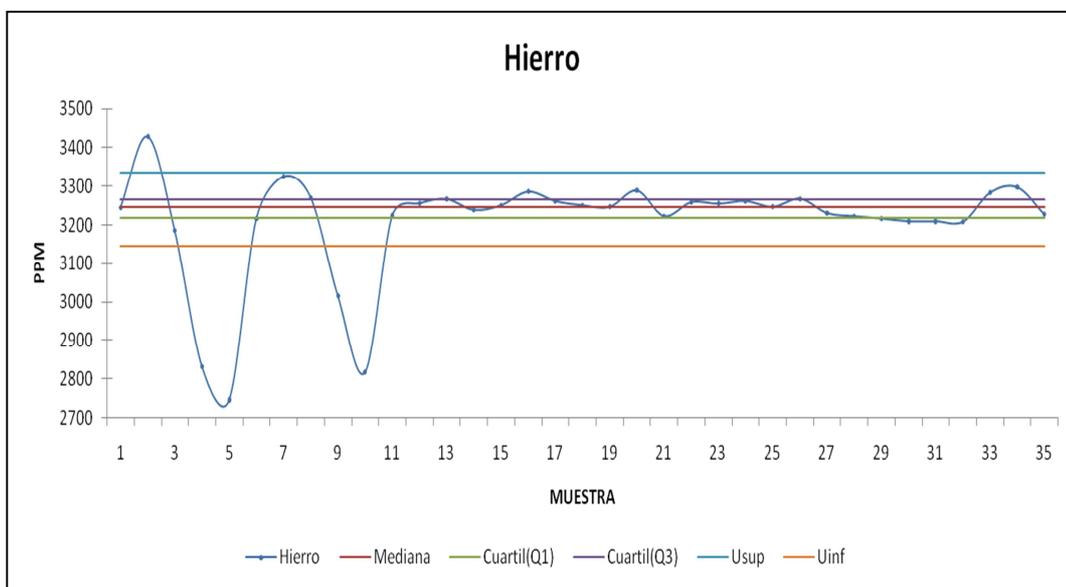


Figura 5.12 Distribución de las concentraciones de Hierro.

### 5.3.7. Manganeseo

La concentración promedio de manganeso para sedimentos finos (Tabla 5.1) fue de 0,0592% (592 ppm) con una mediana de 0,0607% (607 ppm) en un intervalo que varía entre 0,0498%-0,0682% (498-682 ppm) donde el valor umbral es de 0,0716 % (716 ppm), no se observan valores anómalos basándose en el análisis estadístico por cajas gráficas, Reedman, J. (1979) señala que la concentración de manganeso para sedimentos finos puede variar entre 0,01% (100 ppm)-0,5% (5000 ppm), Rose et al., (1979) señala que la abundancia normal de manganeso en rocas de la corteza terrestre es de 1000 ppm, aunque los valores obtenidos en la investigación ninguno es mayor a este valor que pueda considerándose anómalos el cual están asociados a la litología del lugar.

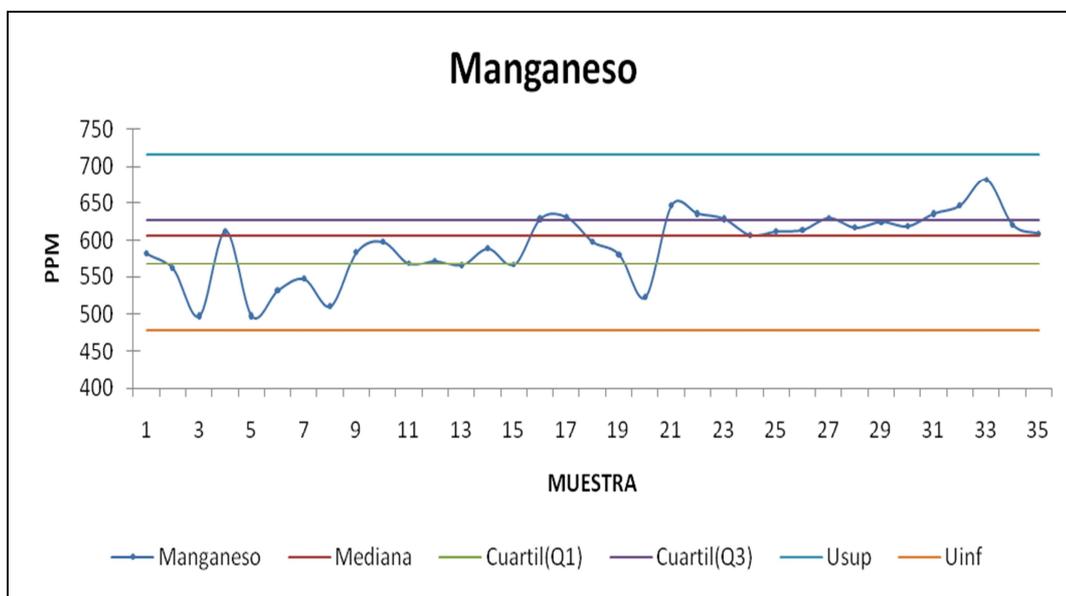


Figura 5.13 Distribución de las concentraciones de Manganeso.

#### 5.3.8. Molibdeno

Las muestras de sedimentos finos recolectadas en la zona de estudio (Tabla 5.1), dieron como resultado un promedio de concentración de molibdeno de 0,465 ppm y una mediana de 0,447 ppm con un intervalo que varía de 0,419-0,559 ppm. Considerando, según el análisis estadístico, que los valores superiores a 0,565 ppm serían anómalos, de acuerdo a la distribución de los valores en las cajas gráficas no se apreciaron anomalías, Rose et al., (1979) señala que la abundancia normal de molibdeno en las rocas de la corteza terrestre es de 1,5 ppm, aunque los valores obtenidos en la investigación ninguno es mayor al citado en la bibliografía el cual pueda considerarse anómalo; Analizando el comportamiento del histograma de distribución (Figura 5.14) se puede deducir que los valores más altos se encuentran en el sector Las Nieves.

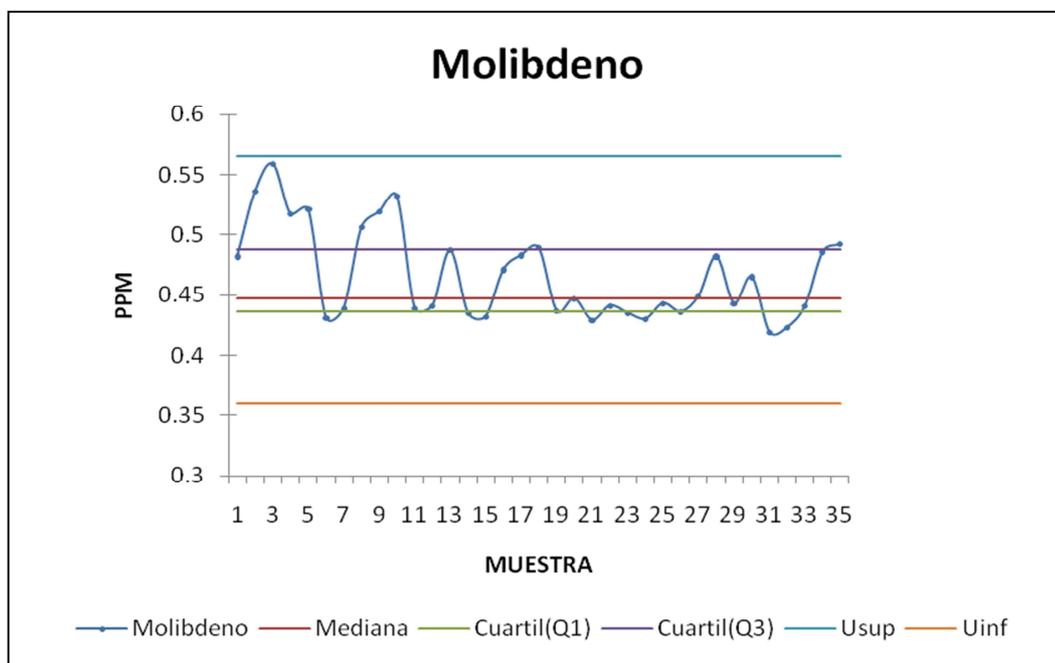


Figura 5.14 Distribución de las concentraciones de Molibdeno.

### 5.3.9. Níquel

Las muestras de sedimentos finos (Tabla 5.1) resultaron con un promedio para concentraciones de níquel de 1,236 ppm y una mediana de 1,235 ppm con un intervalo de 1,091-1,361 ppm. En las cajas gráficas el valor de umbral es igual a 1,328ppm se encontró una anomalía no significativa en la muestra tres (3) perteneciente al sector Las Nieves y en la muestra nueve (9) perteneciente al sector Santa Rosa (Anexo 3). Reedman, J. (1979) señala que la concentración de níquel para muestras de sedimentos finos puede variar entre 5-150 ppm donde se puede observar que los valores encontrados en la zona de estudio son inferiores al rango citado en la bibliografía. Rose et al., (1979) señala que la abundancia normal de níquel en rocas de la corteza terrestre es de 75 ppm.

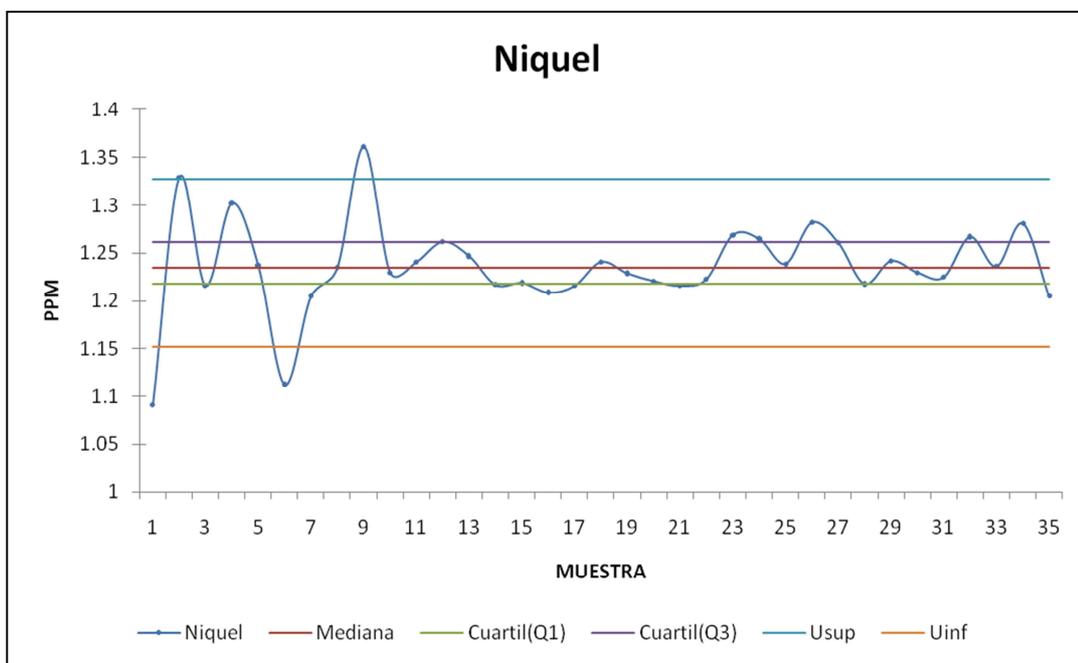


Figura 5.15 Distribución de las concentraciones de Níquel.

### 5.3.10. Plomo

En las muestras de sedimentos finos recolectadas (Tabla 5.1), la concentración promedio de plomo es de 1,135ppm, con una media de 1,129 ppm en un intervalo que varía entre 1,035-1,247 ppm considerando los valores mayores a 1,187 ppm como anómalos. De acuerdo a la distribución de los valores en las cajas gráficas se encontraron anomalías no significante en las muestras tres (3) y cinco (5) pertenecientes al sector Las Nieves (Anexo 4). Reedman, J., (1979) señala que en muestras de sedimentos finos la concentración varía entre 5-50 ppm, indicando que valores mayores de 400 ppm pueden significar zonas de mineralización, donde dichos valores obtenidos están por debajo de los citados en la bibliografía. Rose et al., (1979) señala que la abundancia normal de plomo en rocas de la corteza terrestre es de 10 ppm donde los valores obtenidos en la investigación son inferiores a este. Observando

en comportamiento del histograma de concentración (Figura 5.16) se puede decir que la principal fuente de aporte de este elemento son las rocas pertenecientes al sector Las Nieves, podríamos considerar que el valor de umbral local es bajo con respecto a un valor umbral regional, dado que el promedio de concentración para los gneises analizados es de 5,75 ppm mientras que el promedio calculado por Dougan, T.W. en Mendoza, V. (2000) para estas rocas en Imataca es de 28 ppm.

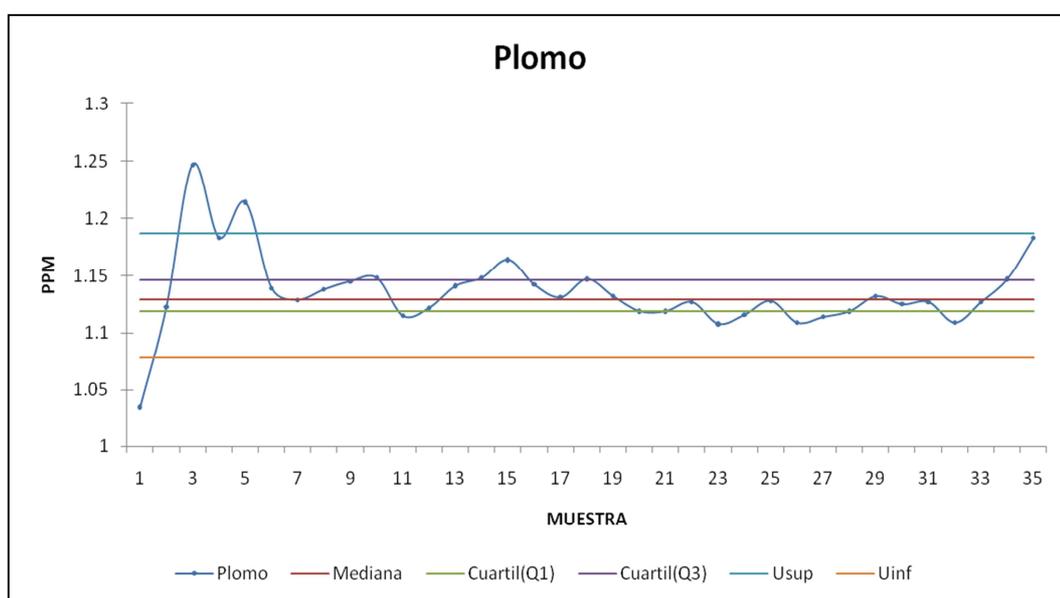


Figura 5.16 Distribución de las concentraciones de Plomo.

### 5.3.11. Titanio

La concentración promedio de este elemento para muestras de sedimentos finos (Tabla 5.1) es de 765 ppm (0,076%) y una mediana de 751 ppm (0,075%) en un intervalo que varía entre 701-845 ppm, donde el valor umbral es de 890 ppm, de acuerdo al tratamiento estadístico no encontramos valores anómalos (Figura 5.17). Reedman, J. (1979) señala que la concentración de titanio en sedimentos finos puede variar entre 0,05%-2,51%, ninguna de las muestra analizadas supera este intervalo.

Rose et al., (1979) señala que la abundancia normal de titanio en rocas de la corteza terrestre es de 4400 ppm, aunque los valores obtenidos en la investigación ninguno es mayor a este valor que pueda considerarse anómalo, el cual están asociado a la litología del lugar.

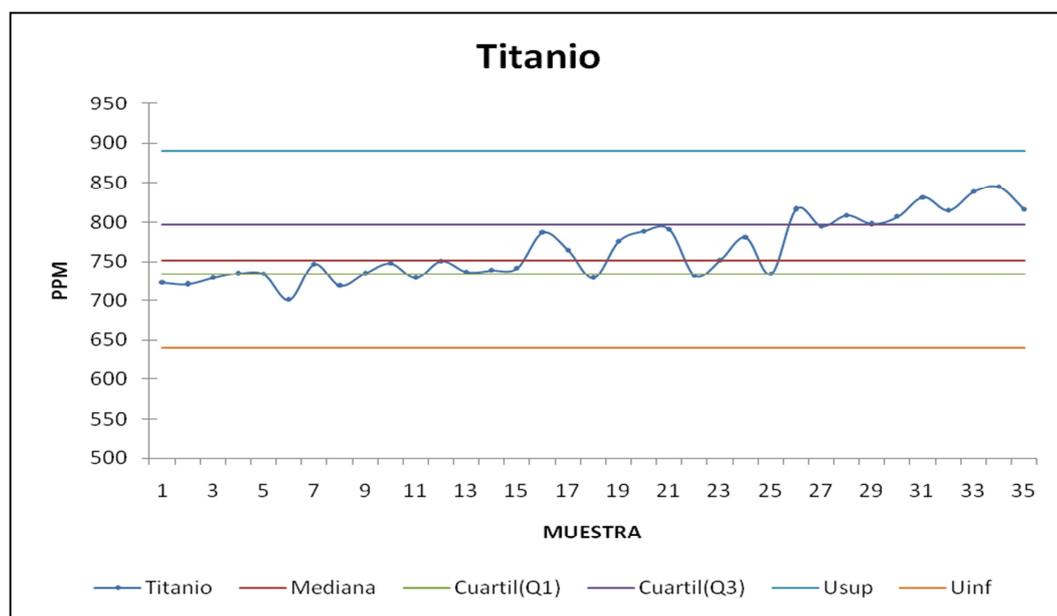


Figura 5.17 Distribución de las concentraciones de Titanio.

#### 5.4. Determinación de las características mineralógicas de los sedimentos presentes en el área de estudio

##### 5.4.1. Concentrados pesados

Los análisis realizados a los sedimentos recientes pertenecientes a cada estación de muestreo del río Marcela, (desde la naciente hasta la desembocadura), arrojaron resultados en porcentajes parecidos (tabla 5.2). Dichos resultados, son indicativos de su fuente de origen, la cual pertenece a rocas de composición ferromagnesianas,

como es el caso de rocas anfíbolíticas, cuarcitas ferruginosas y gneis graníticos. La composición y la forma en que se presentan los sedimentos de cada muestra serán descritas a continuación de formada detallada.

5.4.1.1. Muestra 1: los porcentajes mineralógicos presentes en esta muestra son; 80% de hematita, 10% de gohetita, 5% de ilmenita y 5% constituido por otros minerales; los cuales son, zircón y anfíbol. La gohetita se presenta bien redondeada, y posee un color oscuro casi negro; la hematita se presenta de forma alargada y subredondeada, bien alterada y posee un color marrón, mientras que la ilmenita se encuentra en forma muy similar a la hematina, y se diferencia de esta última en el color, ya que la ilmenita se presenta en un tono muy parecido al negro, el zircón en tonalidades claras y el anfíbol obscuras. (Figura 5.18)

5.4.1.2. Muestra 2: los porcentajes mineralógicos presentes en esta muestra son; 85% de hematita, y el restante 15% se encuentra constituido por gohetita, zircón, ilmenita y anfíbol. La hematita se presenta en forma irregular y subredondeada, un poco más alterada que en la muestra 1 y de color rojizo, la gohetita bien redondeada y de color similar a la de la muestra 1, el zircón en tonalidades más claras y la ilmenita en tonos muy oscuros al igual que el anfíbol. (Figura 5.19).

5.4.1.3. Muestra 3: los minerales que constituyen a la muestra 3 son; hematita 75%, gohetita 15%, y el 10% restante se encuentra dividido entre ilmenita, zircón, clorita, mica biotita, anfíbol y piroxeno. La hematita se presenta en forma irregular menos alargada que en la muestra 1 y subredondeada, la gohetita más pequeña que en las muestras anteriores y de igual forma y color, la clorita se presenta de color verde y pequeños fragmentos, el zircón en tonalidades más claras y la mica biotita, anfíbol y piroxeno se encuentran en fragmentos pequeños y tonalidades obscuras (Figura 5.20).

5.4.1.4. Muestra 4: esta muestra está conformada por 70% de hematita, 15% de ilmenita, 10 % de gohetita, y el 5% restante contiene clorita, mica biotita, piroxeno y esfena. La hematita se presenta en forma muy similar a las muestras anteriores pero, más pequeña al igual que la gohetita e ilmenita; clorita en tonalidades verdosas, esfena colorada (variación de tonalidades) y la mica biotita y piroxeno en tonalidades oscuras y pequeños fragmentos. (Figura 5.21).

5.4.1.5. Muestra 5: se encuentra constituida por 70% de hematita, 20% de gohetita y el 10% restante se encuentra dividido entre ilmenita, piroxeno y mica biotita. La hematita se encuentra de forma irregular de color rojizo y subredondeada; gohetita oscura y bien redondeada, la ilmenita se encuentra muy parecida a las primeras muestras y el piroxeno y la mica biotita en fragmentos oscuros y muy pequeños (Figura 5.22).

5.4.1.6. Muestra 6: se encuentra compuesta por 75% de hematita, 20% de gohetita, y el 5% restante se encuentra conformado por esfena, anfíbol y piroxeno. La hematita se encuentra de forma irregular marrón oscura y subangular, la gohetita bien redondeada y mantiene el tono de las muestras anteriores (oscuro); esfena colorada y anfíbol y piroxeno en pequeños fragmentos oscuros. (Figura 5.23).

5.4.1.7. Muestra 7: está conformada por 75% de hematita, 15% de gohetita, y el 10% restante se encuentra compuesto por ilmenita, piroxeno y mica biotita. La hematita se encuentra muy alterada de color rojizo y de forma subangular, la gohetita sin presentar muchas variaciones en las diferentes muestras, la ilmenita en tonalidades oscuras y fragmentos pequeños de piroxeno y mica biotita con tonalidades muy oscuras. (Figura 5.24).

Tabla 5.2 Contenido porcentual de minerales pesados en los sedimentos de la cuenca del río Marcela.

Estación	Nº de muestra	Abundancia de minerales observados en forma decreciente
Las Nieves	1	Hematita (80%), Gohetita (10%), Ilmenita (5%) y el 5% restante de Zircón y Anfíbol.
Santa Rosa	2	Hematita (85%) y el (15%) restante en Gohetita, Zircón, Ilmenita y Anfíbol.
Santa Rita	3	Hematita (75%), Gohetita (15%) y el 10% restante Ilmenita, Zircón, Clorita, Mica Biotita, Anfíbol y Piroxeno.
Las Cocuizas	4	Hematita (70%), Ilmenita (15%), Gohetita (10%) y el (5%) restante está compuesto por Clorita, Mica Biotita, Piroxeno y Esfena.
Rancho Alegre	5	Hematita (70%), Gohetita (20%) y el 10% restante de Esfena, Anfíbol y Piroxeno.
Fundo La Esperanza	6	Hematita (75%), Gohetita (20%), y el (5%) restante de Esfena, Anfíbol y Piroxeno.
Alcabala	7	Hematita (75%), Gohetita (15%) y el 10% restante Ilmenita, Piroxeno y Mica Biotita.

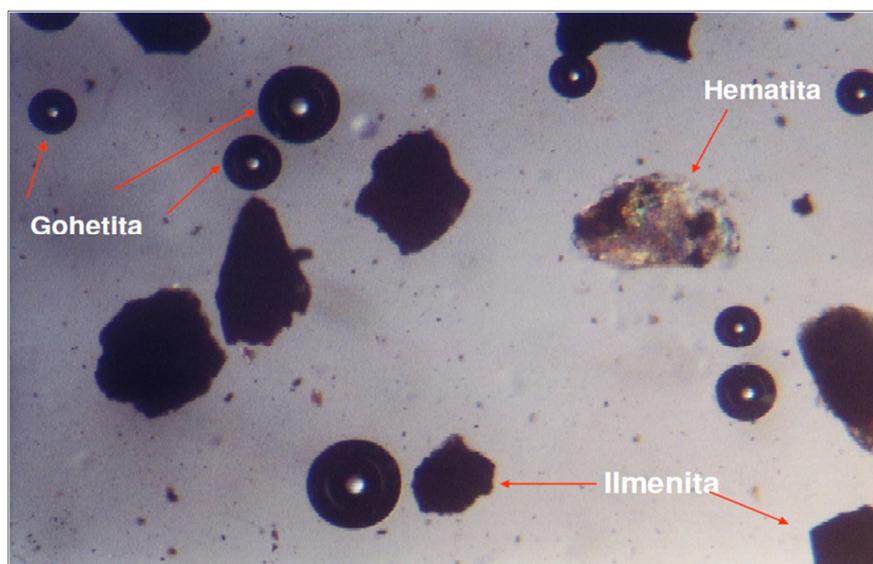


Figura 5.18 Microfotografía de los minerales pesados encontrados en la muestra 1 de los sedimentos de la cuenca del río Marcela.

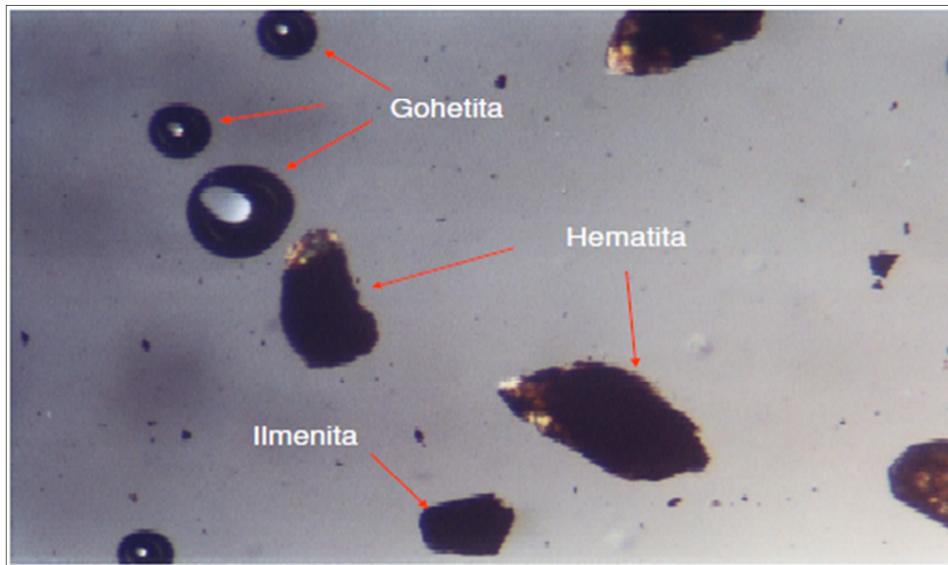


Figura 5.19 Microfotografía de los minerales pesados encontrados en la muestra 2 de los sedimentos de la cuenca del río Marcela.

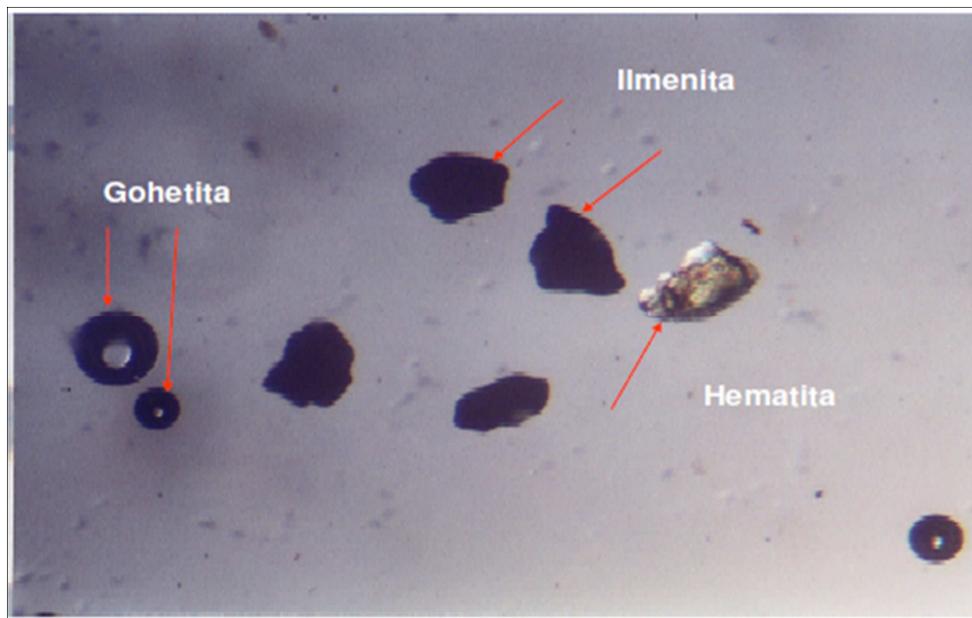


Figura 5.20 Microfotografía de minerales pesados encontrados en la muestra 3 de los sedimentos de la cuenca del río Marcela.

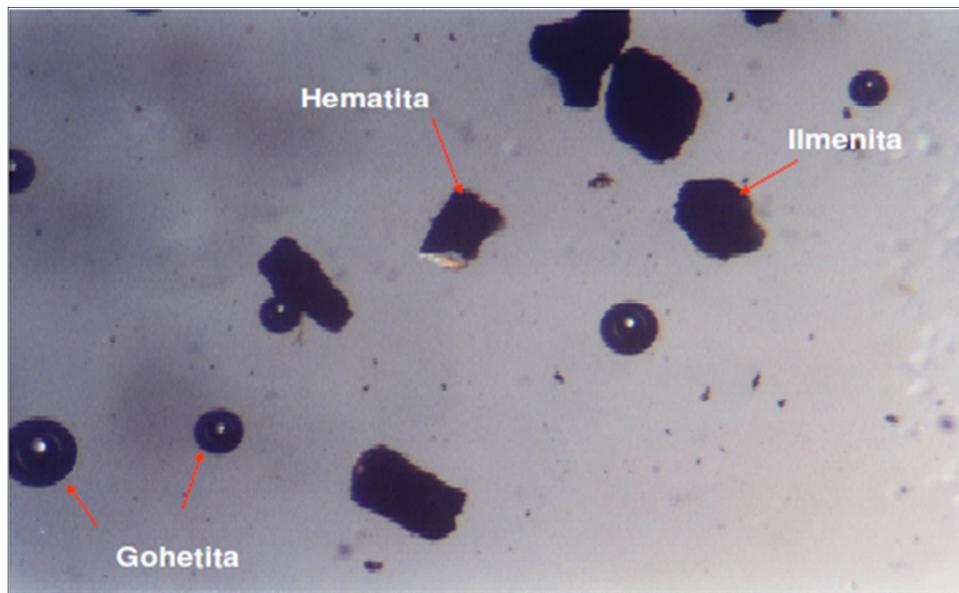


Figura 5.21 Microfotografía de los minerales pesados encontrados en la muestra 4 de los sedimentos de la cuenca del río Marcela.

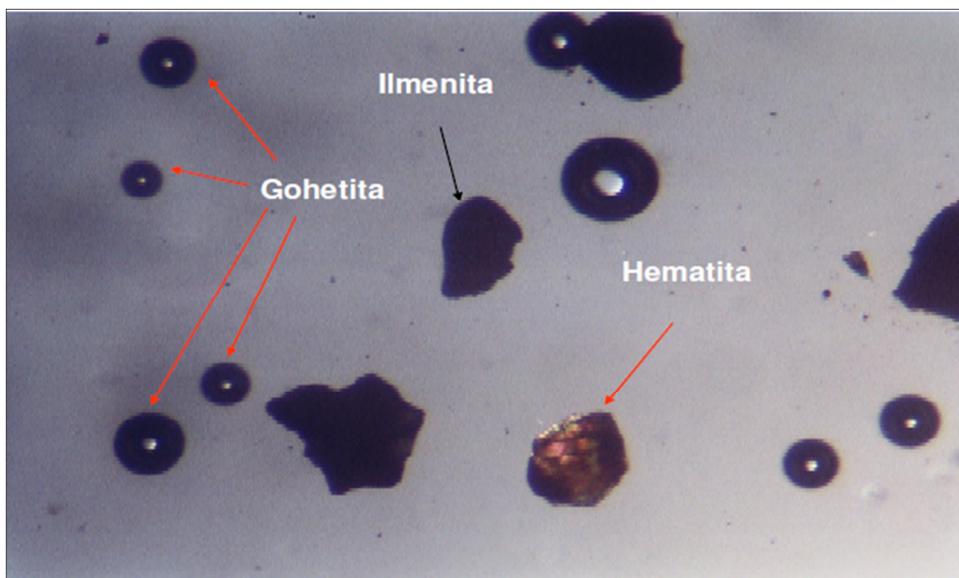


Figura 5.22 Microfotografía de los minerales pesados encontrados en la muestra 5 de la cuenca del río Marcela.

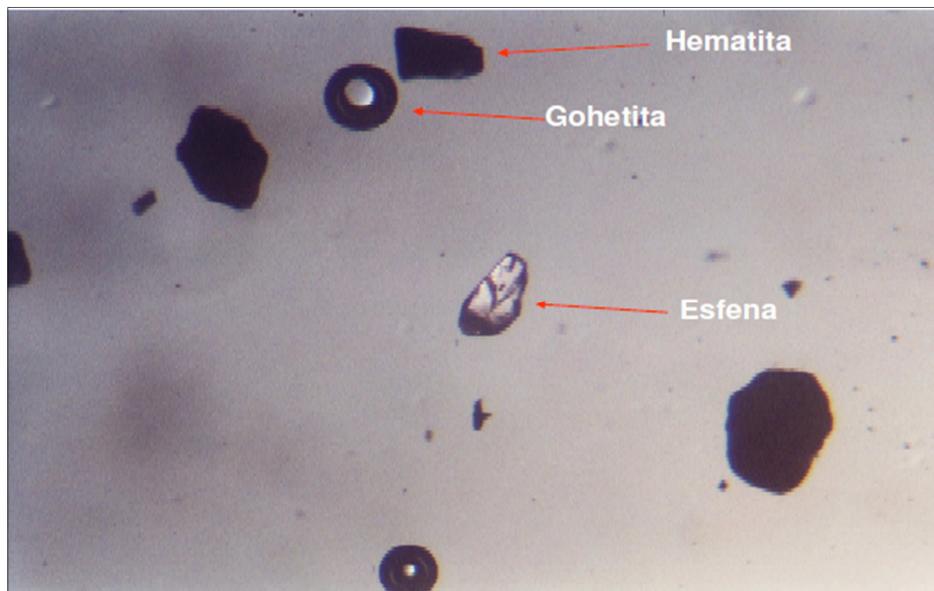


Figura 5.23 Microfotografía de los minerales pesados encontrados en la muestra 6 de la cuenca del río Marcela.

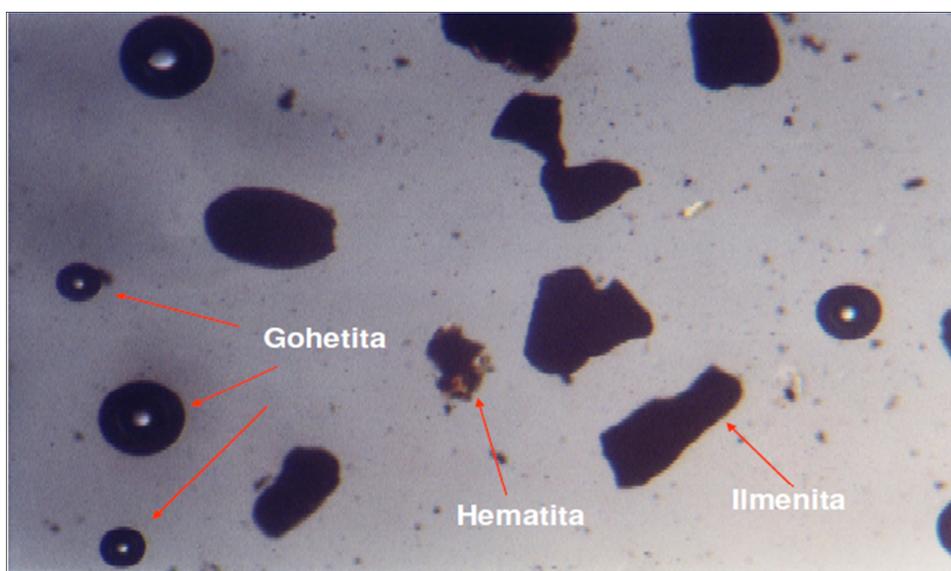


Figura 5.24 Microfotografía de los minerales pesados encontrados en la muestra 7 de la cuenca del río Marcela.

### **5.5. Análisis químico de las rocas presentes en el área de estudio**

En la tabla 5.3 se registran los valores de concentraciones de los elementos químicos analizados, estos valores facilitan la determinación de cuales valores pueden ser considerados como valores de fondo.

Los valores registrados de cadmio se encuentran entre 0,24 ppm y 0,3 ppm, originando acumulaciones relativamente bajas en la cuenca del río que alcanzan hasta 0,009 ppm, Según Rose et al., (1979). La abundancia normal de este elemento en las rocas es de 0,1 encontrándose una anomalía no significativa.

Las concentraciones de cinc para las rocas de la zona oscilan entre 24 ppm y 32 ppm comparando con Dougan, T.W. en Mendoza, V. (2000). Para los Gneises graníticos es de 36 ppm y para la Anfibolita es de 126 ppm, no encontrándose ninguna anomalía en ellas, por estar por debajo de lo señalado. Según Rose et al., (1979) la abundancia normal de este elemento químico en las rocas de la corteza terrestre es de 2 ppm tomándose entonces como valor de fondo.

Para los valores el cobalto, cobre, cromo, hierro, níquel, manganeso y titanio se pudo observar que son aproximadamente similares aunque menores a los promedios calculados por Dougan, T.W. en Mendoza, V. (2000), y que lo señalado por Rose et al., (1979) por lo tanto se pueden catalogar como normales o características de la naturaleza de las rocas analizadas lo que explica las acumulaciones encontradas en el río son productos de los valores de fondo de la zona de estudio.

Tabla 5.3 Composición química en ppm de rocas del complejo de Imataca, cuenca del río Marcela. 1. Anfibolita; 2, 3, 4, 5 Gneis Granítico; 6. Promedio de concentración calculado para los gneises (Muestras 2; 3; 4; 5).

Muestra	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Ti
1	0,27	28	12	6	15	14200	480	4	7	14	1046
2	0,24	25	15	4	10	14500	477	3	10	10	1080
3	0,25	30	3	4	7	11340	500	4	6	8	1112
4	0,24	24	4	3	7	13455	475	4	5	10	1270
5	0,3	32	3	5	5	11340	433	3	7	12	1004
6	0,26	27,8	7,4	4,4	8,8	12967	473	3,6	7	10,8	1102,4

## 5.6. Análisis petrográfico de las rocas presentes en el área de estudio

Los análisis petrográficos de las muestras obtenidas en campo fueron realizados en el laboratorio de petrografía de la Universidad de Oriente, identificadas como N-1 tomada en el sector Las Nieves, S-1 y S-2 tomadas en el sector Santa Rosa, R-1 y R-2 tomadas en el sector Rancho Alegre. Teniendo como resultado lo siguiente:

### 5.6.1. Muestra N-1

#### 5.6.1.1. Tipo de muestra: anfibolita

5.6.1.2. Descripción macroscópica de la muestra: a simple vista es una roca dura, fresca, densa, homogénea, de grano fino y de color gris oscuro.

5.6.1.3. Textura de la roca: al microscopio presenta una textura nematogranoblástica, definida por minerales prismáticos entrecrecidos con orientaciones bien definidas y en asociación con cristales anhedrales.

5.6.1.4. Minerales en orden de abundancia decrecientes: mineralógicamente la roca está compuesta por anfíbol tipo horblenda (~60%), de tamaño fino a medio, en cortes transversales, otros en prismas delgados y alargados, dispersos homogéneamente en toda la muestra: también hay cuarzo (~29%) de tamaño fino a medio, anhedral, algunos forman cúmulos y en algunas zonas son alargados y cortos; además se observo plagioclasas (~8%) de tamaño fino anhedral y con maclas difusas entrecrecidas con cuarzo; le siguen minerales opacos (~3%), de tamaño fino a medio anhedral, en ocasiones orientados y dispersos heterogéneamente en la muestra.(Figura 5.25).

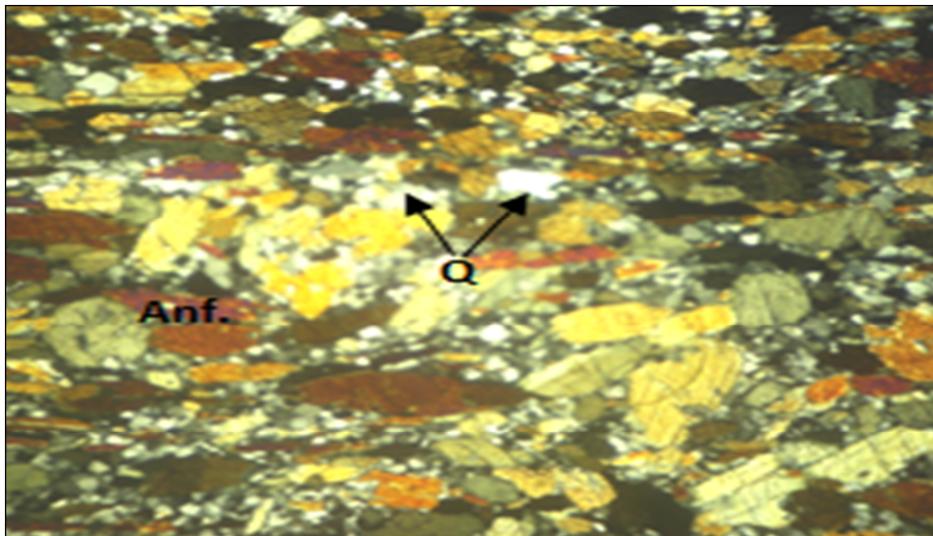


Figura 5.25 Muestra N-1 Anfibolita. Minerales prismáticos de anfíbol entrecrecidos con orientación bien definida en asociación con cristales anhedrales de cuarzo.

## 5.6.2. Muestra S-1

5.6.2.1. Tipo de muestra: gneis granítico.

5.6.2.2. Descripción macroscópica de la muestra: a simple vista es una roca dura, fresca, homogénea, de grano fino a medio, presentando orientación en los minerales máficos y de color rosado amarillento con tonos grises.

5.6.2.3. Textura de la roca: al microscopio presenta una textura granoblástica.

5.6.2.4. Minerales en orden de abundancia decrecientes: los componentes mineralógicos presentes en orden de abundancia decreciente son: feldespato potásico (45%), granudo, de tamaño medio ligeramente alterado a una arcilla, posiblemente caolinita y con inclusiones de cuarzo. Plagioclasa tipo oligoclasa ( $\approx 25\%$ ), granuda, de tamaño medio, con maclado difuso, sericitizada y algunas fracturadas. También se observó cuarzo (20%), granudo, ligeramente orientado, ondulante, de tamaño fino a medio, mayormente anhedral y con inclusiones de apatito, zircón y opacos. Por último hay mica biotita ( $\approx 10\%$ ), en prismas cortos, delgados, enhedral, orientada, intersticial con el cuarzo y feldespato, asociada con los opacos y rellenando fracturas (Figura 5.26).



Figura 5.26 Microfotografía de la muestra S - 1 Gneis Granítico.

### 5.6.3. Muestra S-2

5.6.3.1. Tipo de muestra: gneis granítico.

5.6.3.2. Descripción macroscópica de la muestra: visualmente se puede decir que es una roca de grano medio a grueso, con una coloración rasado claro y pequeños tonos negros se puede apreciar que es bandeada composicional debido a la segregación de los minerales.

5.6.3.3. Textura de la roca: bajo el microscopio se observa que predominan los minerales alargados y granulares donde la mayoría de sus componentes mineralógicos son anhedral con textura alotriomorfica inequigranular.

5.6.3.4. Minerales en orden de abundancia decreciente: con respecto al porcentaje mineralógico en orden de mayor a menor, la roca está compuesta por feldespato potásico(~55%), de tamaño variable, algunos cristales presentan inclusiones

redondeadas de cuarzo (~25%), siendo este el segundo mineral más abundante en la muestra donde algunos cristales se presentan ondulante, ligeramente alargados, fracturados y recristalizados; también hay plagioclasas, probablemente del tipo albita-oligoclasa (10%) anhedral a subhedral, de tamaño variable con predominio de la fracción de tamaño medio, escasas con maclas combadas, bastante fracturadas y con bordes triturados, algunas entre-crecidas con cuarzo, contiene cantidades menores de biotita en un (~5%), en tablas finas con bordes corroídos; por último se observó como minerales accesorios, apatito, circón y opacos, todos de tamaño muy fino. (Figura 5.27).

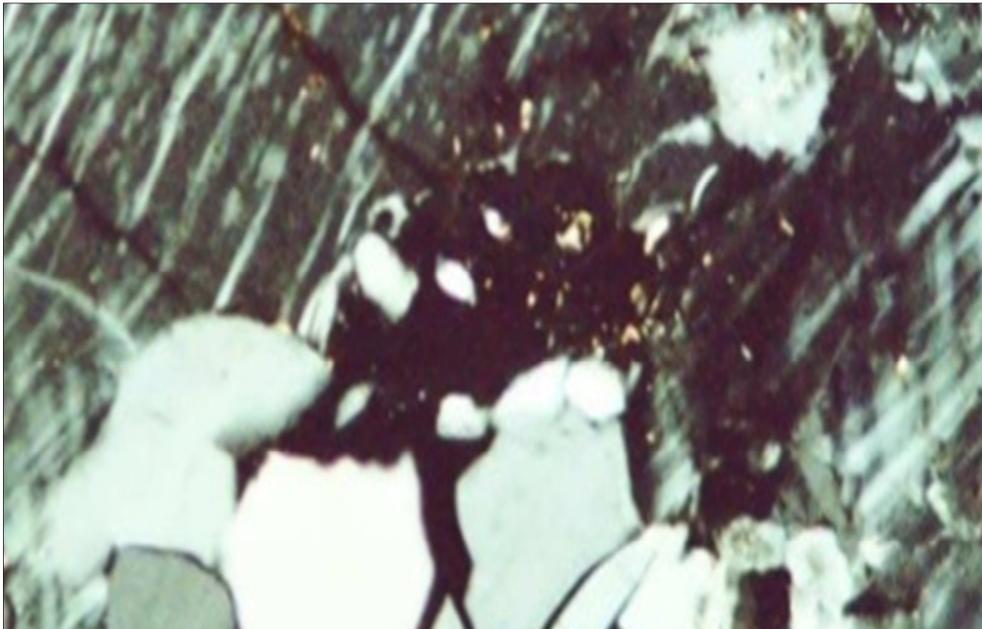


Figura 5.27 Muestra S-2 vista bajo el microscopio con analizador. Obsérvese el intercrecimiento de cuarzo y feldespato.

#### 5.6.4. Muestra R-1

5.6.4.1. Tipo de muestra: gneis granítico.

5.6.4.2. Descripción macroscópica de la roca: al observar la muestra se puede decir que es una roca densa y dura de grano medio a grueso, con una coloración rosado claro y se puede apreciar que es bandeada.

5.6.4.3. Textura de la roca: bajo el microscopio se observa que predominan los minerales alargados y granulares de tamaño moderado donde con textura alotriomorfica inequigranular.

5.6.4.4. Minerales en orden de abundancia decreciente: el mineral más abundante en esta muestra es el feldespato potásico, el cual presenta un porcentaje aproximado(~50%), algunos cristales presentan inclusiones redondeadas de cuarzo(~25%) el cual es el segundo mineral más abundante también se observó plagioclasas, probablemente del tipo albita-oligoclasa(15%) anhedral a subhedral, de tamaño variable con predominio de la fracción de tamaño medio, escasas con maclas combadas, bastante fracturadas y con bordes triturados, algunas entre-crecidas con cuarzo, (Figura 5.28), contiene cantidades menores de biotita en un (~5%), en tablas finas con bordes corroídos; por último se observó como minerales accesorios, apatito, circón y opacos, todos de tamaño muy fino.



Figura 5.28 Muestra R-1 Gneis granítico. Se observa el feldespato potásico bien fracturado.

#### 5.6.5. Muestra R-2

##### 5.6.5.1. Tipo de muestra: gneis granítico

5.6.5.2. Descripción macroscópica de la roca: en muestra de mano es una roca dura densa, fresca, de color gris claro, con una banda color pardo amarillento claro, de grano medio, el resto de la muestra se observa de grano medio a fino.

5.6.5.3. Textura de la roca: bajo el microscopio se observa una roca con textura alotriomorfica inequigranular, donde la mayoría de sus componentes mineralógicos son anhedrales, escasos subhedrales y de tamaño variable, hacia un sector de la muestra se presentan los cristales de tamaño grueso y hacia otro sector los cristales son de menor tamaño y los máficos presentan ligera orientación.

5.6.5.4. Minerales en orden de abundancia decreciente: mineralógicamente la roca está compuesta por cuarzo (~39%), de tamaño fino a medio, anhedral, alargado, ondulante, algunos fracturados y recrystalizados; hay plagioclasas, probablemente tipo albita-oligoclasa (~23%), anhedral a subhedral, de tamaño fino a medio, con maclas difusas, fracturadas y ligeramente alteradas; le sigue feldespato potásico, tipo microclino (~20%), anhedral, de tamaño fino a medio y ligeramente caolinitizados; hay anfíbol, tipo hornablenda (~12%), de tamaño fino a medio, anhedral, escasos subhedrales, asociadas a biotita y minerales opacos; los opacos (~5%), están representados por ilmenita, de tamaño variable, anhedral, fracturada, la mayoría de los cristales presentan evolución laminar de hematita (total a parcial), en ilmenita, además se observó muy escasa magnetita, de tamaño fino, anhedral, porosa; por último se encontró como accesorio, apatito y circón, todos de tamaño muy fino y granudos. (Figura 5.29).

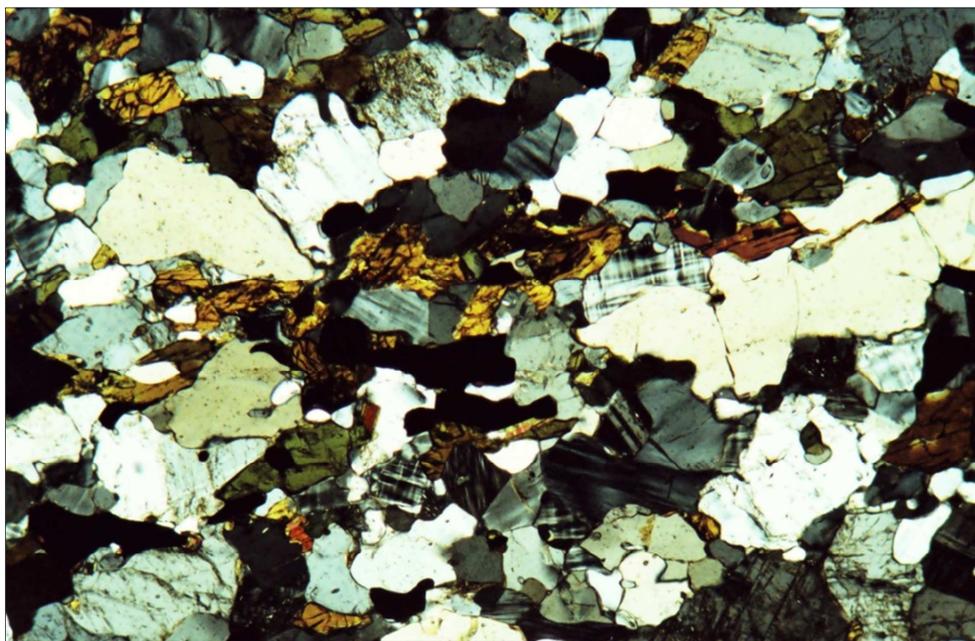


Figura 5.29 Muestra R-2 Gneis granítico. Obsérvese el cuarzo, microclina, plagioclasas y minerales opacos.

## **5.7. Elaboración de los mapas correspondientes a los aspectos geológicos y a las áreas del muestreo**

### 5.7.1. Mapa geológico

En el análisis del mapa geológico del área de estudio basado en la de geología de superficie y apoyados en los mapas geológicos realizados por C.V.G y Técnica Minera a escala 1:100.000 se delimitaron y cartografiaron las unidades geológicas presentes en la zona identificándose entre ellas de forma ascendente: Complejo de Imataca del Precámbrico, la Formación Mesa y Aluviones ambos pertenecientes del Cuaternario. El Complejo de Imataca aflora en mayor proporción hacia el Sur y hacia el Oeste, y en menor cantidad en el Norte y Este de la cuenca. Se observaron litologías como gneises graníticos, formaciones bandeadas de hierro o cuarcitas ferruginosas además de granitos alcalinos intercalados con gneises cuarzo-feldespáticos. . (Figura 5.30, Anexo 1).

### 5.7.2. Mapa de muestreo

Las muestras fueron recolectadas en las siete estaciones, previamente estudiadas por cartografía y por recorrido de campo, correspondientes a los sitios más apropiados y más accesibles que se consiguieron en el trayecto del cauce del río Marcela, ya que, por otros sitios el acceso estaba limitado por portones en fundos privados a los cuales se negaba el acceso o por lo densa que es la vegetación hacia algunas zonas cercanas a los bosques de galería del río en las zonas donde se permitía explorar el cauce. (Figura 5.31 y Anexo 2)

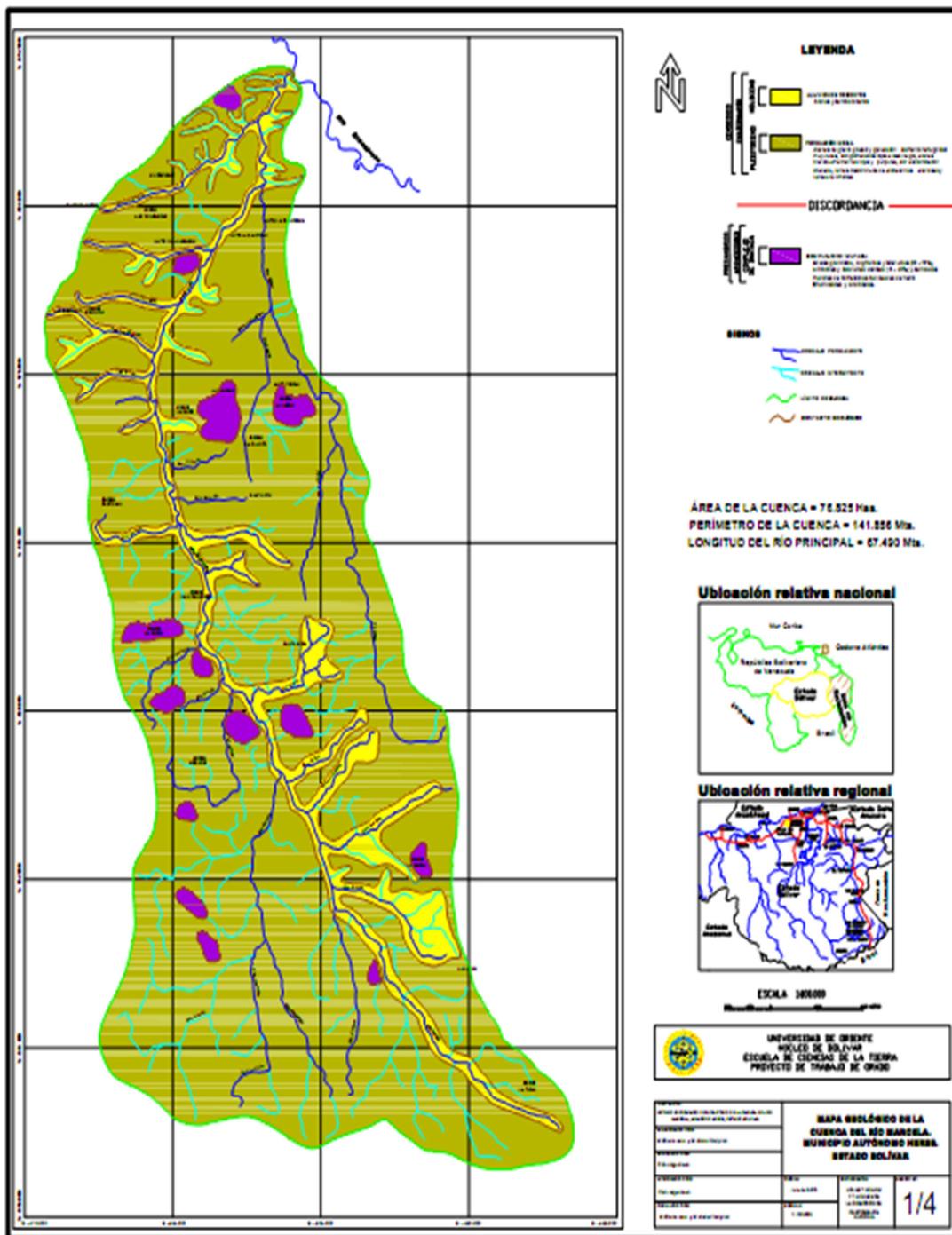


Figura 5.30 Mapa Geológico de la cuenca del río Marcela.

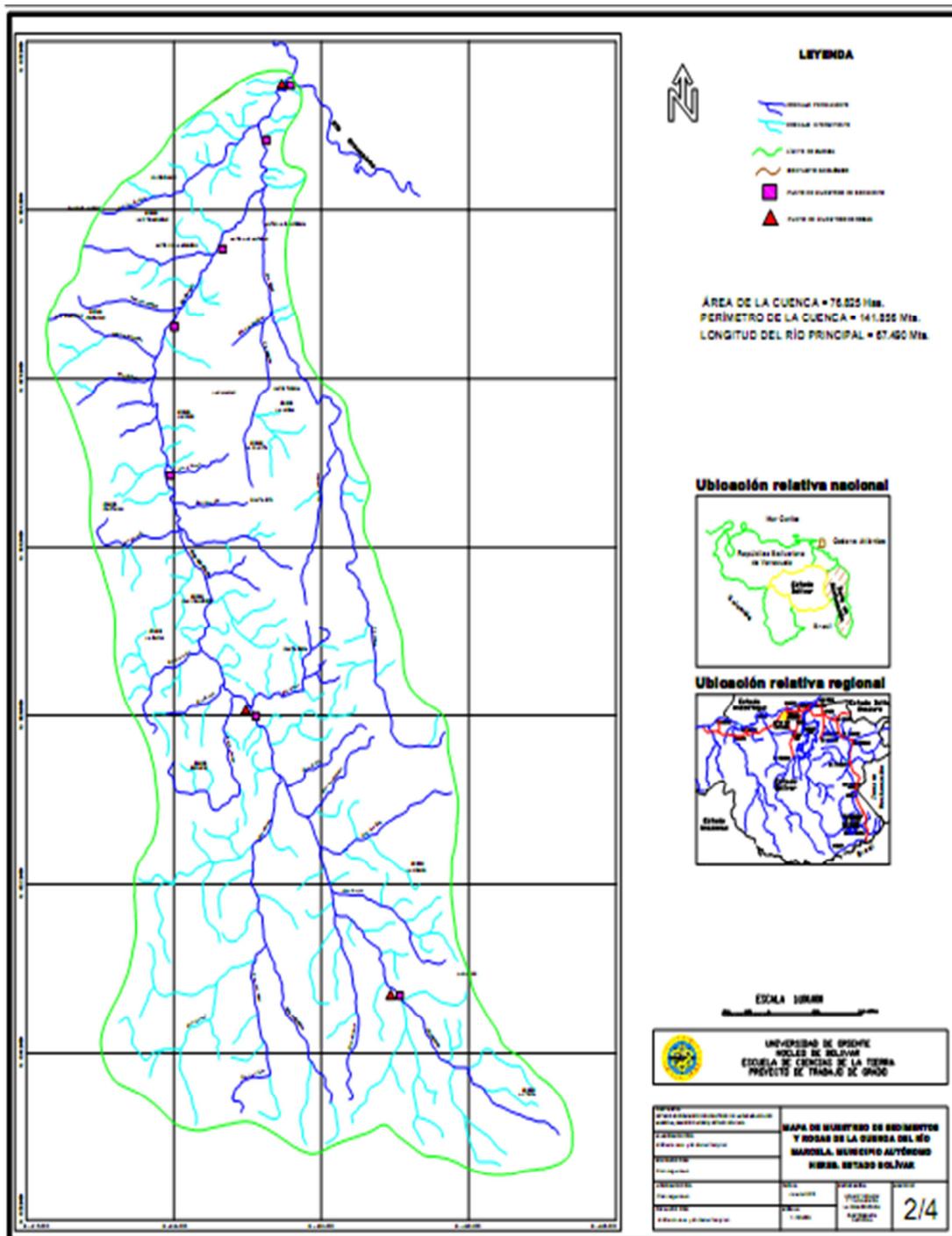


Figura 5.31 Mapa de muestreo de rocas y sedimentos de la cuenca del río Marcela.

El muestreo realizado fue el siguiente:

5.7.2.1. Sector Las Nieves: perteneciente al Complejo de Imataca, (Figura 5.30), se apreciaron afloramientos rocosos, en su mayoría gneises graníticos que se encuentran en distintos sitios del área de estudio, además de tomarse muestras de roca siendo esta de anfibolita y sedimentos a un lado de la cuenca. (Figura 5.31).

Se observó que el material ígneo-metamórfico basal que aflora en esta cuenca se meteoriza diferencialmente bajo los efectos del clima tropical húmedo que caracteriza la zona para formar suelos de poco espesor y que recubren el afloramiento (entisoles); y sedimentos que son arrastrados cuesta abajo por las agua de escorrentía. (Figura 5.32).



Figura 5.32 Meteorización que sufren los afloramientos graníticos Sector Las Nieves.

5.7.2.2. Sector Santa Rosa: perteneciente al Complejo de Imataca, (Figura 5.30) al igual que el sector Las Nieves se tomaron muestras de rocas y sedimentos, (Figura 5.31) siendo las rocas gneises graníticos. Se evidenció que estos gneises graníticos, carecen de la protección de un manto de suelo y vegetación, por lo tanto se desintegran producto de la expansión y contracción ocasionada a la ganancia de calor durante el día y su pérdida durante la noche; o por foliación en forma de lajas y esferas, además del efecto causado por las raíces de los árboles (intemperismo biomecánico). Figura (5.33).



Figura 5.33 Desprendimientos de capas de rocas a causa del intemperismo, Sector Santa Rosa.

5.7.2.3. Sector Santa Rita: en este sector se observan afloramientos importantes de la Formación Mesa (Figura 5.30) ubicada al Sur del río Orinoco, se caracteriza por estar constituida por una secuencia de sedimentos no consolidados como gravas, arenas, limos, arcillas y facies mixtas (arenas limosas y arcillosas), que se disponen ligeramente inclinados a subhorizontales). Se tomaron muestras únicamente de

sedimentos en esta área (Figura 5.31). Se divisó la presencia de horizontes conglomeráticos alcanzando desarrollos que van desde pocos centímetros (en las cabeceras de las cuenca) hasta de un metro de espesor de Formación (en sectores aguas abajo). El tamaño de los elementos líticos que conforman estos conglomerados varía desde varios milímetros hasta 5 centímetros. (Figura 5.34).



Figura 5.34 Suelo erosionado, produciendo cárcavas de 1 metro de espesor localizada en el sector Santa Rita a 15 metros de la orilla del río Marcela.

5.7.2.4. Sector Las Cocuizas: pertenecientes a la Formación Mesa, se tomaron muestras de sedimentos al margen del río. Se divisaron suelos areno-limosos, de color amarillento, originados por la disgregación de los sedimentos no consolidados de esta Formación y la meteorización de los gneis cuarzo-feldespáticos del Complejo de Imataca. (Figura 5.30, 5.31 y 5.35).



Figura 5.35 Coloración de los suelos. Sector Las Cocuizas.

Las partes bajas del afloramiento están cubiertas por material aluvial y eluvial, pero gran extensión de éste sector posee material sedimentario producto de la descomposición de estos gneises cuarzo-feldespáticos causando formación de costras ferruginosas o lateritas ferruginosas silificadas, relacionadas con la existencia de niveles impermeables de arcillas, que en ocasiones suelen ocurrir como capas impermeables sobre el basamento.

Se observaron una especie de meteorización mixta, puesto que está conformada por fragmentación física y por descomposición química de minerales, es decir el sometimiento de las rocas al intenso sol diario y luego la exposición a la lluvia, así como también la actuación de los diferentes componentes químicos que afectan al suelo, son factores que contribuyen a que un suelo se meteorice de esa forma. (Figura 5.36).



Figura 5.36 Material rocoso o costra ferruginosas meteorizado, aflorando en una terraza aluvial. Sector Las Cocuizas.

5.7.2.5. Sector Rancho Alegre: aflora una porción del Complejo de Imataca, Formación Mesa y Sedimentos del Reciente en su mayoría (Figura 5.30). Se tomaron muestras tanto de rocas como gneises graníticos y de sedimentos (Figura 5.31).

En el sector Rancho Alegre la Formación Mesa se depositó discordantemente sobre las rocas precámbricas del Complejo de Imataca y localmente sobre los gneis cuarzo- feldespáticos que caracterizan al área de estudio. Los gneises encontrados sufren el mismo intemperismo que otras zonas encontrándose meteorizado. (Figura 5.37)



Figura 5.37 Afloramiento perteneciente al sector Rancho Alegre.

Además de gneises se distingue en las inmediaciones y centro del cauce, Sedimentos del Reciente, estos sedimentos son arrastrados por el agua de escorrentía, el viento y la gravedad a niveles inferiores hasta ser encausados en el río. Con la pérdida de energía por caída del gradiente de altitud el río erosiona lateralmente sus márgenes desarrollando pequeñas planicies aluviales de sedimentación arenosa. (Figura 5.38).



Figura 5.38 Sedimentos recientes en el cauce del río Marcela, en el sector Rancho Alegre.

Esto puede indicar que en tiempos de depositación de la Formación Mesa, al menos localmente, el escurrimiento seguía una dirección semejante a la actual (Noroeste).

En una isla de arena se aprecia la predominancia de sedimentos no consolidados (arenas), y granos de cuarzo claramente visibles en las muestras de mano y en la superficie meteorizada de los gneis.



Figura 5.39 Afloramiento de una isla de arena, sector Rancho Alegre.

5.7.2.6. Sector La Esperanza: se encuentra localizada en la Formación Mesa (Figura 5.30), en éste sector se tomaron muestras de sedimentos (Figura 5.31). Se observaron aluviones del reciente como arenas de grano medio de color marrón claro en el río y marrón oscuro en sus márgenes (Figura 5.39).



Figura 5.40 Recolección de muestras de sedimentos Sector Fundo La Esperanza.

En este sector se observó la formación de suelos lateríticos producto de la desintegración del feldespato potásico que contienen algunas rocas y que sufren intemperismo, donde el feldespato se va desmembrando y posteriormente dichas partículas, del mencionado componente, se van depositando en zonas adecuadas para su litificación y posterior transformación en roca sedimentaria (Figura 5.40).



Figura 5.41 Detalle de un suelo laterítico, producto de la meteorización y posterior depósito del Feldespato Potásico.

Otro fenómeno muy importante que se observa en la figura 5.40 es la formación de “costras ferruginosas” o lateritas ferruginosas silificadas, relacionadas con la existencia de niveles impermeables de arcillas, que en ocasiones suelen ocurrir como capas impermeables sobre el basamento. La formación de las costras ferruginosas es un fenómeno netamente superficial, originado por las fluctuaciones del nivel freático cercano a la superficie, y por lo tanto expuestas a las influencias de la acción solar

que produce la precipitación de hidróxidos de Hierro causantes de la consolidación de los sedimentos arenosos.

5.7.2.7. Sector La Alcabala: ubicada en la Formación Mesa se encuentran afloramientos del Complejo de Imataca y Sedimentos del Reciente (Figura 5.30). Se tomaron muestras de sedimentos en el cauce del río. (Figura 5.31).

Se hizo un reconocimiento de la zona, para diferenciar la litología presente, encontrándose cerca del margen del río Sedimentos del Reciente como arenas de grano grueso a medio de color beige oscura a marrón claro, producto de la disgregación de las rocas pertenecientes tanto a la Formación Mesa como el Complejo de Imataca. (Figura 5.41)



Figura 5.42 Reconocimiento del sector La Alcabala.

Posteriormente se observó materiales meteorizados y muy alterado, proveniente de los gneises feldespáticos, de color amarillo oscuro además de una veta de cuarzo de color marrón oscuro por efecto de la meteorización con intercalaciones de cuarcitas ferruginosas afectadas por plegamientos. Cabe destacar que el feldespato constituyente de estos gneises se presenta alterado a caolín producto del intemperismo.



Figura 5.43 Gneis cuarzo-feldespático alterado con intercalaciones de cuarcitas ferruginosas, sector La Alcabala.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

En la cuenca hidrográfica del río Marcela se observaron tres unidades litológicas, las cuales son el Complejo de Imataca, Formación Mesa y Sedimentos recientes, localmente el Complejo de Imataca se evidencia a través de la observación de afloramientos rocosos de gneises- cuarzo feldespáticos.

Los sedimentos del Reciente (aluviones), se extienden preferentemente adyacentes en las planicies y barras de meandros. Están conformados básicamente por materiales productos del intemperismo de la Formación Mesa y de las rocas del Complejo de Imataca.

En el área de estudio se observaron diaclasas con patrones de fracturamiento con dirección al noroeste. Además de pequeños plegamientos de cuarcita ferruginosa en el sector La Alcabala al igual de vetas de cuarzo de color marrón por efecto de la meteorización en dirección N 293° y buzamiento vertical.

Se determinaron valores anómalos para el cobalto, el cual fue de 2,124 ppm, para el cromo cuyo valor fue de 2,394 ppm, el hierro con 3,429 ppm, el níquel con 1,361 ppm y por último el plomo con 1,247 ppm, las anomalía de estos elementos se encuentran generalmente en los sectores Las Nieves y Santa Rosa debido a la presencia de las rocas encontradas en la zona, por lo tanto se interpretan como ruido de fondo del área de estudio.

Los valores anómalos detectados se consideran valores de fondo con respecto a valores de umbral de la región, considerando que el valor de umbral local es muy bajo con respecto a un valor umbral regional. Más sin embargo los valores descritos son no significantes con respecto a los establecidos por Doungan en Mendoza, V. (2000).

Con respecto a la distribución de los minerales pesados detectados en la cuenca se encontraron hematita, goethita e ilmenita siendo estos los de mayor porcentaje mientras que el zircón, anfíbol, clorita, biotita, piroxeno y esfena en menor porcentaje.

Los análisis de minerales pesados evidencian que su fuente de origen pertenece a rocas de composición ferromagnesianas, como es el caso de rocas anfibolíticas y de cuarcitas ferruginosas; y poseen una composición química muy variada que va desde sílice, aluminio y hierro hasta cantidades menores de manganeso, cobre, cinc, y titanio.

De acuerdo a los análisis petrográficos las rocas muestreadas en la cuenca del río Marcela corresponden a anfibolitas (N-1) y gneises graníticos (S-1; S-2; R-1; R-2).

En cuanto a las fuentes generadoras de minerales son: Las rocas del sector Las Nieves que actúan como principal fuente aportadora de cobalto, cobre, hierro, níquel y plomo ; el cual está ubicada hacia la parte alta de la cuenca donde se encuentran algunas rocas máficas. Hacia la cuenca media que abarca desde el sector Santa Rita hasta el sector Rancho Alegre encontramos Cadmio y cobre mientras que el cinc, plomo y titanio hacia la parte baja de la cuenca la cual está representada por el sector que va desde Fundo La Esperanza hasta La Alcabala. La mayoría de las muestras fueron recogidas cerca de formación Imataca por lo tanto las rocas representativas

como fuentes aportadoras son los gneis graníticos, cuarcitas ferruginosas y anfibolitas.

En el mapa geológico de la cuenca del río Marcela se identificaron tres unidades geológicas el Complejo de Imataca, el cual aflora en mayor proporción hacia la parte sur y la parte oeste de la cuenca; la Formación Mesa se evidencia en toda la cuenca, pero con mayor proporción hacia el norte y los sedimentos del reciente se encuentran en el lecho y márgenes de los ríos y quebradas. El cauce del río Marcela tiene una longitud de 67 Km aproximadamente en dirección Noroeste, su patrón de drenaje es dendrítico y las fallas inferidas en el mapa actúan como control tectónico de diversos tramos del río.

Geomorfológicamente la cuenca presenta un relieve variado entre lomeríos característicos del Complejo de Imataca y planicies representativas de la Formación Mesa. Ésta presenta una baja pendiente lo que conlleva a que las aguas que circulan por el cauce del río se desplacen a baja velocidad.

El uso de un software especializado como Excel para el tratamiento estadístico de los datos de análisis de sedimentos y rocas, permitió obtener resultados más satisfactorios y evitar errores por cálculos manuales.

El vaciado de los datos obtenidos para cada elemento en hojas de cálculo Excel, en la elaboración de cajas gráficas, proporciono una mejor visualización e interpretación de la distribución de los valores.

### **Recomendaciones**

Se requiere la colaboración de las autoridades de la zona y de la población en general para que permitan y faciliten el acceso a la cuenca del río Marcela para que los estudios que se realicen en la zona cubran más sectores de los que se lograron alcanzar en esta investigación.

Se debe contar con un transporte adecuado, los permisos que se requieran por parte de las autoridades así como el resguardo por parte de éstas para velar por la integridad de los investigadores mientras realizan la jornada.

Contar con instrumentos más actualizados en los laboratorios de sedimentología y petrografía de la Escuela de Ciencias de la Tierra que permitan realizar los análisis de una manera más rápida y confiable.

Para futuras investigaciones, se requiere de la actualización de esta investigación para lo que se recomienda principalmente, tomar y analizar mayor cantidad de muestras a lo largo de la cuenca del río Marcela y zonas aledañas.

Dotar la biblioteca de la Universidad de Oriente-Núcleo Bolívar, de material bibliográfico y cartográfico actualizado.

## REFERENCIAS

- Arias, F. (2006) **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, GUIA PARA SU ELABORACIÓN**. Editorial Episteme, Caracas, P 68.
- Bates & Jackson, (2001) **GEOQUIMICA**. Recuperado Octubre 2008 [<http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm>].
- Bernal T, Cesar Augusto. (2000) **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION PARA ADMINISTRACION Y ECONOMIA**. Editorial McGraw-Hill, Bogotá, P 262.
- Bernet, Dilia y Márquez, Juan, (2006) **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - AMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO MARCELA EN “EPOCA DE LLUVIA. MUNICIPIO AUTÓNOMO HERES, ESTADO BOLÍVAR**. Universidad de Oriente, Núcleo de Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar, Venezuela; trabajo de grado, pp 1-22.
- Calzadilla, D. y Echeverri, N. (2008) **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA- AMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO MARCELA EN ÉPOCA DE SEQUÍA. MUNICIPIO AUTÓNOMO HERES DEL ESTADO BOLÍVAR**. Universidad de Oriente, Núcleo de Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar, Venezuela; trabajo de grado, pp 1-34.
- Campal, N. y A. Schipilov (2004). **LA FORMACIÓN CERROS DE AGUIRRE: EVIDENCIAS DE MAGMATISMO VENDIANO EN EL URUGUAY**. Latin American Journal of Sedimentology and Basin Análisis, pp12-109.
- Chase, R. (1965). **COMPLEJO DE IMATACA, ANFIBOLITAS DE PANAMO Y TRONDJEMITA DE GURI**, en MEM Bol. Geol. V7, N 13, pp 105 – 215.
- Corporación Venezolana de Guayana. Técnica Minera C.A. (1991). (Tecmin C.A.) **INFORME DE AVANCE NB-20-4. CLIMA, GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, SUELOS, VEGETACIÓN**. Gerencia de Proyectos Especiales. Proyecto Inventario de los Recursos Naturales de la Región Guayana (P.I.R.N.R.G.), Ciudad Bolívar, Venezuela. Tomo I, p 1-73.

- Dimarco, Ronni (2008) **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DE UN SECTOR DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA TAIPANA, EN EL SECTOR PERAMANAL, MUNICIPIO SUCRE DEL ESTADO BOLÍVAR**. Universidad de Oriente, Núcleo de Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar, Venezuela; trabajo de grado, pp 72-73.
- González de Juana, C. (1980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**. Ediciones Foninves. Tomo 1. Caracas, pp 33-38.
- Hernández, Roberto, Fernández, Carlos, Baptista, Pilar, (2004) **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN** (Tercera edición.). Editorial McGraw-Hill, México, pp 36-47.
- Higueras, P. y Oyorzun, R. (2008). **PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA**. Recuperado Marzo 2009. [[http://www.ucm.es/info/crismine/textos\\_monografias.htm](http://www.ucm.es/info/crismine/textos_monografias.htm)].
- Instituto Nacional De Geología Y Minería de Venezuela, (2005) **PROYECTO MAPA GEOQUÍMICO DE VENEZUELA**. 11 de febrero del 2010, <http://www.ingomin.gob.ve/parlamento/Proyecto%20Mapa%20Geoquímico>.
- Mendoza, V. (2000). **EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA Y RECURSOS MINERALES DEL ESCUDO DE GUAYANA EN VENEZUELA (Y SU RELACIÓN CON EL ESCUDO SUDAMERICANO)**. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar, Venezuela, p 184.
- Mendoza, V. (2005) **ESCUDO DE GUAYANA, ANDES VENEZOLANOS Y SISTEMA MONTAÑOSO DEL CARIBE**. Ciudad Bolívar, Venezuela, p 50.
- Morales, J. (2003) **¿QUE ES LA GEOLOGIA?** 20 de febrero del 2010, <http://www.fortunecity.com/campus/chemistry/195/index2.htm>
- Oyarzún, J. (2009). **LÉXICO SOBRE PROCESOS Y ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS**. Universidad de La Serena. Chile. 13 de Febrero del 2009, [http://www.aulados.net/Geologia\\_yacimientos/Lexico\\_1/Lexico\\_1.pdf](http://www.aulados.net/Geologia_yacimientos/Lexico_1/Lexico_1.pdf)
- Petróleos de Venezuela, PDVSA – Intevep (1997 – 2001). **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA**. Versión Digitalizada.

- Ramírez, T. (2008) **COMO HACER UN PROYECTO DE INVESTIGACION**. Editorial Panamo, Caracas, P 175.
- Reedman, J. (1979). **TECHNIQUES IN MINERAL EXPLORATION**. London. Applied Sciences Publishers. LTD, p 533.
- Rose, A.W., Hawkes, H. E. & Webb, J.S. (1979). **GEOCHEMISTRY IN MINERAL EXPLORATION**. Segunda Edición. Academic Press (New York), p 656.
- Salazar G, Jesús M. y Sandoval N, Juan E. (2009) **ESTUDIO GEOQUÍMICO EXPLORATORIO DE LA CUENCA DEL RÍO GUAIMIRE, MUNICIPIO HERES, ESTADO BOLÍVAR**. Universidad de Oriente, Núcleo de Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar, Venezuela; trabajo de grado, P 106.
- Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea Venezolana, FAV, (2008). **INFORME DE METEOROLOGÍA**. Aeropuerto de Ciudad Bolívar. Estado Bolívar.
- Susanne Griem-Klee, (2008). **APUNTES COMPILADOS**. Universidad de Munster (Alemania). Recuperado Marzo 2009, <http://www.plata.uda.cl/minas/apuntes.htm>
- Tapia B, María A. (2000) **APUNTES DE METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**. 15 de febrero del 2010, <http://www.angelfire.com/emo/tomaustin/Met/metinacap.htm>
- Williams, V. y Morales, R. (2008). **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE AFLORAMIENTOS DE CHARNOCKITA UBICADOS EN EL SECTOR CURRUCAY KM 43 DE LA AUTOPISTA CIUDAD BOLÍVAR – CIUDAD GUAYANA. MUNICIPIO AUTONOMO HERES**. Universidad de Oriente, Núcleo de Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar, Venezuela; trabajo de grado, pp 45-98.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**

**MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO MARCELA. MUNICIPIO  
AUTÓNOMO HERES. ESTADO BOLÍVAR**

**ANEXO 2**

**MAPA DE MUESTREO DE SEDIMENTOS Y ROCAS DE LA CUENCA DEL  
RÍO MARCELA. MUNICIPIO AUTÓNOMO HERES. ESTADO BOLÍVAR**

**ANEXO 3**

**MAPA CON VALORES REPRESENTATIVOS DEL CONTENIDO DE Co Y  
Ni EN LAS MUESTRAS.**

**ANEXO 4**

**MAPA CON VALORES REPRESENTATIVOS DEL CONTENIDO DE Fe, Cr  
y Pb EN LAS MUESTRAS**

**ANEXO 5**

**RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO DE SEDIMENTOS**



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
CENTRO DE GEOCIENCIAS  
La Sabanita - Ciudad Bolívar - Venezuela  
Teléfonos: 0286-6177814 - e-Mail:

### Análisis Químico de Sedimentos

**Solicitante:** Brs. Marymar Bolívar/ Jose Silvera

**Lugar:** Río . Mrcela , Municipio Heres. Estado Bolívar

**Fecha:** 07 / Mayo / 2010

**Sitio de Muestreo:** Estacion 1

PARAMETRO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	UNIDADES
Cadmio	6	5	7	6	7	-----	ppb
Cinc	2719	2594	2396	2741	2563	-----	ppb
Cobalto	1215	1098	1127	1409	2124	-----	ppb
Cobre	5069	5344	5135	5208	5133	-----	ppb
Cromo	2196	2394	2182	2162	2098	-----	ppb
Hierro	3245	3429	3186	2832	2746	-----	Ppm
Manganeso	582	561	498	613	498	-----	Ppm
Molibdeno	482	536	559	517	521	-----	ppb
Níquel	1091	1329	1216	1302	1237	-----	ppb
Plomo	1035	1123	1247	1183	1214	-----	ppb
Titanio	723	721	729	735	734	-----	Ppm

  
Isidro Farias  
Técnico

  
Prof. Liebig Ramirez  
Coordinador Centro de Geociencias

Anexo 5.1 Resultado de análisis químico de sedimentos en la estación 1.



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
CENTRO DE GEOCIENCIAS  
La Sabanita - Ciudad Bolívar - Venezuela  
Teléfonos: 0280-6179314 - a-fteit



### Análisis Químico de Sedimentos

**Solicitante:** Brs. Marymar Bolívar/ Jose Silvera

**Lugar:** Río . Mrcela , Municipio Heres. Estado Bolívar

**Fecha:** 07 / Mayo / 2010

**Sitio de Muestreo:** Estacion 2

PARAMETRO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	UNIDADES
Cadmio	6	7	8	5	6	-----	ppb
Cinc	2648	2539	2621	2769	2528	-----	ppb
Cobalto	1237	1178	1139	1359	1238	-----	ppb
Cobre	5172	5365	5328	5401	5397	-----	ppb
Cromo	2182	2106	2133	2147	2321	-----	ppb
Hierro	3217	3326	3271	3016	2817	-----	Ppm
Manganeso	532	547	511	584	598	-----	Ppm
Molibdeno	431	439	506	519	532	-----	ppb
Níquel	1113	1205	1235	1361	1230	-----	ppb
Plomo	1139	1129	1138	1145	1184	-----	ppb
Titanio	701	747	719	735	748	-----	Ppm

  
Isidro Fariás  
Técnico

  
Prof. Hebig Ramírez  
Coordinador Centro de Geociencias

Anexo 5.2 Resultado de análisis químico de sedimentos en la estación 2.



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
CENTRO DE GEOCIENCIAS  
La Sabanita - Ciudad Bolívar - Venezuela  
Teléfonos: 0281-6179914 - e-mail:



### Análisis Químico de Sedimentos

**Solicitante:** Brs. Marymar Bolívar/ Jose Silvera

**Lugar:** Río . Mrcela , Municipio Heres. Estado Bolívar

**Fecha:** 07 / Mayo / 2010

**Sitio de Muestreo:** Estacion 3

PARAMETRO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	UNIDADES
Cadmio	5	7	6	5	7	-----	ppb
Cínc	2659	2637	2639	2681	2633	-----	ppb
Cobalto	1242	1235	1286	1263	1249	-----	ppb
Cobre	5327	5342	5371	5369	5345	-----	ppb
Cromo	2107	2111	2129	2135	2317	-----	ppb
Hierro	3224	3256	3267	3239	3151	-----	Ppm
Manganeso	568	572	566	589	567	-----	Ppm
Molibdeno	439	441	487	435	432	-----	ppb
Níquel	1241	1232	1247	1217	1219	-----	ppb
Plomo	1115	1122	1141	1148	1164	-----	ppb
Titanio	729	751	737	739	742	-----	Ppm

  
Isidro Farias  
Técnico

  
Prof. Liebig Ramírez  
Coordinador Centro de Geociencias

Anexo 5.3 Resultado de análisis químico de sedimentos en la estación 3.



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
CENTRO DE GEOCIENCIAS  
La Sabanita - Ciudad Bolívar - Venezuela  
Teléfonos: 0684-6179814 - e-Mail:



### Análisis Químico de Sedimentos

Solicitante: Brs. Marymar Bolívar/ Jose Silvera

Lugar: Río . Mrcela , Municipio Heres. Estado Bolívar

Fecha: 07 / Mayo / 2010

Sitio de Muestreo: Estacion 4

PARAMETRO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	UNIDADES
Cadmio	8	7	8	7	7	-----	ppb
Cinc	2717	2659	2668	2729	2686	-----	ppb
Cobalto	1221	1247	1232	1281	1265	-----	ppb
Cobre	5349	5342	5335	5347	5329	-----	ppb
Cromo	2132	2147	2137	2142	2159	-----	ppb
Hierro	3286	3262	3251	3247	3289	-----	Ppm
Manganeso	629	631	598	581	523	-----	Ppm
Molibdeno	471	483	489	437	447	-----	ppb
Níquel	1209	1216	1241	1229	1221	-----	ppb
Plomo	1142	1131	1147	1132	1119	-----	ppb
Titanio	787	765	729	776	789	-----	Ppm

  
Isidro Farias  
Técnico

  
Prof. Hebig Ramirez  
Coordinador Centro de Geociencias

Anexo 5.4 Resultado de análisis químico de sedimentos en la estación 4.



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
CENTRO DE GEOCIENCIAS  
La Sabanita - Ciudad Bolívar - Venezuela  
Teléfono: 0296-6179914 - e-ARdR

### Análisis Químico de Sedimentos

Solicitante: Brs. Marymar Bolivar/ Jose Silvera

Lugar: Rio - Mrcela , Municipio Heres. Estado Bolívar

Fecha: 07 / Mayo / 2010

Sitio de Muestreo: Estacion 5

PARAMETRO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	UNIDADES
Cadmio	8	9	8	8	8	-----	ppb
Cínc	2783	2721	2739	2741	2789	-----	ppb
Cobalto	1236	1241	1285	1252	1273	-----	ppb
Cobre	5385	5353	5389	5365	5387	-----	ppb
Cromo	2116	2121	2139	2112	2190	-----	ppb
Hierro	3223	3259	3255	3262	3247	-----	Ppm
Manganeso	647	636	629	607	612	-----	Ppm
Molibdeno	429	441	435	430	443	-----	ppb
Níquel	1216	1223	1269	1265	1239	-----	ppb
Plomo	1119	1127	1108	1116	1128	-----	ppb
Titanio	791	732	752	781	734	-----	Ppm

  
Isidro Farias  
Técnico

  
Prof. Liebig Ramírez  
Coordinador Centro de Geociencias

Anexo 5.5 Resultado de análisis químico de sedimentos en la estación 5.



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
CENTRO DE GEOCIENCIAS  
La Sabanita - Ciudad Bolívar - Venezuela  
Teléfono: 0286-6179814 - e-mail:



### Análisis Químico de Sedimentos

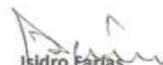
Solicitante: Brs. Marymar Bolivar/ Jose Silvera

Lugar: Río , Mrcela , Municipio Heres. Estado Bolívar

Fecha: 07 / Mayo / 2010

Sitio de Muestreo: Estacion 6

PARAMETRO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	UNIDADES
Cadmio	6	9	5	7	8	-----	ppb
Cinc	2741	2719	2732	2749	2732	-----	ppb
Cobalto	1211	1217	1229	1229	1213	-----	ppb
Cobre	5341	5359	5331	5342	5329	-----	ppb
Cromo	2141	2137	2138	2143	2121	-----	ppb
Hierro	3268	3231	3223	3217	3210	-----	Ppm
Manganeso	614	630	617	625	619	-----	Ppm
Molibdeno	436	449	482	443	465	-----	ppb
Niquel	1282	1261	1218	1242	1230	-----	ppb
Plomo	1109	1114	1119	1132	1125	-----	ppb
Titanio	817	795	809	798	807	-----	Ppm

  
Isidro Farias  
Técnico

  
Prof. Lebig Ramírez  
Coordinador Centro de Geociencias

Anexo 5.6 Resultado de análisis químico de sedimentos en la estación 6.



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
CENTRO DE GEOCIENCIAS  
La Sabanita - Ciudad Bolívar - Venepuquio  
Teléfonos: (0281)-4179014 - 4179015

### Análisis Químico de Sedimentos

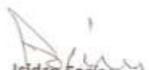
Solicitante: Brs. Marymar Bolivar/ Jose Silvera

Lugar: Rio . Mrcela , Municipio Heres. Estado Bolívar

Fecha: 07 / Mayo / 2010

Sitio de Muestreo: Estacion 7

PARAMETRO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	UNIDADES
Cadmio	5	7	5	7	6	-----	ppb
Cinc	2769	2742	2787	2741	2753	-----	ppb
Cobalto	1239	1215	1247	1283	1247	-----	ppb
Cobre	5303	5317	5353	5349	5311	-----	ppb
Cromo	2123	2142	2171	2113	2119	-----	ppb
Hierro	3210	3209	3284	3297	3227	-----	Ppm
Manganeso	636	647	682	621	609	-----	Ppm
Molibdeno	419	423	441	486	492	-----	ppb
Níquel	1225	1267	1236	1281	1205	-----	ppb
Plomo	1127	1109	1127	1147	1183	-----	ppb
Titanio	832	815	839	845	816	-----	Ppm

  
Isidro Farias  
Técnico

  
Prof. Liebig Ramirez  
Coordinador Centro de Geociencias

Anexo 5.7 Resultados de análisis químico de sedimentos en la estación 7.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/5

<b>Título</b>	Estudio geoquímico exploratorio de la cuenca del río Marcela, municipio Heres, estado Bolívar.
<b>Subtítulo</b>	

### Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
Bolívar C. Marymar del R.	<b>CVLAC</b>	15.970.437
	<b>e-mail</b>	marymar.bolivar@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
Silvera G. José J.	<b>CVLAC</b>	17.047.958
	<b>e-mail</b>	josejsilverag@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

### Palabras o frases claves:

Estudio
Geoquímico
Exploratorio
Río
Marcela
Bolívar



## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

**Contribuidores:**

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>ROL / Código CVLAC / e-mail</b>				
Jorge Abud	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input checked="" type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>				
	<b>e-mail</b>				
	<b>e-mail</b>				
Edixon Salazar	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>				
	<b>e-mail</b>				
	<b>e-mail</b>				
María Sampol	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>				
	<b>e-mail</b>				
	<b>e-mail</b>				
	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>				
	<b>e-mail</b>				
	<b>e-mail</b>				

**Fecha de discusión y aprobación:**

Año    Mes    Día

<b>2011</b>	<b>03</b>	<b>24</b>
-------------	-----------	-----------

**Lenguaje:**   spa

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/5

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis.ESTUDIOGEOQUIMICO.doc	Application/msword
Mapa.GeologicoMarcela.dwg	Application/acad
Mapas.MuestreoMarcela.dwg	Application/acad
Mapas.CrYNiMarcela.dwg	Application/acad
Mapa.FeCrPbMarcela.dwg	Application/acad
pps	Application/mspowerpoint

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M  
N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0  
1 2 3 4 5 6 7 8 9 \_ - .**

**Alcance:**

**Espacial:** Universidad de Oriente. (Opcional)

**Temporal:** Diez 10 años (Opcional)

**Título o Grado asociado con el trabajo:** Geólogo.

**Nivel Asociado con el Trabajo:** Pregrado.

**Área de Estudio:** Departamento de Geología.

**Institución(es) que garantiza(n) el  
Título o grado:** Universidad de Oriente.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/5

Derechos:

**De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado**

**“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo participara al Consejo Universitario”**

Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.



Silvera G. José J.



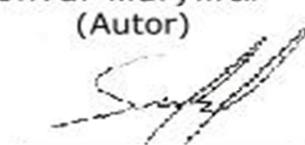
Bolívar Marymar  
(Autor)



Jorge Abud  
(Tutor)



Edixon Salazar  
(Jurado)



María Sampol  
(Jurado)



Profesor *Wilmer Zerpa*  
POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS